

Овощи России

Научный рецензируемый журнал
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» 13168

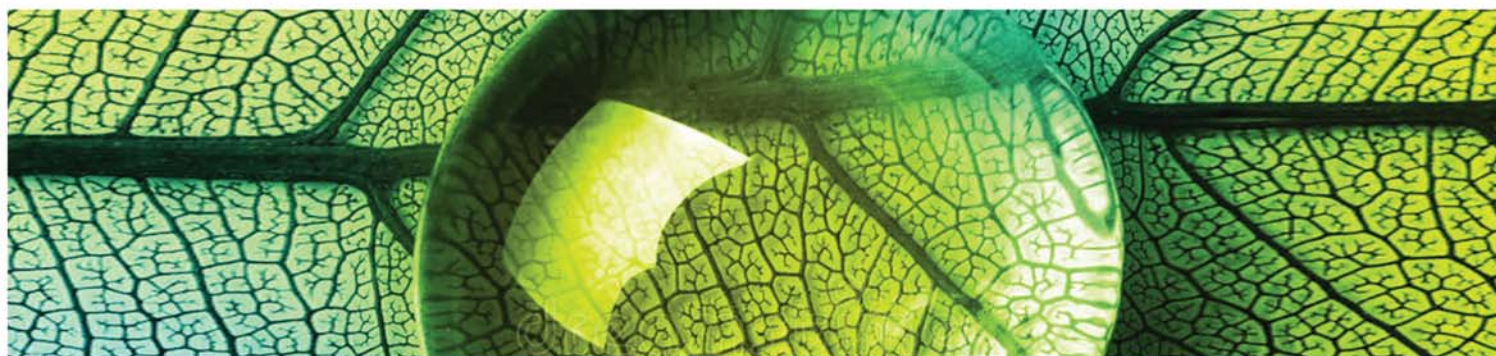
ISSN 2072-9146 (Print)

ISSN 2618-7132 (Online)

6 2023

VEGETABLE
crops of RUSSIA
Scientific peer-reviewed journal

УРАЛХИМ



100% ВОДОРАСТВОРИМЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ И СЕРВИСЫ



НРК MICRO
СТАРТ

НРК MICRO
УНИВЕРСАЛ

НРК MICRO
ФИНАЛ

МОНОАММОНИЙ-
ФОСФАТ

НИТРАТ
КАЛЬЦИЯ

СЕЛИТРА
КАЛИЕВАЯ

AQUADROP

МОНОКАЛИЙ-
ФОСФАТ

СУЛЬФАТ
МАГНИЯ



Аудит предприятий

Анализ производственной деятельности агропредприятий. Позволяет получить объективную оценку существующих проблем, избежать ошибок при вложении средств, сэкономить ресурсы при проведении полевых работ и разработать план изменений.



Агро- консалтинг

Комплексная агрономическая поддержка клиентов, включающая в себя разработку систем питания и технологий производства культуры, а также агроуправление на полях клиента.



Агро- лаборатория

Собственная лабораторная площадка «Уралхим». Быстрый и качественный анализ почвы и грунтов, зеленой массы растений и кормов, а также поливных вод и органических удобрений.



Скаутинг

Независимый контроль работ на полях клиента. Выявление отклонений от технологии и оперативное информирование производственной службы.

УРАЛХИМ +7 495 721-89-89 / marketing@uralchem.com / www.agro.uralchem.ru / www.uralchem.ru



Учредитель и издатель журнала:
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр овощеводства»
(ФГБНУ ФНЦО)

Подробная информация на 136-137 стр.



ФГБНУ ФНЦО



Главный редактор

В.Ф. Пивоваров – академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственной премии и премий Правительства РФ, научный руководитель Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО), Москва, Россия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель редакционной коллегии – **Н.А. Голубкина**, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО), Московская область, Россия

Д. Карузо – зам. председателя, доктор с.-х. наук, Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II, Неаполь, Италия

А.Н. Игнатов – зам. председателя, доктор биол. наук, профессор Агробиотехнологического департамента РУДН, зам. ген. директора по научной работе Исследовательской лаборатории «ФитоИнженерия», Москва, Россия

Е.З. Кочиева – зам. председателя, доктор биол. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

Агнешка Секара – профессор, Department of Horticulture, Faculty of Biotechnology and Horticulture, University of Agriculture, Краков, Польша
Радхи Шьям Сингх – доцент, Department of Plant Breeding and Genetics Mandan Bharti Agriculture College, Agwanpur, Saharsa-852202, Bihar Agricultural University, Sabour, Bhagalpur, Bihar, Индия

Ж.П. Данаилов – доктор с.-х. наук, проф., Болгарская академия наук, Институт физиологии растений и генетики, София, Болгария

С.Р. Аллахвердиев – доктор биол. наук, проф., Bartin University, Turkey

М.Х. Арамов – доктор с.-х. наук, Сурхандарьинская научно-опытная станция НИИ овоще-бахчевых культур и картофеля, Республика Узбекистан

Л.Ф. Волощук – доктор биол. наук, Институт генетики, физиологии и защиты растений АН Молдовы, Кишинев, Республика Молдова

И.Г. Джафаров – доктор с.-х. наук, проф., член-корр. НАНА, ректор, Азербайджанский государственный аграрный университет, Гянджа, Азербайджанская Республика

В.П. Прохоров – доктор биол. наук, проф., Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

В.В. Скорина – доктор с.-х. наук, проф., Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Могилевская обл., Республика Беларусь

А.В. Солдатенко – зам. главного редактора, доктор с.-х. наук, академик РАН, директор ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

О.Н. Пышная – зам. главного редактора, доктор с.-х. наук, проф., ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

С.М. Надежкин – зам. главного редактора, доктор биол. наук, проф., ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

С.В. Акимова – доктор с.-х. наук, доцент кафедры плодородия, виноградарства и виноделия ФГБОУ ВО РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

К.Л. Алексеева – доктор с.-х. наук, проф., ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

И.Т. Балашова – доктор биол. наук, ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

Л.Л. Бондарева – доктор с.-х. наук, ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

М.С. Гинс – доктор биол. наук, член-корр. РАН, ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

Л.В. Григорьева – доктор с.-х. наук, Мичуринский ГАУ, Мичуринск, Россия

А.С. Домблидес – доктор с.-х. наук, ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

Н.Н. Дубенок – академик РАН, доктор с.-х. наук, проф., ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева», Москва, Россия

С.В. Жаркова – доктор с.-х. наук, проф., ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, Барнаул, Россия

Е.В. Журавлева – доктор с.-х. наук, советник председателя совета директоров, ГК «ЭФКО», г. Москва, Россия

Е.А. Калашникова – доктор биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Россия

И.М. Куликов – академик РАН, доктор экон. наук, ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», Москва, Россия

Ф.Б. Мусаев – доктор с.-х. наук, ФГБНУ ФНЦО, Московская область, Россия

В.М. Пизенгольц – доктор экон. наук, проф., Аграрно-технологический институт РУДН, г. Москва, Россия

В.Г. Плющиков – доктор с.-х. наук, проф., Директор Аграрно-технологического института РУДН (АТИ), Москва, Россия

В.В. Пыльнев – доктор с.-х. наук, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

А.К. Раджабов – доктор с.-х. наук, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Н.И. Сидельников – академик РАН, доктор с.-х. наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», Москва, Россия

С.М. Сирота – доктор с.-х. наук, зам. директора по селекции и семеноводству, ООО «Гетерозисная селекция», Челябинская область, Россия

В.И. Старцев – доктор с.-х. наук, проф., ФГБНУ «Всероссийский НИИ Фитопатологии», Московская область, Россия

И.Г. Ушачев – доктор экон. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ФНЦ аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства» (ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ), Москва, Россия

П.А. Чекарчев – академик РАН, доктор с.-х. наук, заместитель президента РАН, Российская академия наук, Москва, Россия

Ю.В. Чесноков – доктор биол. наук, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

Ответственный редактор: **Тареева М.М.** – кандидат с. х. наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО), Московская область, Россия

Библиограф: **Разорёнова А.Г.**, ФГБНУ ФНЦО. **Дизайн и верстка:** **Янситов К.В.**, ФГБНУ ФНЦО. **Фото:** **Лебедев А.П.**, ФГБНУ ФНЦО.

Издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО)

Адрес учредителя и редакции: 143080, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

E-mail: vegetables.of.russia@yandex.ru
<http://www.vegetables.ru> Тел.: +7(495) 599-24-42

Тираж 100 экземпляров.

Дата выхода в свет: 04.12.2023

Отпечатано в типографии:

Акционерное общество
«Соломбальская типография».
163012, г. Архангельск, ул. Добролюбова, д. 1.
Тел.: +7 (8182) 48-20-20, www.daprint.ru

Цена свободная.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-72184 от 15 января 2018 года.
Издаётся с декабря 2008 года.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал в 2016 году включен в базу данных AGRIS (Agricultural Research Information System) –

Международную информационную систему по сельскому хозяйству и смежным с ним отраслям.

Журнал включен в базу данных компании EBSCO Publishing на платформе EBSCOhost.



Editor in chief

Victor F. Pivovarov – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Agriculture),
Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center"
(FSBSI FSVS), Moscow region, Russia

EDITORIAL BOARD

Editorial Board Chairman: Nadezhda A. Golubkina, Dr. Sci. (Agriculture),
chief scientific researcher of the laboratory analytical department,
Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center"
(FSBSI FSVS), Moscow region, Russia

Gianluca Caruso – Deputy chairman, Dr. Sci. (Agriculture),
Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II, Napoli, Italy

Alexander N. Ignatov – Deputy chairman, Dr. Sci. (Biology),
Agrobiotechnological Department of RUDN University,
Deputy Director, PhytoEngineering Research Laboratory,
Moscow, Russia, Moscow, Russia

Elena Z. Kochieva – Deputy chairman, Dr. Sci. (Biology), Professor,
Department of Biotechnology of Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State
University; Head of the Group of molecular methods of analysis
of the genome, Federal Research Centre "Fundamentals of Biotechnology"
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Agnieszka Sekara – Assoc. Prof., Department of Horticulture, Faculty of
Biotechnology and Horticulture, University of Agriculture, Krakow, Poland
Radhey Shyam Singh – Assistant Professor cum Junior Scientist,
Department of Plant Breeding and Genetics Mandan Bharti Agriculture
College, Agwanpur, Saharsa-852202, Bihar Agricultural University,
Sabour, Bhagalpur, Bihar, India

Zhivko P. Danailov – Professor, Dr. Sci. (Agriculture), Bulgarian
Academy of Sciences, Institute of Plant Physiology and Genetics, Sofia, Bulgaria
Surhay R. Allahverdiyev – Dr. Sci. (Biology), Professor, Batin University, Turkey

Muzaffar H. Aramov – Dr. Sci. (Agriculture),
Surkhandarya region, Republic of Uzbekistan

Leonid F. Voloschuk – Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of phytopathology
and biotechnology, Institute of Genetics, Physiology and Protection of Plants,
Academy of Sciences of Moldova, Chişinău, Republic of Moldova
Ibrahim Hasan oglu Jafarov – Corresponding Member of ANAS,
Professor, Dr. Sci. (Agriculture), Rector,
Azerbaijan State Agricultural University, Ganja, Azerbaijan Republic

Valery N. Prokhorov – Dr. Sci. (Biology), chief scientific officer
of the Laboratory of growth and development of plant, FSSI "V.F. Kuprevich Institute
of experimental botany National academy of Science of Belarus", Minsk, Belarus
Vladimir V. Skorina – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Department of fruits-vegeta-
bles growing, "Belarusian State Academy of Agriculture", Mogilev, Belarus

Alexey V. Soldatenko – Deputy Chief Editor, Full Member of the Russian Academy
of Sciences, Dr. Sci. (Agriculture), director of Federal State Budgetary Scientific
Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVS),
Moscow region, Russia

Olga N. Pyshnaya – Deputy Chief Editor, Dr. Sci. (Agriculture), Professor,
Deputy director in scientific work, Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Sergei M. Nadezhkin – Deputy Chief Editor, Dr. Sci. (Biology), Professor,
Head of the laboratory analytical department, Federal State Budgetary Scientific
Institution "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Svetlana V. Akimova – Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department
of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Ksenia L. Alekseeva – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Laboratory bio-
logical methods of plant protection, All-Russian Scientific Research Institute of
Vegetable Growing – Branch of the FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center",
Moscow region, Russia

Irina T. Balashova – Dr. Sci. (Biology), chief scientific officer of the laboratory of new
technologies FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Lyudmila L. Bondareva – Dr. Sci. (Agriculture),
Head of the Laboratory of breeding and seed production
of Cole crops, FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center",
Moscow region, Russia

Murat S. Gins – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences,
Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of plant physiology and biochemistry,
introduction and functional food, FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center",
Moscow region, Russia

Lyudmila V. Grigoryeva – Dr. Sci. (Agriculture),
Professor, Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia

Arthur S. Dombldes – Dr. Sci. (Agriculture), Head of Laboratory of Genetics and
Cytology, FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Nikolay N. Dubenok – Full Member of the Russian Academy of Sciences,
Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department
of agricultural melioration, forestry and land management, Russian State Agrarian
University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Stalina V. Zharkova – Dr. Sci. (Agriculture), Professor,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
The Altai State Agricultural University (ASAU), Barnaul, Russia

Ekaterina V. Zhuravleva – Dr. Sci. (Agriculture), Advisor to the Chairman
of the Board of Directors, EFKO Group of Companies, Moscow, Russia

Elena A. Kalashnikova – Dr. Sci. (Biology), Professor, Russian State
Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Ivan M. Kulikov – Full Member of the Russian Academy of Sciences,
Dr. Sci. (Economy), Professor, director of FSBSI Federal Horticultural
Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

Farhad B. Musaev – Dr. Sci. (Agriculture), leading researcher
of the laboratory analytical department,
FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia

Vadim G. Plushikov – Dr. Sci. (Agriculture), Professor,
director of Agrarian Technological institute of RUDN University, Moscow, Russia

Vladimir V. Pylnev – Dr. Sci. (Agriculture), Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Agamagomed K. Radzhabov – Dr. Sci. (Agriculture), Russian State Agrarian
University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Nikolay I. Sidelnikov – Full Member of the Russian Academy of Sciences,
Dr. Sci. (Economy), Professor, director of FSBSI «All-Russian Scientific Research
Institute of Medicinal and Aromatic Plants», Moscow, Russia

Sergey M. Sirota – Dr. Sci. (Agriculture), Deputy Director for Breeding
and Seed Production, LLC Heterosis Selection, Chelyabinsk region, Russia

Viktor I. Startsev – Dr. Sci. (Agriculture), Professor,
FSBSI All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow region, Russia

Ivan G. Ushachev – Full Member of the Russian Academy of Sciences,
Dr. Sci. (Economy), Honored Scientist of Russian Federation,
scientific director, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research
Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-
Russian Scientific Research Institute of Economy of Agriculture", Moscow, Russia

Petr A. Chekmarev – Full Member of the Russian Academy of Sciences,
Dr. Sci. (Agriculture), Deputy President
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Yuri V. Chesnokov – Dr. Sci. (Biology), director,
FSBSI "Agrophysical Research Institute", St.-Petersburg, Russia

Responsible Scientific Editor: Marina M. Tareeva – Cand. Sci. (Agriculture),

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center", (FSBSI FSVS), Moscow, Russia

Bibliographer: Anna G. Razorenova (FSBSI FSVS). **Designer: Konstantin V. Yansitov** (FSBSI FSVS). **Photographing: Alexey P. Lebedev** (FSBSI FSVS)

Address of the journal publisher and office: Selektionsnaya St., 14, VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

E-mail: vegetables.of.russia@yandex.ru <http://www.vegetables.su> tel.: +7 (495) 599-24-42

Free price. Circulation is 100 copies. Published: 04.12.2023

This issue is registered in the Federal Service for Supervision of Communications,
Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor).

The license ПИ №ФЦ77-72184 of the January, 15, 2018.

Published since 2008. This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific journals and publications, which should include the main scientific results
of dissertations for the degree of doctor and candidate of sciences (Higher Attestation Commission of Russia).

In 2016, the journal is included in the AGRIS database (Agricultural Research Information System).

Journal has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO Publishing.

The full text of journal can be found in the EBSCOhost™ databases.



СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

**Коротцева И.Б., Белов С.Н., Слетова М.Е., Сакара Н.А.,
Ванюшкина И.А., Тарасова Т.С., Синиченко Н.А.**

Оценка перспективных линий огурца партенокарпического типа на устойчивость к ложной мучнистой росе в условиях открытого грунта Подмоскovie. 5

Теплякова Д.Д.

Эффективность ПЦР-маркера F311 гена SGR при оценке устойчивости линий огурца к ложной мучнистой росе (*Pseudoperonospora cubensis*). 11

Коротцева И.Б.

Фасциация у тыквенных культур. 17

Хомченко Н.Н., Шевкунов В.Н.

Корреляционные связи между некоторыми количественными признаками партенокарпических гибридов F₁ огурца с гладким типом плода, выращиваемых в пленочных теплицах. 22

Маслова М.В., Шамшин И.Н., Грошева Е.В., Ильичев А.С.

Молекулярно-генетические основы устойчивости томата к основным грибным болезням. 28

Панкратская Е.В., Скорина В.В.

Использование электрофоретического анализа для определения полиморфности сортов фасоли овощной. 40

САДОВОДСТВО, ОВОЩЕВОДСТВО, ВИНОГРАДАРСТВО И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ

Харченко В.А., Голубкина Н.А., Богачук М.

Сравнительная оценка биометрических и биохимических показателей трех видов представителей рода *Rumex*: *Rumex acetosa* L., *Rumex sanguineus* L. и *Rumex confertus* Willd. 47

Успенская О.Н., Федосов А.Ю., Меньших А.М., Васючков И.Ю.

Минеральные удобрения для лука репчатого: обзор. 52

Казыдуб Н.Г., Каштанова Ю.А.

Продуктивность и качественная оценка коллекционных образцов тыквы (*Cucurbita* L.) в условиях южной лесостепи Западной Сибири. 61

Кроль Т.А., Осипов В.И., Балеев Д.Н.

Фенольные соединения листьев *Tanacetum balsamita* L. 66

Тропина Н.С., Тхаганов Р.Р., Тхаганов В.Р., Сидельников Н.И.

Влияние регуляторов роста на семенную продуктивность лекарственных трав, выращиваемых в Краснодарском крае. 71

Надежкин С.М., Маркарова М.Ю., Антошкина М.С.,

Молчанова А.В., Осокин И.Е., Разин О.А., Маркарова А.Э.

Эффективность некорневых подкормок при выращивании капусты белокочанной в Нечерноземной зоне. 78

Артемяева А.М., Соловьева А.Е.

Питательные и биологически активные соединения капусты краснокочанной. 84

Соловьева А.Е., Пискунова Т.М.

Пектиновые вещества в плодах *Cucurbita maxima* Duch. в условиях Северо-Запада России. 90

АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ

Молоков Б.М., Голышева П.Ю.

Исследование результатов акклиматизации заразики на белокочанной капусте в почвенно-климатических условиях Центрального региона РФ. 95

Ванюшкина И.А., Синиченко Н.А., Козарь Е.Г.

Применение системы фунгицидов на томате в условиях открытого грунта Приморского края. 101

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Махери Н., Сакинежад Т., Модхей А., Дадния М., Мараши С.

Влияние регуляторов роста и орошения на ремобилизацию и налив зерна мягкой пшеницы в условиях тропического климата. 108

Мендоса В., Мендоса Р., Дмитриев Д.В.

Интродукция и адаптация сортов квиноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) в Краснодарском крае России. 117

Караева Е.С.

Результаты испытания сортов картофеля в условиях Европейского Севера. 123

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Верник П.А., Зеленков В.Н., Латушкин В.В., Кособрюхов А.А.,

Новиков В.Б., Путилина Л.Н., Иванова М.И., Гаврилов С.В.

Влияние увеличения доли дальней красной области в полноспектральном светодиодном облучении на рост и развитие растений сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *saccharifera* Alef.) в закрытых агробиотехносистемах. 129

BREEDING, SEEDPRODUCTION AND PLANT BIOTECHNOLOGY

Korottseva I.B., Belov S.N., Sletova M.E., Sakara N.A., Vanyushkina I.A., Tarasova T.S., Sinichenko N.A.

Evaluation of promising cucumber lines of the parthenocarpic type for resistance to false powdery mildew in open ground conditions of the Moscow region. **5**

Tepliyakova D.D.

Efficiency of PCR marker F311 of the SGR gene in assessing the resistance of cucumber lines to downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*). **11**

Korottseva I.B.

Fasciation in cucurbits. **17**

Khomchenko N.N., Shevkunov V.N.

Correlations between some quantitative traits of cucumber F₁ parthenocarpic hybrids with a smooth fruit type grown in plastic greenhouses. **22**

Maslova M.V., Shamshin I.N., Grosheva E.V., Ilyichev A.S.

Molecular and genetic basis of tomato resistance to major fungal diseases. **28**

Pankrutskaia E.V., Skorina V.V.

The use of electrophoretic analysis to determine the polymorphism of vegetable bean varieties. **40**

HORTICULTURE, VEGETABLE PRODUCTION, VITICULTURE AND MEDICINAL CROPS

Kharchenko V.A., Golubkina N.A., Bogachuk M.N.

Comparative evaluation of biometrical and biochemical characteristics of three *Rumex* representatives: *Rumex acetosa* L., *Rumex sanguineus* L. and *Rumex confertus* Willd. **47**

Uspenskaya O.N., Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Vasyuchkov I.Yu.

Mineral fertilizers for onions: a review. **52**

Kazydub N.G., Kashtanova Yu.A.

Productivity and quality of collection samples of pumpkin (*Cucurbita* L.) in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. **61**

Krol T.A., Ossipov V.I., Baleev D.N.

Phenolic compounds in leaves of *Tanacetum balsamita* L. **66**

Tropina N.S., Thaganov R.R., Thaganov V.R., Sidelnikov N.I.

Influence of growth regulators on the seed productivity of medicinal crops grown in the Krasnodar region. **71**

Nadezhkin S.M., Markarova M.Yu., Antoshkina M.S.,

Molchanova A.V., Osokin I.E., Razin O.A., Markarova A.E.

The effectiveness of foliar feeding when growing white cabbage in the Non-Chernozem zone. **78**

Artemyeva A.M., Solovyeva A.E.

Nutrients and bioactive compounds of red cabbage. **84**

Solovyeva A.E., Piskunova T.M.

Pectin substances in *Cucurbita maxima* fruits in the conditions of the North-West of Russia. **90**

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE, PLANT PROTECTION AND QUARANTINE

Molokov B.M., Golyseva P.Yu.

The researches of broomrape acclimatization on white cabbage in the soil-climatic conditions of Central region of the Russian Federation. **95**

Vanyushkina I.A., Sinichenko N.A., Kozar E.G.

Application of a fungicide system on tomato in open ground conditions in Primorsky Krai. **101**

AGRICULTURE AND PLANT PRODUCTION

Maheri N., Sakinejad T., Modhej A., Dadnia M., Marashi S.

The effect of growth regulators and irrigation on remobilization and grain filling of bread wheat in tropical climatic conditions. **108**

Mendoza V., Mendoza R., Dmitriev D.V.

Introduction and adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars in Krasnodar region of Russia. **117**

Karavaeva E.S.

Results of testing potato varieties in the European North. **123**

IRRIGATION ENGINEERING, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Vernik P.A., Zelenkov V.N., Latushkin V.V., Kosobryukhov A.A.,

Novikov V.B., Putilina L.N., Ivanova M.I., Gavrilov S.V.

The effect of increasing the proportion of the far red region in full-spectrum LED irradiation on the growth and development of sugar beet plants (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *saccharifera* Alef.) in closed agrobiotechnological systems. **129**

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-5-10>
УДК 635.63:631.547.52:631.524.86(470.311)

И.Б. Коротцева^{1*}, С.Н. Белов¹,
М.Е. Слетова¹, Н.А. Сакара²,
И.А. Ванюшкина², Т.С. Тарасова²,
Н.А. Синиченко²

¹ Федеральное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, пос. ВНИССОК, ул. Селекционная, 14

² Приморская овощная опытная станция – филиал Федерального государственного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» 692779, Россия, Приморский край, г.Арте́м, с. Сура́жевка, ул.Кубанская, д.57/1

*Автор для переписки: korottseva@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в анализе материалов, написании текста статьи и формировании выводов.

Для цитирования: Коротцева И.Б., Белов С.Н., Слетова М.Е., Сакара Н.А., Ванюшкина И.А., Тарасова Т.С., Синиченко Н.А. Оценка перспективных линий огурца партенокарпического типа на устойчивость к ложной мучнистой росе в условиях открытого грунта Подмоскoвья. *Овощи России*. 2023;(6):5-10. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-5-10>

Поступила в редакцию: 25.09.2023

Принята к печати: 19.10.2023

Опубликована: 04.12.2023

Irina B. Korottseva^{1*}, Sergey N. Belov¹,
Maria E. Sletova¹, Nikolay A. Sakara²,
Irina A. Vanyushkina², Tatiana S. Tarasova²,
Natalya A. Sinichenko²

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Selektsionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, 143072, Russia

² Primorskaya vegetable experimental station – branch of the Federal state budgetary scientific institution «Federal Scientific Vegetable Center» (PVES – branch of the FSBSI FSVC) 57/1, Kubanskaya st., Surazhevka, Artem, Primorsky Krai, 692779, Russia

*Corresponding Author: korottseva@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, writing the text of the article and forming conclusions.

For citation: Korottseva I.B., Belov S.N., Sletova M.E., Sakara N.A., Vanyushkina I.A., Tarasova T.S., Sinichenko N.A. Evaluation of promising cucumber lines of the parthenocarpic type for resistance to false powdery mildew in open ground conditions of the Moscow region. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):5-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-5-10>

Received: 25.09.2023

Accepted for publication: 19.10.2023

Published: 04.12.2023

Оценка перспективных линий огурца партенокарпического типа на устойчивость к ложной мучнистой росе в условиях открытого грунта Подмоскoвья



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Ложная мучнистая роса (пероноспороз) (возбудитель – *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. et Curt.) Rostow.) – наиболее вредоносное заболевание на огурце в открытом грунте, весенних пленочных и зимних теплицах в осеннем культурообороте. В лаборатории селекции и семеноводства тыквенных культур ВНИССОК, в настоящее время ФГБНУ ФНЦО, ведется непрерывная работа по созданию устойчивых к этому заболеванию сортов и гибридов огурца. Для создания новых конкурентоспособных гибридов огурца партенокарпического типа была проведена большая работа по селекции родительских форм, отличающихся комплексом хозяйственно полезных признаков, в том числе и толерантностью к ложной мучнистой росе.

Результаты. В течение 2-х лет исследований, в условиях открытого грунта Подмоскoвья, на естественном инфекционном фоне, отобраны линии огурца партенокарпического типа наиболее выносливые к ложной мучнистой росе: Пр. F₆ 1, 24-905 RZ F₄₋₅, Эксель. F₅ ч/б 1, (Хас. х Хаб.) F₄. Во время второго (30.08.) и третьего (08.09) учетов, в оба года исследований, по баллу поражения, они были на уровне устойчивого стандарта – сорта Сура́жевский.

В 2022 году в условиях не отапливаемых весенних теплиц Приморского края по устойчивости к пероноспорозу выделились две гибридные комбинации 24-905RZ F₄ х Пр. F₁₁ и Кар. F₆ х Пр. F₁₁. В конце августа, они поразились на 0.5 и 0.8 баллов, соответственно, меньше, чем стандарт – гибрид Герман F₁. Выделенные гибридные комбинации получены с участием линий огурца партенокарпического типа, наиболее толерантных к ложной мучнистой росе в условиях открытого грунта Подмоскoвья в 2022 и 2023 годах. Это свидетельствует о том, что выделенные образцы могут служить ген источниками устойчивости к ложной мучнистой росе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

огурец, селекция, гибридные комбинации, толерантность, *Pseudoperonospora cubensis*

Evaluation of promising cucumber lines of the parthenocarpic type for resistance to false powdery mildew in open ground conditions of the Moscow region

ABSTRACT

Relevance. False powdery mildew (peronosporosis) (the causative agent is *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. et Curt.) Rostow.) – the most harmful disease on cucumber in the open ground, spring film and winter greenhouses in the autumn crop turnover.

In the laboratory of breeding and seed production of pumpkin crops of All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production, currently FSBSI FSVC, continuous work is underway to create varieties and hybrids of cucumber resistant to this disease. To create new competitive hybrids of cucumber of the parthenocarpic type, a lot of work was done on the selection of parental forms that differ in a complex of economically useful signs, including tolerance to false powdery mildew.

Results. During 2 years of research, in the open ground conditions of the Moscow region, on a natural infectious background, the lines of parthenocarpic cucumber most resistant to false powdery mildew were selected: Pr. F₆ 1, 24-905 RZ F₄₋₅, Excel. F₅ b/w 1, (Hac. x Hub.) F₄. During the second (30.08.) and third (08.09) counts, in both years of research, according to the lesion score, they were at the level of a stable standard - the Surazhevsky variety. In 2022, in the conditions of unheated spring greenhouses of Primorsky region, two hybrid combinations of 24-905RZ F₄ x Pr. F₁₁ and Kar. F₆ x Pr. F₁₁ were distinguished for resistance to peronospora. At the end of August, they were struck by 0.5 and 0.8 points, respectively, less than the standard hybrid German F₁. The resulting hybrid combinations were obtained with the participation of cucumber lines of the parthenocarpic type, the most tolerant to false powdery mildew in the open ground conditions of the Moscow region in 2022 and 2023. This indicates that the isolated samples can serve as gene sources of resistance to false powdery mildew.

KEYWORDS:

cucumber, selection, hybrid combinations, tolerance, *Pseudoperonospora cubensis*

Введение

Ложная мучнистая роса (пероноспороз) (возбудитель – *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. et Curt.) Rostow.) – наиболее вредоносное заболевание на огурце в открытом грунте, весенних пленочных и зимних теплицах в осеннем культурообороте. Полная гибель растений может отмечаться при возделывании восприимчивых сортов в эпифитотийные годы, что может привести к 100% потере урожая [1,2].

По современной классификации *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. et Curt.) Rostow. относят к отделу *Oomycota*, подотделу *Mastisomycotina*, порядку *Peronosporales*, семейству *Peronosporaceae*, роду *Pseudoperonospora* [3,4,5].

Возбудитель ложной мучнистой росы (*Pseudoperonospora cubensis* R.) способен заражать растения в очень широком интервале температур (от 5 до 28 °C) при наличии капельножидкой влаги и определенной инфекционной нагрузки. *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. et Curt.) Rostow встречается только на растениях семейства *Cucurbitaceae* [2].

Устойчивость к ложной мучнистой росе зависит от множества генетических и не генетических факторов. Литературные данные по генетике устойчивости весьма разноречивы. Одни авторы предполагают, что устойчивость к этой болезни наследуется моногенно и рецессивно [6,7,8]. Другие – что она находится под контролем трех рецессивных генов [9,10,11]. Петров и др. (2000) [12] выявили, что наследование идет по типу неполного доминирования и обусловлено одним или двумя генами, а по данным Першина и др. (1988) [13] – тремя основными генами, с частичным доминированием. В исследованиях Пахратдиновой и др. (2017) также показано, что у огурца известно 3 гена устойчивости к пероноспорозу – *Dm 1.1*, *Dm 5.1*, *Dm 5.3* [14].

Вредоносность этой болезни наиболее высока в период цветения – плодоношение: пораженные листья быстро засыхают, завязь опадает, плоды желтеют и вянут.

Большинство используемых в производстве сортов и гибридов огурца не обладают достаточной устойчивостью к пероноспорозу. Поэтому одно из основных условий получения гарантированных урожаев огурца в сложившихся условиях эпифитотии ложной мучнистой росы – правильный выбор сорта.

Среди достижений отечественной селекции следует особо отметить повышенную устойчивость к ложной мучнистой росе сортов, созданных в условиях Дальневосточного региона [15], а также Крымской опытно-селекционной станции Северо-Кавказского ЗНИИС и В [16].

Наиболее устойчивы к пероноспорозу японские сорта, среди них – Sadao rishu, Дзибаи, Хиган Фусинари, Tropical slicer и другие. Повышенную устойчивость к ложной мучнистой росе имели и некоторые польские гибриды из Скерневиц, такие как Aladyn (SKW 190), Heron (SKW 290) и Parys (SKW 390) [15].

Аспирант Аникина И.И. при оценке в Нечерноземной зоне (Московская обл.) 120-ти образцов огурца различного происхождения на искусственном инфекционном фоне выявила, что наиболее устойчивыми к ложной мучнистой росе оказались образцы из США: Sampson, Dixie, Polaris; из Нидерландов: F₁ Bilair, F₁ Breslo [17].

В лаборатории селекции и семеноводства тыквенных культур ВНИИССОК, в настоящее время ФГБНУ ФНЦО, ведется непрерывная работа по созданию устойчивых к ложной мучнистой росе сортов и гибридов огурца. В селекции пчелоопыляемых сортов и гибридов огурца для открытого грунта уже достигнуты неплохие результаты и был создан ряд сортов и гибридов толерантных к ложной мучнистой росе: Водолей, Электрон 2, Единство, Водопад, Дебют F₁, Крепыш F₁, Брюнет F₁ и др. Позже были созданы 2 гибрида огурца партенокарпического типа, Красотка F₁ и ВНИИССОК 1 F₁, у которых наряду с комплексом хозяйственно полезных признаков присутствует и толерантность к пероноспорозу. Однако в последние годы сильно выросли требования к гибридам огурца для открытого грунта и пленочных теплиц. В связи с этим была проведена большая работа по селекции родительских форм огурца, которые могли бы послужить исходным материалом для создания новых конкурентоспособных гибридов огурца партенокарпического типа, в том числе и по устойчивости к пероноспорозу. В данной статье представлены полученные результаты.

Условия проведения опытов

Исследования проводили в открытом грунте в Одинцовском районе, Московской области в 2022 и 2023 годах. Параллельно в 2022 году был заложен опыт в условиях Приморского края на Приморской СОС, филиале ФГБНУ ФНЦО в весенней пленочной неотапливаемой теплице.

Почвы опытно-производственной базы ФГБНУ ФНЦО дерново-подзолистые среднесуглинистые. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы (0-20 см) была следующей: содержание гумуса по Тюрину – 1,62%, реакция среды pH_{KCl} – 6,1, гидролитическая кислотность – 1,32 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований – 19,2 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 93,6%, содержание подвижного фосфора в среднем 472 мг/кг почвы, обменного калия – 167 мг/кг почвы, минерального азота – 9 мг/кг.

Таблица 1. Температура воздуха в Подмосковье за вегетационный период 2022- 2023 годов, (метеостанция ФНЦО)
Table 1. Air temperature in the Moscow region for the growing season 2022, 2023 (weather station FSBSI FSVC)

Месяц	Температура, °C		Среднегоголетние значения, °C	Отклонение от среднегоголетнего, °C	
	2022	2023		2022	2023
Май	10,14	12,20	11,9	-1,76	0,3
Июнь	18,48	16,61	16,5	1,98	0,11
Июль	20,06	17,96	19,2	0,86	-1,24
Август	22,19	19,41	16,1	6,09	3,31

Таблица 2. Шкала устойчивости растений огурца к пероноспорозу.
Table 2. Scale of resistance of cucumber plants to peronosporosis.

Балл устойчивости	Степень устойчивости	Развитие болезни, %
1	Очень высокая	Менее 10
2	Высокая	10-35
3	Средняя	36-60
4	Низкая	61-85
5	Очень низкая	более 85

Как видно из таблицы 1, май 2022 года был прохладным. Среднемесячная температура воздуха была на 1,76°C ниже, по сравнению со средне-голетними значениями. Тогда как июнь, наоборот, – более теплым, температура на 1,98°C выше, по сравнению со среднеголетними значениями. В 2023 году температурные условия мая и июня мало отличались от среднеголетних значений, тогда как июль был более прохладным, среднемесячная температура воздуха – на 1,24°C ниже среднего-летней.

Материалы и методы

Наиболее выровненные селекционные образцы, около 100 шт., высевали вручную в открытый грунт на гряды. Посев осуществляли на делянках 3 м², густота – 80-90 тыс.шт./га, в оптимальные сроки – с 25 мая по 5 июня. Проводили все необходимые агротехнические мероприятия, рекомендованные для огурца в Нечерноземной зоне РФ.

В 2022 году в условиях необогреваемой весенней теплицы в Приморском крае, изучали 11 перспективных гибридов огурца партенокарпического типа. Посев семян на рассаду проводили 27.04.22 г. Высадка рассады в грунт – 01.06.22 г. Каждый образец высаживался в 2-х повторностях по 10 растений в каждой, густота стояния 2.8 шт./м². Проводили все необходимые агротехнические мероприятия. Оценивалась ранняя урожайность плодов, в течение первых 2-х недель плодоношения (с 01.07 по 15.07.22 г), а также их устойчивость к пероноспорозу.

Поражение ложной мучнистой росой учитывали на естественном инфекционном фоне по 5-ти бальной шкале, 2-3 раза за сезон в головном учреждении ФГБНУ ФНЦО и 4-е раза за сезон – на Приморской СОС, филиале ФГБНУ ФНЦО [18].

Степень устойчивости к болезни каждого из образцов определяли по высшему баллу поражения настоящих листьев. Для определения пораженности сорта или семьи сумму высших баллов делили на общее количество больных и здоровых растений. Также учитывали развития болезни в процентах.

В головном учреждении ФГБНУ ФНЦО в качестве устойчивого стандарта использовали сорт Приморской СОС – Суражевский, неустойчивого –

сорт Муромский 36. На Приморской СОС в качестве стандартов использовали широко распространенные в защищенном грунте гибриды огурца Герман F₁ и Кураж F₁.

Результаты и их обсуждение

В течение двух лет, 2022 и 2023 годов, новые линии огурца партенокарпического типа оценивали в открытом грунте, на естественном инфекционном фоне, по устойчивости к пероноспоре. Наиболее выровненные семьи использовали в качестве повторностей.

Ложная мучнистая роса в 2022 году появилась на неделю раньше (в середине августа), по сравнению с 2023-м годом. В 2022 году в конце августа (30.08.), неустойчивый стандарт Муромский 36 практически погиб. У устойчивого стандарта, сорта Суражевский, поражение немного превысило четыре балла, но процент распространения был небольшим – 30%. В 2023-м году, при учетах 30.08, на неустойчивом стандарте наблюдали ту же картину, что и в 2022-м году, а вот устойчивый стандарт поразился на 0.7 балла меньше (табл. 3).

В дальнейшем, пероноспора развивалась быстрее в 2023-м году. При следующем учете – 08.09. в 2022 г. балл поражения устойчивого стандарта практически не изменился, а вот в 2023 г., в это время, он был уже максимальным.

Наиболее выровненные селекционные линии огурца партенокарпического типа представлены в таблице 3.

При первом учете (24.08.23 г.) четыре самых устойчивых образца огурца: 24-905 RZ F₄₋₅, Пр. F₆ 1, (Хас. х Хаб.) F₄ и Эксель. F₅ ч/б 1 поразились на 2.7-2.9 баллов, что на 0.9-1.1 балла сильнее, чем устойчивый стандарт, сорт Суражевский.

Во время второго (30.08.) и третьего (08.09) учетов в оба года исследований пять образцов: Бар. F₈ 2, Мер. F₆ 1, 24-905 RZ F₄₋₅, Пр. F₆ 1, Эксель. F₅ ч/б 1, по поражению пероноспорой, в баллах, были на уровне сорта Суражевский. Следует отметить, что три из них выделились по устойчивости и при первом учете в 2023 году. Еще два образца: Пыж. F₆ и Тат. F₈ поразились ложной мучнистой росой на уровне Суражевского в 2022 году в конце августа и начале сентября, но немного уступили устойчивому стандарту при учете 30.08.23 г. Две линии – Сен.

Таблица 3. Поражение ложной мучнистой росой перспективных линий огурца партенокарпического типа, открытый грунт, 2022-2023 годы
Table 3. Downy mildew infection of promising cucumber lines parthenocarpic type, open ground, 2022-2023

№ п/п	Линия	Поражение ложной мучнистой росой							
		балл					развитие болезни, %		
		24.08	30.08		08.09		Среднее за 2 года		
		2023	2022	2023	2022	2023	24.08	30.08	08.09
1	Муромский 36 – стандарт	4.5	4,8	4,9	5	5	65	100	100
2	Суражевский – стандарт	1.8	4,2	3,5	4,3	5	10	30	100
3	Каб. F ₆ к/б 1	4.5	4,7	4,8	4,8	5	73,5	76	100
4	Каб. F ₇ к/б 2	3.1	-	4	-	4,9	40	50	95
5	Кап. F ₇₋₈	3.6	4,8	4,6	4,8	5	45	70	100
6	Rokki F ₄₋₅	3.5	4,6	4,7	4,6	5	60	85	100
7	Гер. F ₆	3.7	4,9	4,5	5	5	60	67,5	100
8	24-905 RZ F ₄₋₅	2.8	4,2	3,5	4,2	4,75	35	47,5	92,5
9	Бар. F ₈ 1	4.1	-	4,5	-	4,85	60	75	95
10	Бар. F ₈ 2	3.5	4,2	3,7	4,3	4,85	70	75	92,5
11	Мер. F ₆ 1	3.3	4,4	3,6	4,5	4,65	42,5	52,5	82,5
12	Мер. F ₄₋₅ 2	-	4,6	3,9	4,8	5	60	70	100
13	Гар. F ₈	3.9	4,7	4,45	4,8	5	70	85	100
14	Мар. F ₄	3.7	-	4,2	-	4,7	67,5	80	92,5
15	Мон. F ₄₋₅ к/б	4.1	4,7	4,6	4,7	5	77,5	87,5	100
16	Мон. F ₅ м/б	-	4,7	-	4,7	-	60	68,5	93,4
17	Пик. F ₅₋₆	3.95	4,35	4,3	4,5	5	77,5	85	100
18	Хас. F ₅	3.0	4,6	3,5	4,6	4,75	35	50	82,5
19	Пр. F ₆ 1	2.7	4	3,5	4,2	4,95	40	50	97,5
20	Пр. F ₇₋₁₂ 2	-	4,6	-	4,8	-	53	58	97
21	Кар. F ₅₋₇ к/б 1	3.6	4,65	4	4,7	5	67,5	75	100
22	Кар. F ₈ к/б 2	-	4,6	4,8	4,6	4,7	80	85	100
23	Лист F ₄₋₅	3.65	-	4	-	4,85	57,5	75	97,5
24	Ур. F ₄₋₆	-	4,85	-	4,85	-	65	75	98
25	СВ 4097 F ₄	4.0	-	4,7	-	5	80	80	100
26	Тат. F ₈	3.8	4,5	3,8	4,5	4,9	40	50	95
27	(Хас. х Хаб.) F ₄	2.9	-	3,4	-	4,6	30	40	85
28	Пыж. F ₆	3.8	4,5	4	4,5	5	60	80	100
29	Мам. F ₆	3.8	-	4,2	-	4,9	65	75	90
30	Л.35	3.6	4,6	3,8	4,6	4,7	45	65	80
31	Геп. F ₁₀	4.0	-	4,6	-	5	70	85	100
32	Л.25	3.9	-	4,2	-	5	75	85	100
33	Melani F ₉₋₁₀	3.9	4,9	4,8	4,9	5	80	90	100
34	Эксель. F ₅ ч/б 1	2.8	4,5	3,6	4,6	4,9	45	50	75
35	Под. F ₈	-	4,9	-	4,9	-	85	90	100
36	Тр. F ₆	-	4,7	-	4,8	-	75	80	100
37	Сен. F ₁₁	-	4,4	-	4,5	-	65	70	98
	НСР ₀₅		0,30	0,23	0,3	0,2	10,36	10,67	



Рис. Посевы огурца в открытом грунте в Подмоскowie, 30.08.2022 год
Fig. Cucumber crops in the open ground in the Moscow region, 30.08.2022

F₁₁ и (Хас. х Хаб.) F₄ поразились пероноспорой на уровне устойчивого стандарта, при испытании в течение одного года исследований и нуждаются в дополнительном изучении.

У линий с минимальным баллом поражения развитие болезни, при первом учете составляло 30-45% (у устойчивого стандарта – 10%), при втором учете – 40-53% (у устойчивого стандарта – 30%). Среди селекционных образцов, наименьшие значения по развитию пероноспороза, при первом и втором учетах (30 и 40%, соответственно), были у образца (Хас. х Хаб.) F₄, полученного с участием сорта Дальневосточной селекции Хаббар. Лишь этот образец при учете 30.08 по развитию пероноспороза был на уровне устойчивого стандарта. У других селекционных образцов развитие ложной мучнистой росы при всех учетах было существенно больше, чем у сорта Суражеский. У самых неустойчивых, уже при первом учете, этот показатель достигал 70-80%.

В условиях Приморского края практически ежегодно на огурце отмечают эпифитотии ложной мучнистой росы, поэтому очень важно было оценить перспективные гибридные комбинации на устойчивость к этой болезни в данных условиях (табл. 4).

Результаты оценки 25.07. устойчивости к пероноспоре показали, что восемь гибридных комбинаций поразились этой болезнью на уровне лучшего стандарта (на 1,0 балл), а одна – 24-905RZ F₄ х Пр.F₁₁, на 0,5 балла, что вдвое меньше, чем лучший стандарт – Кураж F₁. Как видно из таблицы 4, в дальнейшем, по выносливости к ложной мучнистой росе выделились две гибридные комбинации: 24-905RZ F₄ х Пр.F₁₁ и Кар.F₆ х Пр.F₁₁. На 28.07 первая

гибридная комбинация поразилась на 1.0-1.5 балла, а вторая – на 0.5-1,0 балла меньше, чем стандарты. Еще лучше были результаты при учете 08.09. Гибридная комбинация 24-905RZ F₄ х Пр.F₁₁ поразилась на 1,0-1,5 баллов, а Кар.F₆ х Пр.F₁₁ – на 1,5-2,0 баллов меньше, чем стандарты. И при последнем учете 26.08. первая гибридная комбинация поразилась на 0,5, а вторая – на 0,7 балла меньше, чем стандарты.

Следует отметить, что родительские формы гибридной комбинации 24-905RZ F₄ х Пр.F₁₁, выделившейся по устойчивости к пероноспорозу в условиях Приморского края в 2022 году, были лучшими по этому признаку в условиях Подмосковья в течении двух лет исследований (табл. 3). И во второй гибридной комбинации Кар.F₆ х Пр.F₁₁, наименее пораженной ложной мучнистой росой, отцовской формой служила линия, одна из наиболее выносливых к этой болезни в Подмосковье.

Выводы

В условиях открытого грунта Подмосковья отобранные линии огурца партенокарпического типа, наиболее устойчивые к ложной мучнистой росе: Пр. F₆ 1, 24-905 RZ F₄₋₅, Эксель. F₅ ч/б 1, (Хас. х Хаб.) F₄. Полученные результаты коррелируют с однолетними данными опыта, проведенного в условиях неотапливаемых весенних теплиц Приморского края. Это свидетельствует о том, что выделенные линии могут служить ген источниками устойчивости к ложной мучнистой росе и их использование может ускорить создание гибридов огурца партенокарпического типа с повышенной устойчивостью к этой болезни.

Таблица 4. Экологическое сортоиспытание перспективных гибридов огурца в условиях весенних пленочных теплиц Приморского края, 2022 год

Table 4. Ecological variety testing of promising cucumber hybrids in the conditions of spring film greenhouses of Primorsky region, 2022

№ п/п	Гибрид F1	Поражение пероноспорозом, балл			
		25.07	28.07	08.09	26.08
1	Герман - стандарт	2.0	2.5	3.5	4.0
2	Кураж - стандарт	1.0	2.0	4.0	4.0
3	Мад.F ₅ х Эксель.F ₄	1.0	2.0	3.5	4.0
4	Пр.F ₇ х Модель 2/3222	1.0	2.2	3.8	4.0
5	(Каб.F ₄ х Мод. 2322) F ₄ х Шар.F ₇	2.0	3.0	3.5	3.8
6	(Каб. F ₄ х Мод.2322) х Пр. F ₅	1.0	2.0	3.0	4.0
7	24-905RZ F ₄ х Пр.F ₁₁	0.5	1.0	2.5	3.5
8	Пр.F ₉ х Урано F ₅	1.0	2.0	3.0	3.8
9	Эксель F ₅ х Мер. F ₄	1.0	2.0	3.5	3.8
10	Кар.F ₆ х Пр.F ₁₁	1.0	1.5	2.0	3.3
11	(Каб. F ₄ х Мод.) х Пр.F ₅	2.0	2.8	3.0	3.8
12	Кар. F ₆ х Эксель F ₄	1.0	1.0	3.0	4.0
13	Кар. F ₆ х Мер. F ₄	1.0	2.0	3.5	4.0
14	Лель F ₁	2.8	3.8	4.0	4.0
НСР ₀₅		0,16	0,30	0,56	0,34

Примечания: 1 – единичные пятна; 2 – 5-ти балльная шкала.

• Литература

1. Sukhanberdina E.H., Grushin A.A., Piskunova T.M. Screening of the cucumber collection for resistance to Downy mildew in the Lower Volga region. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2019;180(2):102-108. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-102-108>. EDN NDVAFG.
2. Timoshenko N.N. Distribution *Peronosporosis cucumber*. *Era of science*. 2016;(8):265-277. EDN XEUITZ. (In Russ.)
3. Andreeva E.A., Dronchenko G.S., Bondarev N.T. The specificity of the action of drugs against some representatives of oomycetes and the influence of pathogens on them. *Dep. in ONIITEKHIM*. 12/20/88. 1988;(1211):14. (In Russ.)
4. Nalobova V.L. Evaluation of cucumber for resistance to downy mildew. Methodical instructions. Minsk, 1991. (In Russ.)
5. Nalobova V.L. Phytopathological basis of cucumber selection for disease resistance. Minsk, 1998. 40 p. (In Russ.)
6. Pivovarov V.F. Powdery mildew of cucumber in film greenhouses. Works of young scientists and graduate students on selection and seed production of vegetable crops. 1971;(4):53-54. (In Russ.)
7. Vliet G.A., Meijnsing W.D. Inheritance of Resistance to *Pseudoperonospora cubensis* Rost. In Cucumber (*Cucumis sativus*). *Euphytica*. 1974;(23):251-255.
8. Medvedeva N.I. Breeding value of cucumber resistance donors to major diseases. L., 1983. (In Russ.)
9. Shimizu S., Kanazawa K., Kato A., Yokota Y., Koyama T. Studies on the breeding of cucumber for the resistance to downy mildew and other fruit characters. *Engei Shikenjo Ho Koku*. 1963;(2):65-81.
10. McFerson J. A screening procedure for determining levels of resistance in cucumber. *Master's Thesis, Texas A&M University, College Station, TX, USA*. 1978.
11. Doruchowski R., Lakowska-Ryk E. Inheritance of resistance to downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis* Berk & Curt) in *Cucumis sativus*. *Proc. 5th EUCARPIA Cucurbitaceae Symp*. 1992. P.66-69.
12. Petrov L., Boogert K., Sheck L., Baider A., Rubin E., Cohen Y. Resistance to downy mildew, *Pseudoperonospora cubensis*, in cucumbers. *Acta Horticulturae*. 2000; 510(510):203-209. DOI:10.17660/ActaHortic.2000.510.33
13. Pershin A., Medvedeva N., Medvedev A. Quantitative approach to studying the genetics of disease resistance. IV. Interaction of the genetic systems for resistance to powdery and downy mildews in cucumber. *Genet. USSR*. 1988;(24):484-493.
14. Pakhratdinova Zh.U., Rsaliev A.S., Amirkhanova N.T. Study of the genetic bases of the resistant of cucumber varieties to downy mildew on the basis of molecular genetic markers. *International Research Journal*. 2017;11(65):85-89. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.65.107>
15. Korotzeva I.B., Korganova N.N., Kochetkova L.A. Selection of cucumber varieties resistant to downy mildew. *Potato and vegetables*. 2005;(4):10-11. EDN YPIOKN. (In Russ.)
16. Korotseva I.B. Cucumber resistance to downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) in the Non-Black earth zone of the Russian Federation. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(6):116-119. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-116-119>. EDN DZJGVY.
17. Anikina I.I. Source material for breeding cucumbers for resistance to downy mildew in the Non-Chernozem zone. In: Cucumber selection for disease resistance. Novosibirsk, 1993. (In Russ.)
18. Broad unified classifier of CMEA and international classifier of CMEA of the species *Cucumis sativus* L. L., 1980. 28 p. (In Russ.)

• References

1. Sukhanberdina E.H., Grushin A.A., Piskunova T.M. Screening of the cucumber collection for resistance to Downy mildew in the Lower Volga region. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2019;180(2):102-108. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-102-108>. EDN NDVAFG.
2. Timoshenko N.N. Distribution *Peronosporosis cucumber*. *Era of science*. 2016;(8):265-277. EDN XEUITZ. (In Russ.)
3. Andreeva E.A., Dronchenko G.S., Bondarev N.T. The specificity of the action of drugs against some representatives of oomycetes and the influence of pathogens on them. *Dep. in ONIITEKHIM*. 12/20/88. 1988;(1211):14. (In Russ.)
4. Nalobova V.L. Evaluation of cucumber for resistance to downy mildew. Methodical instructions. Minsk, 1991. (In Russ.)
5. Nalobova V.L. Phytopathological basis of cucumber selection for disease resistance. Minsk, 1998. 40 p. (In Russ.)
6. Pivovarov V.F. Powdery mildew of cucumber in film greenhouses. Works of young scientists and graduate students on selection and seed production of vegetable crops. 1971;(4):53-54. (In Russ.)
7. Vliet G.A., Meijnsing W.D. Inheritance of Resistance to *Pseudoperonospora cubensis* Rost. In Cucumber (*Cucumis sativus*). *Euphytica*. 1974;(23):251-255.
8. Medvedeva N.I. Breeding value of cucumber resistance donors to major diseases. L., 1983. (In Russ.)
9. Shimizu S., Kanazawa K., Kato A., Yokota Y., Koyama T. Studies on the breeding of cucumber for the resistance to downy mildew and other fruit characters. *Engei Shikenjo Ho Koku*. 1963;(2):65-81.
10. McFerson J. A screening procedure for determining levels of resistance in cucumber. *Master's Thesis, Texas A&M University, College Station, TX, USA*. 1978.
11. Doruchowski R., Lakowska-Ryk E. Inheritance of resistance to downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis* Berk & Curt) in *Cucumis sativus*. *Proc. 5th EUCARPIA Cucurbitaceae Symp*. 1992. P.66-69.
12. Petrov L., Boogert K., Sheck L., Baider A., Rubin E., Cohen Y. Resistance to downy mildew, *Pseudoperonospora cubensis*, in cucumbers. *Acta Horticulturae*. 2000; 510(510):203-209. DOI:10.17660/ActaHortic.2000.510.33
13. Pershin A., Medvedeva N., Medvedev A. Quantitative approach to studying the genetics of disease resistance. IV. Interaction of the genetic systems for resistance to powdery and downy mildews in cucumber. *Genet. USSR*. 1988;(24):484-493.
14. Pakhratdinova Zh.U., Rsaliev A.S., Amirkhanova N.T. Study of the genetic bases of the resistant of cucumber varieties to downy mildew on the basis of molecular genetic markers. *International Research Journal*. 2017;11(65):85-89. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.65.107>
15. Korotzeva I.B., Korganova N.N., Kochetkova L.A. Selection of cucumber varieties resistant to downy mildew. *Potato and vegetables*. 2005;(4):10-11. EDN YPIOKN. (In Russ.)
16. Korotseva I.B. Cucumber resistance to downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) in the Non-Black earth zone of the Russian Federation. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(6):116-119. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-116-119>. EDN DZJGVY.
17. Anikina I.I. Source material for breeding cucumbers for resistance to downy mildew in the Non-Chernozem zone. In: Cucumber selection for disease resistance. Novosibirsk, 1993. (In Russ.)
18. Broad unified classifier of CMEA and international classifier of CMEA of the species *Cucumis sativus* L. L., 1980. 28 p. (In Russ.)

Об авторах:

Ирина Борисовна Коротцева – канд. с.-х. наук, зав. лаб. селекции и семеноводства тыквенных культур, <https://orcid.org/0000-0001-5108-3289>, автор для переписки, korotseva@mail.ru
Сергей Николаевич Белов – м.н.с. лаб. репродуктивной биотехнологии в селекции с.-х. растений, <https://orcid.org/0000-0002-4387-9153>, belov@vniissok.ru
Мария Евгеньевна Слетова – канд. с.-х. наук, с.н.с. лаб. иммунитета и защиты растений, <https://orcid.org/0000-0003-4117-2565>, gvina@yandex.ru
Николай Андреевич Сакара – канд. с.-х. наук, в.н.с., сектора агрохимии и земледелия, <https://orcid.org/0000-0001-5089-3028>, nsakara@inbox.ru
Ирина Алексеевна Ванюшкина – старший научный сотрудник сектора защиты растений, SPIN-код автора 5195-8660, <https://orcid.org/0009-0009-5379-2981>, vanuschckina.i@yandex.ru
Татьяна Сергеевна Тарасова – м.н.с. секторов агрохимии и земледелия и селекции картофеля, <https://orcid.org/0000-0002-9875-6011>, yaktakoma79@mail.ru
Наталья Александровна Синиченко – старший научный сотрудник сектора селекции и семеноводства овощных культур, SPIN-код автора 1046-1750, <https://orcid.org/0009-0007-0412-4835>, natsinichenko@mail.ru

About the Authors:

Irina B. Korotseva – Cand. Sci. (Agriculture), head of the laboratory of selection and seed production of pumpkin crops, <https://orcid.org/0000-0001-5108-3289>, Correspondence Author, korotseva@mail.ru
Sergey N. Belov – Junior Researcher of Laboratory of Reproductive Biotechnology in Crop Breeding, <https://orcid.org/0000-0002-4387-9153>, belov@vniissok.ru
Maria E. Sletova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of Lab. Immunity and Plant Protection, <https://orcid.org/0000-0003-4117-2565>, gvina@yandex.ru
Nikolay A. Sakara – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Sector of Agrochemistry and Agriculture, <https://orcid.org/0000-0001-5089-3028>, nsakara@inbox.ru
Irina A. Vanyushkina – Senior Researcher, Plant Protection Sector, Author SPIN Code 5195-8660, <https://orcid.org/0009-0009-5379-2981>, vanuschckina.i@yandex.ru
Tatiana S. Tarasova – Junior Researcher of the Sectors of Agrochemistry and Agriculture and Potato Breeding, <https://orcid.org/0000-0002-9875-6011>, yaktakoma79@mail.ru
Natalya A. Sinichenko – Senior Researcher of the Sector of Breeding and Seed Production of Vegetable Crops, Author SPIN Code 1046-1750, <https://orcid.org/0009-0007-0412-4835>, natsinichenko@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-11-16>
УДК 635.63:631.547.52:577.2

Д.Д. Теплякова*

ООО "Гибрид"

Россия, Краснодарский край,
м.р-н Крымский, с. п. Пригородное,
х. Армянский, ул. Горького, д. 2

*Автор для переписки: dorogina.d@gmail.com

Конфликт интересов. Автор заявляет
об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Теплякова Д.Д.

Эффективность ПЦР-маркера F311 гена SGR
при оценке устойчивости линий огурца к лож-
ной мучнистой росе (*Pseudoperonospora*
cubensis). Овощи России. 2023;(6):11-16.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-11-16>

Поступила в редакцию: 15.09.2023

Принята к печати: 11.10.2023

Опубликована: 04.12. 2023

Daria D. Teplyakova*

LLC "Hybrid"

Gorky St. 2, khutor Armyanskiy,
v. Prigorodnoye, Krymsky district,
Krasnodar region, Russia

*Correspondence: dorogina.d@gmail.com

Conflict of interest. The author declare
that there is no conflicts of interest.

For citation: Teplyakova D.D. Efficiency of PCR
marker F311 of the SGR gene in assessing the
resistance of cucumber lines to downy mildew
(*Pseudoperonospora cubensis*). *Vegetable crops*
of Russia. 2023;(6):11-16. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-11-16>

Received: 15.09.2023

Accepted for publication: 11.10.2023

Published: 04.12. 2023

Эффективность ПЦР-маркера F311 гена SGR при оценке устойчивости линий огурца к ложной мучнистой росе (*Pseudoperonospora cubensis*)



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Ложная мучнистая роса (ЛМР), вызываемая *Pseudoperonospora cubensis*, является серьезной проблемой при выращивании огурца как в открытом, так и в защищенном грунте. Одним из самых эффективных методов борьбы с ЛМР является выращивание генетически устойчивых гибридов. Для создания, которых в селекционную работу необходимо включать генетические маркеры, ускоряющие и увеличивающие точность отбора. Генетический маркер F311 гена SGR обеспечивает устойчивость к разрушению хлорофилла, что позволяет значительно снизить темпы развития ложной мучнистой росы, а также сохранить рост и развитие растений.

Материал и методы. В 2021-2022 годах в Крымском селекционном центре в весеннем обороте в открытом грунте изучили родительские линии огурцов. Всего было изучено 39 образцов. Оценили их устойчивость к ложной мучнистой росе на естественном инфекционном фоне по 5-ти бальной шкале. В качестве стандартов были выбраны гибриды: St устойчивости Феникс+, St восприимчивости – F₁ Чайковский, набравший максимальный балл поражения при визуальной оценке, Весь изучаемый материал проверили на наличие гена устойчивости к разрушению хлорофилла SGR при помощи ПЦР-анализа с использованием маркера F311.

Результаты. Эффективность работы маркера F311 (SGR), в условиях данного опыта, составила 87,2%. Эффективность применения маркера F311 (SGR) для оценки устойчивости к ЛМР – 84,6%. По результатам опыта можно сделать вывод, что использование маркера F311 (SGR) позволит значительно ускорить процесс отбора и создания устойчивых к ЛМР гибридов с комплексом хозяйственно ценных признаков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

естественный инфекционный фон, *Pseudoperonospora cubensis*, генетические маркеры, устойчивость к разрушению хлорофилла, родительские линии, огурец

Efficiency of PCR marker F311 of the SGR gene in assessing the resistance of cucumber lines to downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*)

ABSTRACT

Relevance. Downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) is a serious problem when growing cucumber both in open and protected ground. One of the most effective methods of combating *Pseudoperonospora cubensis* is the cultivation of genetically resistant hybrids. To create them, it is necessary to include genetic markers in breeding work that speed up and increase the accuracy of selection. The F311 genetic marker of the SGR gene provides resistance to the destruction of chlorophyll, which can significantly reduce the rate of development of downy mildew, as well as preserve the growth and development of plants.

Material and methods. In 2021-2022, at the Crimean Breeding Center, parental lines of cucumbers were studied in spring rotation in open ground. A total of 39 samples were studied. Their resistance to downy mildew against a natural infectious background was assessed on a 5-point scale. Hybrids were chosen as standards: St resistance – Phoenix+, St susceptibility – F₁ Tchaikovsky, which scored the maximum damage score during visual assessment.

All studied material was tested for the presence of the SGR gene for resistance to chlorophyll destruction using PCR analysis using the F311 marker.

Results. The operating efficiency of the F311 (SGR) marker under the conditions of this experiment was 87.2%. And the efficiency of using the F311 (SGR) marker for assessing resistance to *Pseudoperonospora cubensis* is 84.6%. Based on the results of the experiment, we can conclude that the use of the F311 (SGR) marker will significantly speed up the process of selection and creation of hybrids resistant to *Pseudoperonospora cubensis* with a complex of economically valuable traits.

KEYWORDS:

natural infectious background, downy mildew, *Pseudoperonospora cubensis*, genetic markers, resistance to chlorophyll destruction, parental lines, cucumber

Введение

Одним из самых распространенных и вредоносных заболеваний огурца является ложная мучнистая роса (пероноспороз). Возбудитель – оомицет *Pseudoperonospora cubensis* Rostowz.

Ежегодно эпифитотия ложной мучнистой росы угрожает производству огурца в более чем 80 странах мира [1].

При высоком инфекционном фоне, потери урожая могут составлять от 30 до 70 %, в зависимости от условий года, выращиваемых сортов и гибридов, от сроков появления болезни относительно стадии развития растений и т.д.

Заболевание визуально проявляется в виде желто-зеленых угловатых сухих пятен, распространяющихся по всей поверхности листа. Хлорофилл разрушается и листья приобретают бронзоватый буро-коричневый цвет, высыхают и рассыпаются [1,2,3].

Для интенсивного развития заболевания, в период спороношения пероноспоровых грибов требуется высокая влажность воздуха. Рассеиванию зооспор больше благоприятствует сухая погода, а для их прорастания и заражения необходима влага. Для развития

пероноспороза достаточно наличие росы, которая выпадает ночью и ранним утром. Поэтому возбудитель может поражать огурец в районах и с засушливым климатом [2,4,5].

Большое влияние оказывает температурный режим, обильное образование зооспор и наиболее короткий инкубационный период наблюдаются при сочетании среднесуточной температуры 18-26°C и наличия росы на листьях в течение 3-4 ч. Температура выше 30°C ограничивает развитие болезни. Наиболее благоприятные условия для развития заболевания – большой перепад температуры с низкими температурами в ночной период и с высокими – в дневной [1,3,5,6].

Самым распространенным способом борьбы с заболеванием является использование фунгицидов. А самым перспективным, эффективным, экономически выгодным и экологичным является использование устойчивых сортов и гибридов [7].

Значительная работа, направленная на изучение, поиск и создание устойчивых к пероноспорозу сортов и гибридов, проводится в разных странах.

Учеными ВИР и его филиалов проведен многолетний скрининг коллекции огурца по устойчивости к лож-



Рис. 1. а – образец без устойчивости к разрушению хлорофилла; б – образец с устойчивостью к разрушению хлорофилла
Fig. 1. a – sample without resistance to chlorophyll destruction; b – sample with resistance to chlorophyll destruction

ноймучнистой росе. На базе Крымской и Майкопской опытных станций – в период с 1985 по 2005 годы проанализировано свыше 4200 образцов огурца из мировой коллекции ВИР, включая новые сорта и гибриды отечественной и зарубежной селекции. В результате этих исследований установлено, что число устойчивых и относительно устойчивых образцов составляет от 1,2% до 5,0% от общего, и сделан вывод об отсутствии образцов полной устойчивостью к ложной мучнистой росе. В популяции огурца нет генотипов с полной вертикальной устойчивостью [7].

Осложняет задачи селекции необходимость сосредоточить в одном генотипе устойчивость к ЛМР, которая имеет рецессивный характер наследования (контролируется тремя генами *dm* (*downy mildew*), *dm1.1*, *dm5.1*, *dm5.3*, расположенных в разных хромосомах) и требуемый комплекс хозяйственно ценных признаков [5,6].

Также активно ведется селекционная работа с геном SGR (*stay green resistance*), который кодирует белок *senescence-inducible chloroplast stay-green protein*, участвующий в процессе разрушения хлорофилла в хлоропластах [8].

Изначально ген SGR обеспечивает желтую окраску листьев, разрушая зеленый пигмент хлорофилл, в результате чего становятся видимыми желтые пигменты каротиноиды. А мутации, выводящие ген из строя (так же, как и выключение этого гена методом РНК-интерференции) приводят к тому, что при старении листьев или созревании семян хлорофилл не разрушается и они сохраняют зеленую окраску. Ген широко известен и используется не только в культуре огурца, но и у других культу, например, фасоли, кукурузы, риса, садового гороха, арабидопсиса и т.д [9,10].

Устойчивость к разрушению хлорофилла позволяет значительно снизить темпы развития ложной мучнистой росы, обеспечивает рост и развитие растений, а также сохраняет и продлевает период плодоношения [8,11,12].

Использование генетического маркера F311, позволяющего определить наличие мутации SGR в генотипе, позволяет значительно ускорить селекционный процесс отбора устойчивых и более продуктивных образцов (рис. 1).

Материалы и методы

В 2021-2022 годах на базе Крымского селекционного центра в весеннем обороте в открытом грунте был заложен опыт по изучению и оценке устойчивости к ложной мучнистой росе родительских линий огурца на естественном инфекционном фоне и определению эффективности работы маркера F311.

Устойчивость к ложной мучнистой росе оценивали по методикам, предложенным отделом иммунитета ВИР для овощных культур, используя шкалу устойчивости в баллах, где:

- 0 – поражение отсутствует – иммунность;
- 0,1 балл – единичные признаки болезни; – устойчивость;
- 1 балл – среднее поражение (поражено около 25% поверхности листьев) – относительная устойчивость;
- 2 балла – сильное поражение (поражено до 50% поверхности листьев) – восприимчивость;

3 балла – очень сильное поражение, вызывающее гибель растений – сильная восприимчивость [11,13].

Оценку устойчивости проводили индивидуально по каждому растению и затем вычисляли среднее по образцу. Всего было изучено 39 образцов, из них 37 родительских линий и 2 стандарта: St устойчивости Феникс + не пораженный ЛМР, по результатам ПЦР анализа устойчивый к разрушению хлорофилла и сохранивший зеленую окраску листьев до конца вегетации, и St восприимчивости F1 Чайковский – восприимчивый, почти 50% поверхности листьев были поражены ЛМР, было отмечено так же пожелтение листьев. Гибрид голландской компании Райк Цваан (Rijk Zwaan).

Для расчета эффективности работы маркера F311 сопоставили и рассчитали отношение результатов ПЦР-анализа, показавшего количество образцов с наличием мутации SGR в генотипе, и результаты визуальной оценки устойчивости образцов к разрушению хлорофилла.

А для определения эффективности применения маркера F311 для оценки устойчивости к ЛМР рассчитали отношение результатов ПЦР-анализа и результаты визуальной оценки поражения ЛМР на естественном фоне.

Результаты и их обсуждение

Из изученных тридцати девяти образцов у двадцати одного, включая стандарт St Феникс+, по результатам ПЦР-анализа есть устойчивость к разрушению хлорофилла (номера с 1 по 20 и 39 (табл. 1). У восемнадцати образцов со стандартом St F₁ Чайковский такая устойчивость отсутствует.

При визуальной оценке у двадцати четырех образцов в течении вегетационного периода оставалась зеленой окраска листьев, из них у двадцати образцов результат ПЦР-анализа показал наличие устойчивости (аллель R).

Сохранение хлорофилла способствовало сдерживанию развития ложной мучнистой росы. В данной группе максимальный балл поражения ЛМР составил 2,3 балла у образца 8157-20 (№20), листья сохраняли зеленую окраску, но очаги поражения достаточно быстро развивались в виде сухих коричневых хлоротичных пятен, и также не было роста и развития основного стебля и боковых побегов, что привело к достаточно быстрому высыханию и гибели растений.

У четырех образцов с листьями, сохранившими зеленую окраску, по результатам ПЦР-анализа отсутствует ген устойчивости к разрушению хлорофилла – идентифицирован аллель S (№№ 35-38) из них у двух образцов 9474-20 и 6914-20 индекс развития болезни равен 0,8 баллам, признаки поражения были слабыми или отсутствовали. Предположительно, у данных образцов устойчивость к ЛМР контролируется сочетанием нескольких основных рецессивных генов *dm*. Таким образом, генетический фон гена SGR с аллелем S является хорошим «проявителем» наличия нескольких генов *dm* вместе. К данным образцам уделено особое внимание, так как если в последующих испытаниях предположение подтвердится, то данные линии будут ценным источником генетической устойчивости к ЛМР в селекционном процессе.

Таблица 1. Устойчивость родительских линий к ЛМР и эффективность работы маркера F311
(Селекционный центр г. Крымск, 2021–2022 годы)

Table 1. Resistance of parental lines to *Pseudoperonospora cubensis* and the effectiveness of the F311 marker. (Selection center Krymsk, 2021–2022)

№	Названия	Окраска листьев	ПЦР-анализ SGR	Визуальная оценка ЛМР, балл			Урожайность, кг/м ²		
				2021 год	2022 год	средний	2021 год	2022 год	средняя
1	St Феникс +	зеленый	R	0,0	0,0	0,0	4,5	6,6	5,5
2	11612-20	зеленый	R	0,0	0,5	0,3	5,8	7,6	6,7
3	2773-20	зеленый	R	0,5	0,5	0,5	6,0	8,1	7,1
4	2124-20	зеленый	R	1,0	0,5	0,8	4,9	7,8	6,4
5	2095-19	зеленый	R	1,0	1,0	1,0	5,7	7,9	6,8
6	2096-20	зеленый	R	1,0	1,0	1,0	5,3	7,8	6,6
7	11597-20	т-зеленый	R	1,0	1,5	1,3	6,3	7,9	7,1
8	2781-19	зеленый	R	1,5	1,0	1,3	5,9	7,6	6,8
9	5614-19	зеленый	R	1,5	1,0	1,3	5,2	7,7	6,5
10	2067-20	зеленый	R	1,5	1,0	1,3	5,1	7,8	6,5
11	2097-19	зеленый	R	1,0	1,5	1,3	5,1	6,9	6,0
12	2759-20	зеленый	R	1,5	1,5	1,5	5,1	7,1	6,1
13	8159-18	зеленый	R	2,0	1,0	1,5	3,8	6,9	5,4
14	2768-20	зеленый	R	2,0	1,5	1,8	4,0	7,1	5,6
15	5651-19	зеленый	R	2,0	1,5	1,8	3,5	7,4	5,5
16	1940-18	зеленый	R	2,0	1,5	1,8	3,8	8,0	5,9
17	7016-20	зеленый	R	2,0	1,5	1,8	4,3	7,1	5,7
18	9471-20	зеленый	R	1,5	2,0	1,8	3,3	7,1	5,2
19	8158-19	зеленый	R	2,0	1,5	1,8	3,9	5,5	4,7
20	8157-20	зеленый	R	2,5	2,0	2,3	3,5	6,5	5,0
21	St F ₁ Чайковский	желтый	S	3,0	2,5	2,8	4,1	5,8	5,0
22	1264-17	желтый	S	1,5	2,0	1,8	4,3	5,9	5,1
23	9485-19	желтый	S	2,0	1,5	1,8	4,9	5,1	5,0
24	9478-18	желтый	S	2,0	2,0	2,0	4,9	5,4	5,2
25	2139-20	желтый	S	2,0	2,5	2,3	3,8	4,4	4,1
26	6864-20	желтый	S	2,5	2,0	2,3	3,3	5,4	4,4
27	4407-20	желтый	S	3,0	2,0	2,5	3,1	5,1	4,1
28	2092-19	желтый	S	3,0	2,0	2,5	2,3	4,2	3,3
29	1339-17	желтый	S	3,0	2,0	2,5	2,1	4,8	3,5
30	1242-17	желтый	S	2,5	3,0	2,8	3,9	4,6	4,3
31	2077-20	желтый	S	3,5	2,0	2,8	1,4	3,1	2,3
32	7000-20	желтый	S	3,0	3,0	3,0	2,9	4,9	3,9
33	5709-17	желтый	S	3,5	2,5	3,0	1,1	2,1	1,6
34	6978-20	желтый	S	3,0	3,5	3,3	2,6	2,8	2,7
35	9474-20	зеленый	S	1,0	0,5	0,8	3,2	7,8	5,5
36	6914-19	зеленый	S	1,0	0,5	0,8	5,4	8,3	6,9
37	6960-20	зеленый	S	2,0	1,5	1,8	4,5	7,1	5,8
38	1989-20	зеленый	S	2,0	2,0	2,0	2,4	6,8	4,6
39	7638-18	желтый	R	1,0	1,0	1,0	3,9	5,4	4,7

У пятнадцати образцов листья пожелтели, из них у четырнадцати отсутствует устойчивость к разрушению хлорофилла, а у одного образца (№ 39) развитие поражения ЛМР началось в конце вегетационного периода, и максимально было оценено 1 баллом, но растения развивались слабо и были угнетены, данный образец также включён в даль-

нейшие испытания для изучения характера его устойчивости. Возможно, тут имело место обратное сочетание генов: устойчивый *SGR-R* и все гены восприимчивости *Dm.*, следовательно, полевая устойчивость огурца к ЛМР, обусловленная геном *SGR-R* значительно превосходит таковую, на основе нескольких генов *dm* [14, 15].

Таблица 2. Визуальная оценка окраски листьев и данные ПЦР – анализа маркера F311
Table 2. Visual assessment of leaf color and PCR data – analysis of the F311 marker

№	Визуальная оценка окраски листьев	ПЦР-анализ (ген SGR) (количество образцов)		Всего
		R	S	
1	Желтый	1	14	15
2	Зеленый	20	4	24
	Всего	22	17	39

Из общего числа образцов лишь у пяти не совпали результаты визуальной оценки и результаты ПЦР анализа (табл. 2). Возможно, из-за обратного сочетания с генами *dm*. Эффективность работы маркера F311 составила: $34/39 \cdot 100 = 87,2\%$. Применение в селекционной работе данного маркера позволит значительно ускорить и упростить отбор материала с большим потенциалом, более жизнеспособных и стрессоустойчивых образцов.

По результатам визуальной оценки поражения ЛМР все образцы можно разделить на три группы (табл. 3).

ные - сдерживающие развитие ЛМР.

В третьей группе, у оставшихся 14 образцов (№№ 20, 21, 24-34 и 38) было отмечено достаточно сильное поражение ЛМР (от 2 и выше баллов) – их выделили как неустойчивые.

Сопоставив данные визуальной оценки поражения ЛМР и ПЦР анализа, определили, что эффективность работы маркера в условиях данного опыта составляет $(7+13+13)/39 = 84,6\%$, что довольно высоко и подтверждает большую эффективность гена SGR относительно комплекса генов *dm*.

Эффективность высокая, применение маркера

Таблица 3. Визуальная оценка устойчивости к ЛМР и данные ПЦР – анализа маркера F311
Table 3. Visual assessment of resistance to *Pseudoperonospora cubensis* and data from PCR analysis of the F311 marker

№	Визуальная оценка поражения ЛМР	ПЦР- анализ (ген SGR) (количество образцов)		Всего
		R	S	
1	Устойчивые	7	2	9
2	Толерантные	13	3	16
3	Неустойчивые	1	13	14
	Всего	21	18	39

В первой группе у 9 образцов (№№ с 1 по 6 и 35, 36) поражение ЛМР отсутствует или очень слабое от 0 до 1 балла. Из данной группы только у 6 образцов (St Феникс +, 11612-20, 2773-20, 2124-20, 2095-19 и 2096-20) ПЦР – анализ показал наличие устойчивости к разрушению хлорофилла, их отметили как устойчивые.

Во второй группе (№№ 7-19 и 35-37) у шестнадцати образцов было отмечено поражение от 10 до 25% поверхности листьев (1,3-1,8 баллов), из них у трех (№№ 35-37) отсутствует устойчивость к разрушению хлорофилла по данным ПЦР-анализа, а, по визуальной оценке, только у двух линий пожелтели листья. Тринадцать образцов с сохранившейся окраской листа и наличием гена устойчивости к разрушению хлорофилла отметили как толерант-

позволит увеличить скорость отбора устойчивых образцов к ЛМР.

Также на всех делянках был проведен учет урожая, за период вегетации было сделано 7 сборов. Более высокий уровень урожайности был у образцов, устойчивых к ЛМР и сохранивших зеленую окраску листьев. Средняя урожайность устойчивых образцов составила $6,03 \text{ кг/м}^2$, а у неустойчивых образцов – $3,87 \text{ кг/м}^2$, что на 36% ниже (табл. 1).

По результатам исследований можно сделать вывод, что использование маркера гена **SGR** позволит значительно ускорить процесс отбора и создания устойчивых к ЛМР, более стрессоустойчивых и продуктивных гибридов.

• Литература

1. Ахатов А.К. Мир огурца глазами фитопатолога. М.: Тов-во науч. Изданий «КМК», 2020. С. 166-171.
2. Обручков А.Ю. Новые партенокарпические гибриды огурца, слабо-восприимчивые к ложной мучнистой росе. *Овощи России*. 2018;(5):95-97. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-95-97>. EDN YPELZJ.
3. Борасулов А.М. Селекционная линия огурца с-25/2 устойчивая к ложной мучнистой росе. Перспективы развития науки и образования в современных экологических условиях: материалы международной научно-практической конференции /сост. Н.А. Щербакова / с. Соленое Займище. ФГБНУ «ПНИИАЗ». Соленое Займище, 2017. С. 405-407.
4. Чистякова Л.А., Бирюкова Н.К. Оценка селекционных линий огурца на устойчивость к пероноспорозу и мучнистой росе. *Гауриш*. 2012;(1):38-41. EDN OOLZMD.
5. Налобова В.Л. Ложная мучнистая роса (пероноспороз) тыквенных культур/ *Овощеводство*. 2022;(25):79-86. <https://veget.belar.by/jour/article/view/14>
6. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М., 2011. С. 404-405.
7. Суханбердина Э.Х., Грушин А.А., Пискунова Т.М. Скрининг коллекции огурца по устойчивости к ложной мучнистой росе в зоне нижнего Поволжья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(2):102-108. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-102-108>. EDN NDVAFG.
8. Коротцева И.Б. Устойчивость огурца к ложной мучнистой росе в условиях Нечерноземной зоны РФ. *Овощи России*. 2020;(6):116-119. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-116-119>. EDN DZJGVY.
9. Davis J., Myers J.R., McClean P., Lee R. Staygreen (SGR), a candidate gene for the persistent color phenotype in common bean. *ISHS Acta Horticulturae 859: International Symposium on Molecular Markers in Horticulture*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.859.10>.
10. Xu W., Rosenow D. T., Nguyen H. T. Stay green trait in grain sorghum: relationship between visual rating and leaf chlorophyll concentration. *Plant Breeding*. 2000;119(4):365-367. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2000.00506.x>
11. Lebeda A., Cohen Y. Cucurbit downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) – biology, ecology, epidemiology, hostpathogen interaction and control. *European Journal of Plant Pathology*. 2011;129(2):157-192. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9658-1>
12. Налобова В.Л. Селекция огурца на устойчивость к болезням. Мн.: Белпринт, 2005. 200 с.
13. Маслиенко Л.В., Арасланова Н.М., Ковчигина М.А. Поиск оптимального метода искусственного заражения подсолнечника возбудителем ложной мучнистой росы для определения эффективности опытных образцов микробиопрепаратов. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2014;2(159-160):156-162. – EDN. TJFWSL.
14. Kang S.-I., Hwang I., Goswami G., Jung H.-J., Nath U.K., Yoo H.-J., Lee J.M., Nou I.S. Molecular Insights Reveal Psy1, SGR, and SIMYB12 Genes are Associated with Diverse Fruit Color Pigments in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Molecules*. 2017;22(12):2180. <https://doi.org/10.3390/molecules22122180>
15. Park S.-Y., Yu J.-W., Park J.-S., Li J., Yoo S.-Ch., Lee N.-Y., Lee S.-K., Jeong S.-W., Seo H. S., Koh H.-J., Jeon J.-S., Park Y.-I., Paek N.-Ch. The Senescence-Induced Staygreen Protein Regulates Chlorophyll Degradation. *The Plant Cell*. 2007;19(5):1649–1664. <https://doi.org/10.1105/tpc.106.044891>

• References

1. Akhatov A.K. The world of cucumber through the eyes of a plant pathologist. M.: Scientific Society. Publications "KMK", 2020. pp. 166-171. (In Russ.)
2. Obruchkov A.Yu. New parthenocarpic cucumber hybrids tolerant to downy mildew. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(5):95-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-95-97>. EDN YPELZJ.
3. Borasulov A.M. The cucumber selection line s-25/2 is resistant to downy mildew. Prospects for the development of science and education in modern environmental conditions: materials of the international scientific and practical conference. Solenoe Zaimishche, 2017. P. 405-407. (In Russ.)
4. Chistyakova L.A., Biryukova N.K. Evaluation of breeding lines in cucumber resistance to peronosporosis and powdery mildew. *Gavrish*. 2012;(1):38-41. EDN OOLZMD. (In Russ.)
5. Nalobova V.L. Downy mildew (*Peronospora cubensis*) of pumpkin crops. *Vegetable Growing*. 2017;(25):79-86. (In Russ.)
6. Litvinov S.S. Methodology of field experiment in vegetable growing. M., 2011. P. 404-405. (In Russ.)
7. Sukhanberdina E.H., Grushin A.A., Piskunova T.M. Screening of the cucumber collection for resistance to downy mildew in the Lower Volga region. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2019;180(2):102-108. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-102-108>. EDN NDVAFG.
8. Korottseva I.B. Cucumber resistance to downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) in the Non-Black earth zone of the Russian Federation. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(6):116-119. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-116-119>. EDN DZJGVY.
9. Davis J., Myers J.R., McClean P., Lee R. Staygreen (SGR), a candidate gene for the persistent color phenotype in common bean. *ISHS Acta Horticulturae 859: International Symposium on Molecular Markers in Horticulture*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.859.10>.
10. Xu W., Rosenow D. T., Nguyen H. T. Stay green trait in grain sorghum: relationship between visual rating and leaf chlorophyll concentration. *Plant Breeding*. 2000;119(4):365-367. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2000.00506.x>
11. Lebeda A., Cohen Y. Cucurbit downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) – biology, ecology, epidemiology, hostpathogen interaction and control. *European Journal of Plant Pathology*. 2011;129(2):157-192. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9658-1>
13. Masliencko L.V., Araslanova N.M., Kovchigina M.A. Search of optimal method of artificial inoculation of sunflower with downy mildew pathogen with purpose to determine efficiency of test samples of microbiopreparations. *Oil crops*. 2014;2(159-160):156-162. EDN. TJFWSL. (In Russ.)
14. Kang S.-I., Hwang I., Goswami G., Jung H.-J., Nath U.K., Yoo H.-J., Lee J.M., Nou I.S. Molecular Insights Reveal Psy1, SGR, and SIMYB12 Genes are Associated with Diverse Fruit Color Pigments in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Molecules*. 2017;22(12):2180. <https://doi.org/10.3390/molecules22122180>
15. Park S.-Y., Yu J.-W., Park J.-S., Li J., Yoo S.-Ch., Lee N.-Y., Lee S.-K., Jeong S.-W., Seo H. S., Koh H.-J., Jeon J.-S., Park Y.-I., Paek N.-Ch. The Senescence-Induced Staygreen Protein Regulates Chlorophyll Degradation. *The Plant Cell*. 2007;19(5):1649–1664. <https://doi.org/10.1105/tpc.106.044891>

Об авторе:

Дарья Дмитриевна Теплякова – научный сотрудник, селекционер, <https://orcid.org/0009-0003-3621-6292>, автор для переписки, dorogina.d@gmail.com

About the Author:

Daria D. Teplyakova – Researcher, Laboratory of Pumpkin Crops, <https://orcid.org/0009-0003-3621-6292>, Correspondence Author, dorogina.d@gmail.com

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-17-21>
УДК 635.62:575.224

И.Б. Коротцева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, РФ, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14

*Автор для переписки: korottseva@mail.ru

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Коротцева И.Б. Фасциация у тыквенных культур. *Овощи России*. 2023;(6):17-21. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-17-21>

Поступила в редакцию: 31.07.2023

Принята к печати: 19.09.2023

Опубликована: 04.12. 2023

Irina B. Korottseva

Federal State Budgetary Scientific Institution
Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVS)
14, Selektsionnaya str., VNISSOK,
Odintsovo district, Moscow region,
143072, Russian Federation

*Correspondence: korottseva@mail.ru

Conflict of interest. The author declare that there is no conflict of interest.

For citation: Korottseva I.B. Fasciation in cucurbits. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):17-21. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-17-21>

Received: 31.07.2023

Accepted for publication: 19.09.2023

Published: 04.12. 2023

Фасциация у тыквенных культур



РЕЗЮМЕ

В статье представлен литературный обзор по фасциации у тыквенных культур. Практически у всех тыквенных культур можно встретить такое явление, как фасциация. Однако оно чаще встречается у огурца и тыквы, чем у дыни и арбуза. Фасциация (или кристаллизация) – это изменение, которое может происходить в морфологии органов растений и обычно включает расширение верхушечной меристемы побега, уплощение стебля и изменения в расположении листьев. У тыквенных культур часто фасцированными органами являются плети, цветки и плоды. Ряд авторов разделяют фасциации на наследуемые и ненаследуемые. Первые вызываются внутренними причинами. Вторые – действием внешних факторов, таких как повреждения насекомыми, увечья, условия погоды. По литературным данным, фасциацию вызывают 1-2 рецессивных гена с неполным проявлением и переменной экспрессией, которая зависит от ряда факторов, в том числе и условий окружающей среды. Ген *opp*, возможно, оказывает плеiotропное воздействие на фасциацию и расположение листьев. В ФГБНУ ФНЦО в весенних пленочных теплицах, среди селекционных и коллекционных образцов огурца, фасцированные растения составляли – от 0 до 1,9%, в зависимости от генотипа изучаемых образцов и года исследований (условий выращивания). По литературным данным, фасциация чаще наблюдается у короткоплодных, но и у длинноплодных форм огурца ее также можно обнаружить. Сросшиеся плоды с большей вероятностью появляются на гибридах огурца с букетным типом цветения. Следует отметить, что сильно фасцированные растения обычно менее урожайны, а большинство фасцированных плодов зачастую относят к не стандартным и бракуют. Регулярная выбраковка селекционерами фасцированных образцов и растений, в пределах отдельных образцов, позволит создавать сорта менее склонные к фасциации. А соблюдение рекомендуемой сортовой агротехники, улучшение экологической обстановки помогут существенно уменьшить количество фасцированных растений и плодов и улучшить товарность продукции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

огурец, тыква, дыня, арбуз, фасцированные растения, фасцированные плоды

Fasciation in cucurbits

ABSTRACT

The article presents a literature review on fasciation in pumpkin crops. In almost all pumpkin crops, you can find such a phenomenon as fasciation. However, it is more common in cucumbers and pumpkins than in melons and watermelons. Fasciation (or crystallization) is a change that can occur in the morphology of plant organs and usually includes expansion of the apical meristem of the shoot, flattening of the stem and changes in the arrangement of leaves. In pumpkin crops, the fasciated organs are often whips, flowers and fruits. A number of authors divide fasciations into inherited and non-inherited. The first are caused by internal reasons. The second is the effect of external factors, such as insect damage, injury, weather conditions. According to literature data, fasciation is caused by 1-2 recessive genes with incomplete manifestation and variable expression, which depends on a number of factors, including environmental conditions. The *opp* gene may have a pleiotropic effect on fasciation and leaf arrangement. In Federal Scientific Vegetable Center in spring film greenhouses, among the selection and collection samples of cucumber, fasciated plants ranged from 0 to 1.9%, depending on the genotype of the studied samples and the year of research (growing conditions). According to literature data, fasciation is more often observed in short-fruited, but it can also be detected in long-fruited forms of cucumber. Fused fruits are more likely to appear on cucumber hybrids with a large number of ovaries in the node. It should be noted, that highly fasciated plants are usually less productive, and most fasciated fruits are often classified as non-standard and rejected. Regular culling by breeders of fasciated samples and plants, within individual samples, will allow to create varieties less prone to fasciation. And compliance with the recommended varietal agrotechnics, improvement of the ecological situation will help to significantly reduce the number of fasciated plants and fruits and improve the marketability of products.

KEYWORDS:

cucurbits, cucumber, pumpkin, melon, watermelon, fasciated plants, fasciated fruits

Введение

Фасциация представляет собой одну из наиболее распространенных аномалий развития у высших растений, в том числе и у тыквенных культур. Термин "фасциация" происходит от латинского «fascis», означающего пучок. Фасциация (или кристаллизация) – это изменение, которое может происходить в морфологии органов растений и обычно включает расширение верхушечной меристемы побега, уплощение стебля и изменения в расположении листьев [1].

Под фасциацией обычно понимают разрастание или слияние тех или иных структур, образующихся в избыточном числе из-за нарушения меристематических процессов. Суть явления фасцирования сводится к нерасхождению, неразделению отдельных органов растения [2]. По мнению Шаврова Л.А. (1956), фасциация выражается в резком изменении нормальной формы и структуры осевых органов [3]. Определение фасциации в Большой советской энциклопедии приводится в следующей трактовке: «уродливая деформация побегов растений, при которой они становятся плоскими, лентовидными, ребристыми» [4]. Как указывает Ахатов А.К. (2006), фасциация представляет собой тератоплазию – генетические наследуемые или приобретенные нарушения, имеющие вид уродливости, ненормального развития органов или всего растения в целом [5]. Причины ее возникновения могут быть разнообразны, все они сводятся к нарушению деления клеток в апикальных меристемах [4,6]. Одни авторы считают фасциацию производным одного апекса, подвергшегося разрастанию, другие объясняют появление фасцированных органов слиянием нескольких нормальных на ранних стадиях развития. Причем, как указывает Синюшин А.А., разграничить два вышеуказанных явления практически невозможно [7].

Причины появления фасциации

Ряд авторов разделяют фасциации на наследуемые и ненаследуемые. Первые вызываются внутренними причинами. Вторые – действием внешних факторов, таких как повреждения насекомыми, увечья, условия погоды и т.д. [2,6,8].

По мнению Филова А.И., это явление может иметь только одну причину, в виде определенного воздействия окружающих условий на растение, а степень наследования этого явления зависит от силы и продолжительности этого воздействия. Тепличный огурец Датский горчичный имел обычные растения в теплице, но легко подвергался фасциации в открытом грунте. Больше фасцированных плодов было в первый и последний сбор [9]. По данным Yorty P.H., фасцированных растений в Женеве в зимней теплице, было больше, чем в открытом грунте в летний период [10]. К увеличению количества таких растений, наклонных к этому сортах, могут привести: повышенные температуры [10,11,12], высокие дозы удобрений [9,11,12] и ранняя высадка рассады, переход на короткий день, при выращивании при длинном дне [10], в связи с длинным днем [18], обработка семян радиацией [2,9,10,18]. Обработки растений огурца сорта «Lemon» регулятором роста и облучения, в опытах Robinson R.W. (1978), также приводили к увеличению количества фасцированных растений [13]. По данным Чистякова А.А., у кабачка вызывали фасциацию этиленпродуценты, которые также относятся к регуляторам роста и развития [14].

При воздействии на семена огурца химическими мутагенами, Тиминим Н.И. в М2 были обнаружены растения с фасцированными стеблями [15]. В опытах Грибовской овощной селекционной опытной станции, при обработке семян огурца N-нитрозометилмочевинной и диметилсульфатом, в концентрации 0,005%, появились растения, у которых происходило срастание плодов [16].

Активное действие бактерий на растения также может рассматриваться как дестабилизирующий онтогенез фактор, что и проявляется в виде неспецифических фенотипов (морфозов, в том числе и фасциаций) [17]. Зурабовым А.А. было обнаружено, что при декапитации растений тыквы твердокорой (*Cucurbita pepo* L.) из пазух семядолей развивались сильно уплощенные побеги, возникающие при объединении коллатеральных почек [18]. Фасцирование идет быстрее в экстремальных или необычных условиях [5,19].

Проявление фасциации у тыквенных культур

У различных видов и семейств растений фасциация происходит по-разному. По литературным данным фасциация, среди тыквенных культур, чаще встречается у огурца и тыквы, реже у дыни и арбуза [12]. У тыквенных культур зачастую фасцированными органами являются плети, цветки и плоды.

Фасциация у огурца

Фасцированные растения огурца развиваются из нормальных сеянцев в процессе дальнейшего их развития в экстремальных условиях. В начале, когда фасциация становится явной, растение обычно имеет 2 усика вместо одного и вдвое большее количество тычиночных цветков. В дальнейшем, по мере того, как растение становится более фасцированным, увеличиваются в узле, кратно нормальному, количество листьев, усиков и цветков обоих полов [19]. Фасцированные огуречные растения имеют очень широкий стебель с увеличенным числом листьев, усиков и цветков в каждом узле. Фасцированные плоды огурца отличаются многокамерностью [2,9,13,19].

О фасциации огурца упоминали Якимович А.Д. и Шереметевский П.В. еще в 1938 году в книге «Огурцы». «У основания стебель еще сохраняет свое округло-гранное сечение, становясь затем все более плоским, а затем, разделяясь на две или более частей, каждая из которых, смотря по степени фасциации, может в свою очередь делиться. При слабо выраженной фасциации наблюдается чередование супротивного и очередного расположения листьев. Иногда же фасцированный стебель или отдельная боковая ветвь принимают вид ленты шириной в 4-5 см». Было отмечено, что при фасциации у огурца нарушаются не только листорасположение, но и ветвление [20].

Ежегодно в ФГБНУ ФНЦО в весенних пленочных теплицах, среди селекционных и коллекционных образцов огурца, отмечали количество фасцированных растений (рис.1). Их было очень немного – от 0 до 1,9%, в зависимости от генотипа изучаемых образцов и года исследований (условий выращивания) (табл.).

В наших опытах фасцированные растения огурца являлись морфозом – не наследуемым изменением. Из семян фасцированных растений вырастали нормальные растения. Однако следует отметить, что фасциро-

Таблица. Фасцированные растения огурца в весенней пленочной теплице
Table. Fasciated cucumber plants in a spring film greenhouse

Год	Количество образцов, имеющих фасцированные растения		Количество фасцированных растений	
	шт.	%	шт.	% к общему количеству
2016	3	2,5	5	1,0
2017	0	0	0	0
2018	1	0,9	3	0,7
2019	5	5,8	6	1,5
2020	0	0	0	0
2021	6	8,6	10	1,9

ванные растения, как правило, появлялись у одних и тех же образцов. Отдельные образцы могут регулярно выщеплять определенный процент фасцированных растений. Степень проявления фасциации может быть от слабой до сильной и зависит от большого количества факторов. Как правило, у фасцированных растений наблюдается задержка в цветении и плодоношении.

Супротивное расположение листьев в нижних узлах, чаще всего, наблюдали у растений с фасцированным стеблем [21] (рис.2). В опытах Robinson R.W. (87, 88 г) также было обнаружено, что супротивное расположение листьев зачастую связано с фасциацией [19,25].

Фасциация плодов огурца. Травмами, инфекциями, нарушением минерального питания у растений огурца можно вызвать фасцированные плоды [12]. Как указывает Цаценко Л.В., фасциация плодов огурца идет двумя путями: равномерное и неравномерное срастание. У одних форм при фасциации равномерно развиты две тыквины (1:1) (рис.3), у других – одна тыква в два раза меньше другой (1:2), у третьих – одна тыква недоразвита (1:3) (рис.4). Также у огурца встречаются формы, сросшиеся одновременно тремя тыквами [12]. По данным

Портянкина А.Е. и Шамшиной А.В., чаще всего сросшиеся плоды огурца проявляются на гибридах с букетным типом цветения [11].

При фасциации у огурца встречается от двух до 6-ти семенных камер в плодах. Три и пять камер у огурца наследственно закреплены. Четное число камер неустойчиво. Изменчивость по числу семенных камер встречается и у арбуза, дынь, тыкв. Чаще фасциация наблюдается у короткоплодных, но и у длинноплодных форм огурца ее также можно обнаружить [12].

Фасциация у других тыквенных культур

Фасцированный мутант был получен у арбуза колоцинт (*Citrullus colocynthis*) – растение PI 537277. Это растение росло нормально до закладки нескольких узлов, затем главный стебель стал плоским и широким над семядольным узлом. Увеличилось число листьев, усиков и цветков (тычиночных и пестичных) в каждом узле на основном стебле. Изредка, главный стебель разделялся на два сплюснутых стебля [22].

В опытах Сыч З.Д. китайский сортотип мускатной тыквы Заря Востока отличался коротким главным побе-



Рис.1. Фасцированное растение огурца в весенней теплице
Fig.1. Fasciated cucumber plant in a spring greenhouse



Рис.2. Фасцированное растение огурца в зимней теплице
Fig.2. Fasciated cucumber plant in a winter greenhouse



Рис.3. Сросшиеся тыквины одинаково развиты
Fig.3. Fused pumpkins are equally developed

гом (до 0,8 м) с выраженной фасциацией стебля, плодоножек и плодов. Сорт Новинка был скрещен с Заря Востока, в результате получено некоторое количество кустовых линий тыквы с короткими стеблями. Изучение этих линий в F_{1-2} показало, что признак короткостебельности у гибридов мускатной тыквы наследуется доминантно и коррелирует с фасциацией морфологических признаков [23].

Фасциированные мутанты иногда появляются и у дыни. Gabillard D., Pitrat M. обнаружили такую мутацию в линии Вильморин 104, относящейся к разновидности Канталупа Шарантская (Charentais). Отмечали обычный рост растений до фазы нескольких узлов, затем основной побег становился плоским и все шире и шире (до 10-15 см), но больше никаких боковых побегов не появлялось. Листья оставались мелкими, цветки были фертильны [24].

Генетика фасциации у тыквенных культур

Yorty P.H. предположил, что для появления фасциации необходимы 2 рецессивных гена и получил доказательства неполного проявления генов фасциации и влияния окружающей среды на число фасциированных растений. Альтернативной моделью наследования является 1 рецессивный ген с неполным проявлением и переменной экспрессией. Согласно этим гипотезам гибриды между нормальными и фасциированными растениями в первом поколении всегда не фасциированные, во втором поколении видим различные соотношения обычных и фасциированных растений в разных популяциях. Причем степень фасциации у разных растений варьирует от едва заметной до гротескных стеблей шириной 6 дюймов [10, 25].

Ген *fa*, обуславливающий фасциацию, был обнаружен Shiffiris O. у сорта огурца White Lemon. Фасциированные растения имели плоские стебли, короткие междоузлия, морщинистые листья и увеличенное число листьев, усиков и цветков на узел [27, 28].

Другим возможным случаем одного рецессивного гена с нестабильным проявлением у огурца является *orr*, обуславливающий супротивное расположение листьев. В исследованиях Robinson R.W. установлено, что в роди-



Рис.4. Сросшиеся тыквины неодинаково развиты
Fig.4. Fused pumpkins are unequally developed

тельских и расщепляющихся популяциях супротивное расположение листьев всегда было связано с фасциацией. Все фасциированные растения имели супротивные листья в отдельных узлах главного стебля еще до того, как стебель становился фасциированным, число усиков и цветков у них увеличивалось. Частота проявления этого гена была выше для супротивного расположения листьев, чем для фасциированного стебля, так как не все растения в открытом грунте становились фасциированными. Ген *orr*, возможно, оказывает плейотропное воздействие на фасциацию и расположение листьев [19, 25, 26].

Изучение Gabillard D., Pitrat M. гибридов дыни F_1 , полученных от скрещиваний с фасциированным мутантом, и потомства F_2 показало, что фасциация контролировалась рецессивным геном. Для этого мутанта было предложено имя "fascinated" и символ "fas" [24].

Филов А. И. (1948), производя многократный отбор формы огурца на фасциацию плетей, вместо обычного огурца с трехкамерным строением плодов, получил новую наследственную форму с пятикамерными плодами. Фасциация плетей сопутствовала фасциированию, в онтогенезе, семенных камер плодов. Результаты работы позволили прийти к выводу о происхождении пятикамерности плодов, как результата процесса фасциирования вообще [12].

Фасциацию можно рассматривать как маркерный признак, по причине связи этого явления с нарушением экологической обстановки. Грубое нарушение технологии выращивания также может привести к увеличению количества многокамерных плодов у огурца.

Заключение

Практически у всех тыквенных культур можно встретить такое явление, как фасциация. Однако оно чаще встречается у огурца и тыквы, чем у дыни и арбуза.

По литературным данным, фасциация чаще наблюдается у короткоплодных, но и у длинноплодных форм огурца ее также можно обнаружить. Сросшиеся плоды с большей вероятностью появляются на гибридах огурца с букетным типом цветения.

У тыквенных культур существуют образцы более и менее склонные к фасциации. Гены, определяющие ее, рецессивны и их проявление зависит от множества факторов, в том числе и от условий окружающей среды.

Регулярно отбирая фасцированные растения, можно увеличить количество семенных камер в плодах тыквенных культур. Следует отметить, что лишь нечетное количество семенных камер (три и пять) может быть наследственно закреплено.

Сильно фасцированные растения обычно менее урожайны, а фасцированные плоды зачастую относят к не стандартным и бракуют. Выбраковка фасцированных образцов и растений, в пределах отдельных образцов, а также соблюдение рекомендуемой сортовой агротехники, улучшение экологической обстановки могут существенно уменьшить количество фасцированных растений и плодов и увеличить выход товарной продукции.

• Литература

1. Iliev I., Kitin P. Origin, morphology, and anatomy of fasciation in plants cultured in vivo and in vitro. *Plant Growth Regul.* 2011;(63):115–129.
2. Цаценко Л.В., Савиченко Д.Л. Фасциация в природе и эксперименте. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета.* 2016;(123):1785-1799. DOI 10.21515/1990-4665-123-120. EDN XDZXUZ.
3. Шавров Л.А. О природе фасциаций. *Ботанический журнал.* 1959;44(4):500-505.
4. Большая советская энциклопедия. М.: «Советская энциклопедия»; 3-е изд. 1974;(27):216-217.
5. Ахатов А.К. Мир огурца глазами фитопатолога. М.: Тов-во науч. изданий «КМК». 2020. 320 с.
6. Майоров С.Н., Молчанова А.В., Бондарева Л.Л., Старцев В.И. Типы фасциаций у растений и факторы, влияющие на ее проявление. *Овощи России.* 2012;(2):54-59. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2012-2-54-59>. EDN PCCZWN.
7. Синюшин А.А. Фасциация цветка. I. Происхождение увеличенной меристемы. *Вестник Московского университета. Серия 16: Биология.* 2010;(3):11-16. EDN NDUCUB.
8. Федоров А.А. Тератогенез и его значение для формо- и видообразования растений. Проблема вида в ботанике. М.-Л.: Наука, 1958. 143 с.
9. Филлов А.И. Огурцы мира. Сталинабад, 1948. 114 с.
10. Yorty P.H. The genetics of scab resistance *Cladosporium cucumerinum*, and other characters in cucumber, *Cucumis sativus*. M.S. Thesis, Pennsylvania State Univ. 1968.
11. Портянкин А.Е., Шамшина А.В. Огурец: От посева до урожая. Под ред. док. с.-х. н., проф. Гавриша С.Ф. М.: ООО «Гибридные семена «Гавриш» для НП «НИИОЗГ», ЗАО «Фитон+». 2010. 400 с.
12. Цаценко Л. В. Фасциация в природе и изобразительном искусстве. Краснодар: КубГАУ, 2017. 100 с.
13. Robinson R.W. Fasciation in the Cucumber. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 1978;(1):11.
14. Чистяков А.А., Монахос Г.Ф. Проявление пола у кабачка. *Картофель и овощи.* 2016;(1):39-40. EDN VQFQQF.
15. Тимин Н.И. Экспериментальный мутагенез растений огурца и салата. М., 1968. 18 с.
16. Юрина О.В. Селекция и семеноводство тыквенных культур. М.: Колос. 1966. 223 с.
17. Полозов Г.Ю., Малков С.В., Барабанщиков Б.И. Индукция морфозов у дикорастущих и культурных растений. *Ученые записки Казанского государственного университета. Серия: Естественные науки.* 2006;148(2):112-122. EDN HZORGP.
18. Зурабов А.А. Фасциация тыквы при декапитации стеблей. *Ботанический журнал.* 1965;E.50(2):46-51.
19. Robinson R.W. Association with opposite leaf arrangement. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 1988;(11):19.
20. Якимович А.Д., Шереметевский П.В. Огурцы. М.:ОГИЗ-СельхозГИЗ, 1938. 210 с.
21. Коротцева И.Б. Супротивное расположение листьев у огурца. *Овощи России.* 2022;(2):5-9. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-5-9>. EDN SYFQLO.
22. Guner N., Wehner Todd C. A fasciated mutant in watermelon. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 2004;(27):30-31.
23. Sich Z.D. Inheritance length of stem in china squash (*Cucurbita moschata* (Duch.) Poir). *Plant varieties studying and protection.* 2007;(6):11-20. DOI:10.21498/2518-1017.6.2007.66008
24. Gabillard D., Pitrat M. A fasciated mutant in *Cucumis melo*. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 1988;(11):37-38.
25. Robinson R.W. Inheritance of opposite leaf arrangement in *Cucumis sativus* L. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 1987;(10):10-11
26. Robinson R.W. Origin and characterization of the 'Lemon' cucumber. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 2010;(33):3-4.
27. Jiahua X., Todd C.W. Gene List 2001 for Cucumber. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 2001;(24):110-136.
28. Yiqun W., Todd C.W. Cucumber Gene Catalog. *Cucurbit Genetics Cooperative Report* 2017;(39-40):17-44.

• References

1. Iliev I., Kitin P. Origin, morphology, and anatomy of fasciation in plants cultured in vivo and in vitro. *Plant Growth Regul.* 2011;(63):115–129.
2. Tsatsenko L.V., Savichenko D.L. Fasciation in nature and in experiments. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University.* 2016;(123):1785-1799. DOI 10.21515/1990-4665-123-120. EDN XDZXUZ. (In Russ.)
3. Shavrov L.A. On the nature of fasciations. *Botanical Journal.* 1959;44(4):500-505. (In Russ.)
4. Great Soviet encyclopedia. M.: "Soviet Encyclopedia"; 3rd ed. 1974;(27):216-217. (In Russ.)
5. Akhatov A.K. The world of cucumber through the eyes of a phytopathologist. M.: Tov-in scientific publications "KMK". 2020. 320 p. (In Russ.)
6. Mayorov S.N., Molchanova A.V., Bondareva L.L., Startsev V.I. Types of fasciation in plants and factors affecting its manifestation. *Vegetable crops of Russia.* 2012;(2):54-59. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2012-2-54-59>. EDN PCCZWN.
7. Sinjushin A.A. Flower fasciation. I. Origin of enlarged meristem. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 16. Biologiya.* 2010;(3):11-16. EDN NDUCUB. (In Russ.)
8. Fedorov A.A. Teratogenesis and its significance for the form and speciation of plants. The species problem in botany. M.-L.: Nauka, 1958. 143 p. (In Russ.)
9. Filov A. I. Cucumbers of the world. Stalinabad, 1948. 114 p. (In Russ.)
10. Yorty P.H. The genetics of scab resistance *Cladosporium cucumerinum*, and other characters in cucumber, *Cucumis sativus*. M.S. Thesis, Pennsylvania State Univ. 1968.
11. Portyankin A.E., Shamshina A.V. Cucumber: From sowing to harvest. M.: LLC Gavriush Hybrid Seeds for NP NIIOZG, CJSC Fiton+. 2010. 400 p. (In Russ.)
12. Tsatsenko L.V. Fasciation in nature and fine arts. Krasnodar: KubGAU, 2017. 100 p. (In Russ.)
13. Robinson R.W. Fasciation in the Cucumber. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 1978;(1):11.
14. Chistyakov A.A., Monakhos G.F. Sex expression of vegetable marrow. *Potato and vegetables.* 2016;(1):39-40. EDN VQFQQF. (In Russ.)
15. Timin N.I. Experimental mutagenesis of cucumber and lettuce plants. M., 1968. 18 p. (In Russ.)
16. Yurina O.V. Breeding and seed production of pumpkin crops. M.: Kolos. 1966. 223 p. (In Russ.)
17. Polozov G.Yu., Malkov S.V., Barabanshikov B.I. Morphosis induction of wild and cultural plants. *Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series.* 2006;148(2):112-122. EDN HZORGP. (In Russ.)
18. Zurabov A.A. Fasciation of pumpkin during decapitation of stems. *Bot. journal.* 1965;E.50(2):46-51. (In Russ.)
19. Robinson R.W. Association with opposite leaf arrangement. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 1988;(11):19.
20. Yakimovich A.D., Sheremetevsky P.V. Cucumbers. M., 1938. 210 p. (In Russ.)
21. Korottseva I.B. The opposite arrangement of the leaves of the cucumber. *Vegetable crops of Russia.* 2022;(2):5-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-5-9>. EDN SYFQLO.
22. Guner N., Wehner Todd C. A fasciated mutant in watermelon. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 2004;(27):30-31.
23. Sich Z.D. Inheritance length of stem in china squash (*Cucurbita moschata* (Duch.) Poir). *Plant varieties studying and protection.* 2007;(6):11-20. DOI:10.21498/2518-1017.6.2007.66008
24. Gabillard D., Pitrat M. A fasciated mutant in *Cucumis melo*. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 1988;(11):37-38.
25. Robinson R.W. Inheritance of opposite leaf arrangement in *Cucumis sativus* L. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 1987;(10):10-11
26. Robinson R.W. Origin and characterization of the 'Lemon' cucumber. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 2010;(33):3-4.
27. Jiahua X., Todd C.W. Gene List 2001 for Cucumber. *Cucurbit Genetics Cooperative Report.* 2001;(24):110-136.
28. Yiqun W., Todd C.W. Cucumber Gene Catalog. *Cucurbit Genetics Cooperative Report* 2017;(39-40):17-44.

Об авторе:

Ирина Борисовна Коротцева – канд. с.-х. наук, зав. лаб. селекции и семеноводства тыквенных культур, <https://orcid.org/0000-0001-5108-3289>, korottseva@mail.ru

About the Author:

Irina B. Korottseva – Cand. Sci. (Agriculture), head of the laboratory of selection and seed production of pumpkin crops, <https://orcid.org/0000-0001-5108-3289>, korottseva@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-22-27>
УДК 635.63:631.547.52:631.234-036
ГРНТИ 68.35

Н.Н. Хомченко^{1*}, В.Н. Шевкунов²

¹ ООО «НИИ селекции овощных культур»
(ООО «НИИСОК»)
127015, РФ, г. Москва,
ул. Новодмитровская, д.2, корп. 2, этаж 7

² Крымский селекционный центр «Гавриш»
353384, РФ, Краснодарский край,
Крымский район, г. Крымск, ул. Шоссейная, 89

*Автор для переписки:
nina.khomchenko1001@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют
об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в анализе материалов, написании текста статьи и формировании выводов.

Для цитирования: Хомченко Н.Н., Шевкунов В.Н. Корреляционные связи между некоторыми количественными признаками партенокарпических гибридов F₁ огурца с гладким типом плода, выращиваемых в пленочных теплицах. *Овощи России*. 2023;(6):22-27.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-22-27>

Поступила в редакцию: 07.08.2023

Принята к печати: 02.10.2023

Опубликована: 04.12.2023

Nina N. Khomchenko^{1*}, Valery N. Shevkunov²

¹ Ltd "Research institute
of vegetable crop selection"
st. Novodmitrovskaya, d.2, bldg. 2,
Moscow, 127015, Russian Federation

² Breeding center "Gavrish"
89, Shosseynaya st., Krymsk, Krymsky District,
Krasnodar Territory, 353384, Russian Federation

*Corresponding Author:
nina.khomchenko1001@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, writing the text of the article and forming conclusions.

For citation: Khomchenko N.N., Shevkunov V.N. Correlations between some quantitative traits of cucumber F₁ parthenocarpic hybrids with a smooth fruit type grown in plastic greenhouses. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):22-27. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-22-27>

Received: 07.08.2023

Accepted for publication: 02.10.2023

Published: 04.12.2023

Корреляционные связи между некоторыми количественными признаками партенокарпических гибридов F₁ огурца с гладким типом плода, выращиваемых в пленочных теплицах



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Изучение корреляций между признаками огурца позволяет проводить предварительную оценку растений более объективно, выявлять формы с высокими хозяйственно ценными признаками, а их комплексная оценка позволит выделить лучший исходный материал для дальнейшей селекции.

Материал и методика. В 2021 году в Крымском СЦ «Гавриш» были заложены опыты с 24 партенокарпическими гибридами F₁ гладкого типа в двух повторностях по 8 растений в каждой. Огурец выращивали в пленочной теплице на грунтах в весенне-летнем обороте. Технология возделывания – в соответствии с требованиями, принятыми в регионе. Оценку хозяйственно ценных признаков выполняли по общепринятой методике.

Результаты. В ходе корреляционного анализа были установлены высокие, средние положительные и отрицательные взаимосвязи между отдельными основными хозяйственными признаками партенокарпического огурца при выращивании в необогреваемой пленочной теплице. Методом корреляционного анализа выявлена достоверно высокая связь степени ветвления детерминантными (короткими) боковыми побегами и количеством плодов в узле ($r=0,84$), количеством женских цветков ($r=0,72$) и количеством плодов на растении ($r=0,68$). Длина и индекс плода высоко отрицательно коррелируют с количеством плодов ($r=-0,86$) и количеством женских цветков на растении ($r=-0,84...-0,85$). Высокая корреляция проявляется между массой, длиной, индексом формы плода и количеством плодов в узле ($r=-0,75...-0,76$). Признак товарная урожайность значимо отрицательно коррелирует с признаком длина междоузлий на главном побеге ($r=-0,64...-0,68$).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

детерминантные боковые побеги, корреляция, партенокарпический огурец, продуктивность

Correlations between some quantitative traits of cucumber F₁ parthenocarpic hybrids with a smooth fruit type grown in plastic greenhouses

ABSTRACT

Relevance. The study of correlations between cucumber traits makes it possible to conduct a preliminary assessment of plants more objectively, to identify forms with high economically valuable traits, and their comprehensive assessment will make it possible to select the best source material for further selection.

Methodology. In 2021, in the Crimean SC "Gavrish", experiments were laid with 24 parthenocarpic F₁ hybrids of the smooth type in two repetitions, 8 plants each. Cucumber was grown in a film greenhouse on soils in spring-summer turnover. Cultivation technology – in accordance with the requirements adopted in the region. The evaluation of economically valuable traits was performed according to the generally accepted method.

Results. During the correlation analysis, high, medium positive and negative relationships were established between the individual main economic characteristics of the parthenocarpic cucumber when grown in an unheated film greenhouse. The method of correlation analysis revealed a significantly high correlation between the degree of branching by determinant lateral shoots and the number of fruits per node ($r=0,84$), the number of female flowers per plant ($r=0,72$) and the number of fruits per plant ($r=0,68$). Fruit length and index are highly negatively correlated with the number of fruits per plant ($r=-0,86$) and the number of female flowers per plant ($r=-0,84...-0,85$). A high correlation appears between weight, length, fruit shape index and the number of fruits in a node ($r=-0,75...-0,76$). The trait commercial yield significantly negatively correlates with the trait length of internodes on the main shoot ($r=-0,64...-0,68$).

KEYWORDS:

determinant lateral shoots, correlation, parthenocarpic cucumber, productivity

Введение

Изучение корреляций между признаками огурца позволяет проводить предварительную оценку растений более объективно, выявлять формы с высокими хозяйственно ценными признаками, а их комплексная оценка позволит выделить лучший исходный материал для дальнейшей селекции [1-6].

Сведения о корреляционных связях признаков культуры огурца, особенно для открытого грунта, приведены в работах Монахоса Г.Ф., Ушанова А.А. [2, 7]. Коротцовой И. Б [8]. Налобовой В.Л., Шатуйро И.В. [9] и др.

Исходя из анализа литературных источников, установлено, что величина коэффициента корреляции между одними и теми же признаками у разных исследователей отличается, а иногда, даже в очень широком диапазоне, либо корреляционная связь между данными признаками отсутствует [5, 7, 8, 10, 11, 12]. Например, по данным корреляционного анализа А.Д. Якимович [13], можно утверждать, что достаточно верным показателем скороспелости огурца является число дней от всходов до появления первых женских цветков. Однако, в работе Fazio (2003), число дней от всходов до первого сбора урожая у растений женского типа цветения не всегда коррелирует с числом дней от всходов до цветения [14].

В нашей работе было уделено внимание изучению корреляций между хозяйственно-полезными признаками у огурца с гладким типом плода в условиях пленочной теплицы. Корреляционный анализ выявил среднюю положительную связь между фазами развития растений «всходы-цветение» и «всходы-плодоношение» ($r=0,51$).

Одним из важнейших составляющих элементов урожайности является продуктивность. Продуктивность огурца оценивается массой зеленцов с одного растения. Данный показатель зависит от морфологических признаков растений таких как: мощность корневой системы, интенсивность роста и развития надземных частей, времени закладки женских цветков, количества и средней массы плодов, габитуса растения, строения куста, длительности периода плодоношения и характера распределения продуктов фотосинтеза между органами растения [2, 4, 7, 8, 10].

Урожайность сорта может быть связана и с характером ветвления. По наблюдениям А.Д. Якимович (1936) сорта огурца с большим количеством боковых побегов более урожайные [13]. Изучая корреляционные связи составляющих компонентов продуктивности между собой и с продуктивностью в 8 популяциях огурца корншонного и салатного типа, Cramer и Wehner (1998, 2000) пришли к выводу, что среди изученных составляющих компонентов продуктивности только число боковых побегов тесно коррелирует с продуктивностью ($r>0,7$) – [10-12]. Ветвление количественно наследуется со значительной аддитивной генетической вариансой. Эта корреляция была подтверждена исследованиями, проведенными Г.Ф. Монахосом и др. (2013) – $r=0,91$. Согласно их мнению, при выращивании огурца в расстил в открытом грунте для повышения продуктивности следует провести отбор линий на увеличение числа боковых побегов [2]. В работе Нгуен Ч.З. (2014) тесной корреляционной взаимосвязи продуктивности огурца с характером ветвления не было обнаружено [15].

В нашей работе, при выращивании культуры огурца в пленочной теплице, была установлена высокая положительная корреляция между степенью ветвления детерминантными боковыми побегами и количеством завязей в узле ($r=0,84$), а также количеством женских цветков на растении ($r=0,72$).

Цель исследования – определение корреляций между признаками гибридов F_1 партенокарпического огурца с гладким типом плода, выращиваемых в пленочных теплицах.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- в условиях пленочной теплицы оценить F_1 гибриды партенокарпического огурца с гладким типом плода по основным хозяйственно-ценным признакам;
- определить коэффициенты корреляции между изучаемыми признаками партенокарпического огурца с гладким типом плода в условиях пленочной теплицы;
- определить и сравнить корреляции между изучаемыми признаками у двух групп партенокарпического огурца с гладким типом плода, различающихся по количеству плодов в узле, в условиях пленочной теплицы;
- выявить сильные положительные и отрицательные корреляции между хозяйственно ценными признаками партенокарпического огурца с гладким типом плода в условиях пленочной теплицы.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте селекции и семеноводства овощных культур (НИИСОК) на базе Крымского селекционного-семеноводческого центра «Гавриш» (Россия, Краснодарский край, Крымский район, хут. Новоукраинский).

Объекты исследования – 24 гибрида F_1 (ООО «НИИСОК») партенокарпического огурца женского типа цветения с гладкими плодами разной длины, с одним плодом в узле и более. Стандартные гибриды – F_1 Мелен (EZ) и F_1 Бэби мини (NZ).

Для пленочных необогреваемых теплиц в Крымском ССЦ к посеву семян приступали 29 марта, а высадку рассады на постоянное место выращивания проводили 18 апреля. Культуру огурца вели по общепринятой технологии. Рассаду выращивали в пластиковых кассетах с торфосмесью (в Крымском ССЦ). Возраст рассады в весенне-летнем обороте составлял 20 дней (4-5 настоящих листьев).

В пленочных теплицах культура огурца велась на грунтах. Густота посадки соответствовала оптимальной площади питания растений и составляла в весенне-летнем обороте – 2,5 раст/м². Опыт закладывали в двух повторностях по 8 растений каждого изучаемого гибрида.

Формирование растений проводили по общепринятой для того или иного оборота технологии. Сбор плодов осуществляли 3 раза в неделю.

Ботанико-морфологическое описание изучаемых образцов по основным хозяйственно полезным признакам проводили согласно с методическими указаниями ВИРа (В.Н. Ширко, 1964) [16].

Среднее количество завязей в женских узлах на главном и боковых побегах определяли у всех растений коллекционных образцов по шкале, представленной ниже, разработанной в лаборатории Тыквенных культур ООО «НИИСОК»:

Шкала перевода количества завязей и плодов в узле из штук в баллы

Количество завязей и плодов в узле, шт.	Количество завязей и плодов в узле, балл
1	1,0
1-2	1,5
2	1,8
1-3	2,0
2-4 и более	3,0

Визуально оценивалась плодовая нагрузка на растениях:

- 2 балла – низкая нагрузка
- 3 балла – средняя нагрузка
- 4 балла – хорошая нагрузка
- 5 баллов – отличная нагрузка

Измерения и визуальную оценку отдельных признаков у гибридов и линий проводили во второй декаде июня, когда рост главного побега был выше шпалеры (240-250 см) и растения плодоносили в течение месяца.

Количество образовавшихся боковых побегов подсчитывали в период массового плодоношения растений. Ветвление растений боковыми побегами учитывалось по типам – детерминантные (det) и индетерминантные (indet) побеги. Учитывались и составляющие индекса плода – масса и длина. Количество плодов на растении считали как на главном, так и на боковых побегах. Под «количеством репродуктивных органов» в данном случае следует понимать количество женских цветков на растении. Под плодовой нагрузкой (плодо-нагрузкой), выраженной в баллах, следует понимать нагрузку растений плодами в первые четыре недели плодоношения (ранняя) и в период массового плодоношения (массовая). Продуктивность и урожайность были учтены как за первый месяц плодоношения (ранняя), так и за весь период вегетации растений (общая).

Статистическую обработку всех результатов исследований проводили по методике Б.А. Доспехова (1985) [1].

Результаты и их обсуждение

В рамках селекционной программы института «Создание гибридов огурца с гладким типом плода для стран Ближнего Востока и Средней Азии» был проведен корреляционный анализ, который позволил выявить характер связей между отдельными хозяйственно-полезными признаками партенокарпического огурца, выращиваемого в пленочных необогреваемых теплицах. Для селекции урожайных гибридов огурца имеет значение анализ корреляционной связи продуктивности растений с другими хозяйственно ценными признаками. В литературных источниках сведения по корреляционным связям у огурца, выращиваемого в открытом грунте и пленочной теплице, между урожайностью и ее элементами разноречивы [17-20]. Как, известно, величина урожайности находится в тесной зависимости с продуктивностью растений. Это подтверждают и наши данные ($r=0,95...0,99$), приведенные в таблице 1.

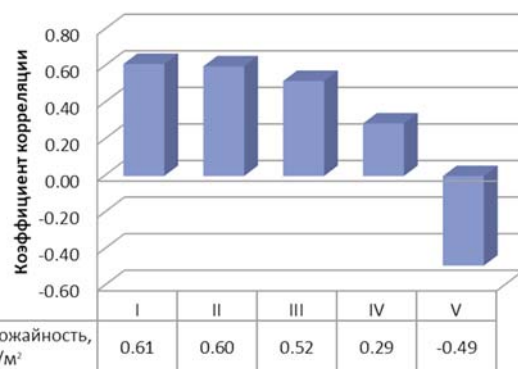


Рис. 1. Корреляционные связи между ранней урожайностью и некоторыми количественными признаками у гибридов F₁ огурца в пленочной теплице
I – высота главного побега, см; II – массовая нагрузка плодами, балл; III – количество междоузлий на главном побеге, шт.; IV – индекс формы плода; V – длина междоузлий, см
Fig. 1. Correlation between early yield and some quantitative traits in F₁ cucumber hybrids in a film greenhouse
I – height of the main shoot, cm; II – mass load of fruits, point; III – number of internodes on the main shoot, pcs.; IV – fruit shape index; V – length of internodes, cm

Установлены значимые положительные корреляции между ранней урожайностью и высотой главного побега ($r=0,61$), а также ранней урожайностью и нагрузкой плодами растений в период массового плодоношения ($r=0,60$). Слабее выражена взаимосвязь между ранней урожайностью и количеством междоузлий на главном побеге ($r=0,52$). Визуальная оценка нагрузки растений плодами, в баллах, существенно облегчает отбор высокоурожайных форм до полного учета урожая. Средне выраженное отрицательное значение коэффициента корреляции между ранней урожайностью и длиной междоузлий ($r=-0,49$) предполагает хороший результат при отборе родительских форм с укороченными междоузлиями для создания урожайных гибридов огурца (рис. 1).

В данной работе мы сделали акцент на влияние отдельных признаков на раннюю продуктивность у

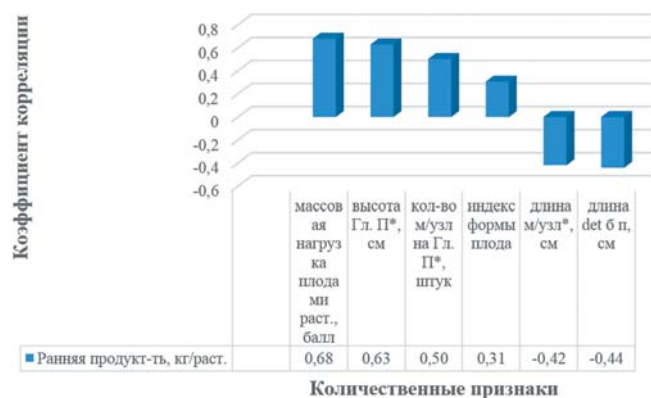


Рис. 2. Корреляционные связи между ранней продуктивностью и некоторыми количественными признаками у гибридов F₁ огурца в пленочной теплице
Гл. П* – главный побег
м/узел* – междоузлия
Fig. 2. Correlation between early productivity and some quantitative traits in F₁ cucumber hybrids in a film greenhouse
Гл. П* – main shoot
м/узел* – internodes

всех гибридов, которые участвовали в эксперименте и в двух группах гибридов.

В ходе корреляционного анализа установлена тесная положительная взаимосвязь между ранней продуктивностью и нагрузкой плодами растений в период массового плодоношения ($r=0,68$); ранней продуктивностью и высотой главного побега ($r=0,63$). Средняя положительная корреляция отмечена между ранней продуктивностью и количеством междоузлий на главном побеге ($r=0,50$). Отрицательные значения коэффициентов корреляции наблюдались между ранней продуктивностью и длиной детерминантных боковых побегов ($r=-0,44$), а также длиной междоузлий ($r=-0,42$). Согласно, нашим наблюдениям и вышеприведенным коэффициентам корреляции, наибольшая продуктивность чаще отмечалась у гибридов с очень короткими боковыми побегами и сближенными междоузлиями.

Также мы вычислили коэффициенты корреляции между ранней продуктивностью и другими количественными признаками у двух групп гибридов. Первая группа гибридов - с одним плодом в узле и разной длиной плода (от 14 до 19 см), вторая группа - с количеством плодов в узле два и более и разной длиной плода (от 14 до 19 см). (рис. 3, 4). В каждой группе изучали по 12 гибридов.

У группы гибридов с одним плодом в узле оказывали существенное влияние на раннюю продуктивность в сильной степени такие признаки, как высота главного побега ($r=0,72$), масса плода ($r=0,71$). В средней степени на раннюю продуктивность влияли индекс формы плода ($r=0,70$), нагрузка плодами растений, выраженная в баллах ($r=0,60 \dots 0,68$), в меньшей степени – количество междоузлий ($r=0,49$) и длина междоузлий на главном побеге ($r=-0,40$) (рис. 3).

У второй группы гибридов (с двумя и более плодами в узле) проявилась сильная отрицательная корреляция между ранней продуктивностью и длиной междоузлий на главном побеге ($r=-0,76$). Средневыраженная положительная связь была отмечена между ранней продуктивностью и нагрузкой плодами в период массового

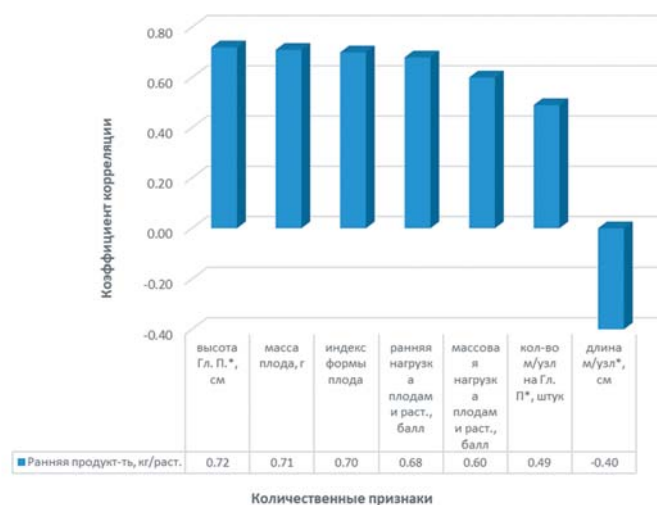


Рис. 3. Корреляционные связи между ранней продуктивностью и некоторыми количественными признаками у гибридов F₁ огурца с одним плодом в узле в пленочной теплице
Fig. 3. Correlation between early productivity and some quantitative traits in F₁ cucumber hybrids with one fruit per node in a film greenhouse

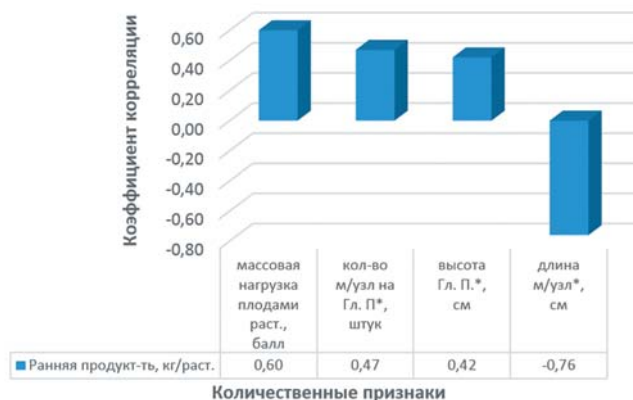


Рис. 4. Корреляция между ранней продуктивностью и некоторыми количественными признаками у гибридов F₁ с двумя и более плодами в узле в пленочной теплице
Fig. 4. Correlation between early productivity and some quantitative traits in F₁ hybrids with two or more fruits per node in a film greenhouse

плодоношения растений ($r=0,60$). В меньшей степени наблюдалось влияние на раннюю продуктивность таких признаков, как длина междоузлий ($r=0,47$) и высота главного побега ($r=0,42$).

В таблице приведены результаты корреляционного анализа между хозяйственно-важными признаками у гибридов огурца с гладким типом плода, различных по морфо-биологическим признакам, выращиваемых в пленочной теплице. Нами было изучено взаимодействие между отдельными количественными признаками огурца (длина главного побега, длина и количество междоузлий на главном побеге, степень ветвления боковыми побегами, количество плодов в узле, индекс формы плода, продуктивность, урожайность и др.). Согласно данным, представленным в таблице, тесная взаимосвязь отмечена между парами признаков, у партенокарпического огурца с гладким типом плода в условиях пленочной теплицы.

Установлены высокие отрицательные корреляционные связи между высотой главного побега и степенью ветвления детерминантными побегами ($r=-0,80$), а также с их длиной ($r=-0,70$). Исходя из этих данных и многолетних наблюдений, можно предположить с большой вероятностью, что у гибридов огурца с ограниченным ростом главного побега закладывается большее количество детерминантных боковых побегов, чем у гибридов с длинным главным побегом.

Высокая отрицательная взаимосвязь отмечена между количеством плодов в узле и их длиной ($r=-0,75$), массой ($r=-0,75$), индексом формы ($r=-0,76$). Чем больше плодов закладывается в узле, тем меньше их длина и масса. Длина плода тесно коррелирует с количеством женских цветков на растении ($r=-0,84$). На растениях гибридов с коротким типом плода больше женских цветков, чем у растений с длинными плодами.

Степень ветвления детерминантными боковыми побегами высоко положительно коррелирует с количеством плодов в узле ($r=0,84$) и количеством женских цветков на растении ($r=0,72$). Так у гибридов, которые хорошо ветвятся детерминантными боковыми побегами, образуется больше цветков в узлах и на растении в целом. Гибриды с наличием длинных

Таблица. Коэффициенты корреляции между хозяйственно ценными признаками огурца (пленочная теплица)
Table. Correlation coefficients between economically valuable traits of cucumber (film greenhouse)

Признак	В-Ц	Ц-П	В-П	ВГП	ДМУ	КМУ	СВ det	Д det	СВ indet	Д indet	КПУ	ДлП	ДиП	МП	ИП	НПР	НПМ	КАЗ	КП	КЖЦ	ПР	ПО	УРВ	УРТ	УВВ	УВТ
В-Ц	1,00																									
Ц-П	-0,20	1,00																								
В-П	0,51	0,75	1,00																							
ВГП	0,12	0,22	0,28	1,00																						
ДМУ	-0,04	-0,20	-0,21	-0,01	1,00																					
КМУ	0,20	-0,11	0,04	0,33	-0,56	1,00																				
СВ det	-0,12	-0,07	-0,15	-0,80	-0,33	-0,14	1,00																			
Д det	-0,21	0,01	-0,14	-0,70	-0,25	-0,19	0,94	1,00																		
СВ indet	0,04	0,27	0,26	0,63	0,33	-0,01	-0,82	-0,75	1,00																	
Д indet	0,06	0,43	0,41	0,63	0,19	0,01	-0,66	-0,59	0,90	1,00																
КПУ	0,12	-0,01	0,08	-0,66	-0,51	0,09	0,84	0,69	-0,76	-0,56	1,00															
ДлП	-0,19	0,00	-0,13	0,49	0,53	-0,36	-0,61	-0,48	0,49	0,44	-0,75	1,00														
ДиП	0,23	0,32	0,44	0,37	0,29	-0,32	-0,35	-0,19	0,36	0,42	-0,20	0,39	1,00													
МП	-0,22	0,00	-0,15	0,49	0,53	-0,33	-0,62	-0,50	0,50	0,44	-0,76	1,00	0,38	1,00												
ИП	-0,23	-0,05	-0,20	0,46	0,52	-0,34	-0,59	-0,47	0,46	0,39	-0,76	0,99	0,28	0,99	1,00											
НПР	0,46	0,05	0,35	-0,11	-0,18	0,03	-0,09	-0,14	-0,07	-0,16	0,02	-0,07	-0,13	-0,09	-0,07	1,00										
НПМ	0,04	-0,06	-0,03	0,39	-0,02	0,13	-0,66	-0,73	0,46	0,38	-0,40	0,37	0,03	0,38	0,37	0,46	1,00									
КАЗ	0,08	-0,14	-0,07	-0,44	-0,47	0,30	0,66	0,59	-0,71	-0,59	0,84	-0,68	-0,07	-0,68	-0,69	-0,21	-0,46	1,00								
КП	0,17	0,01	0,13	-0,56	-0,61	0,30	0,68	0,51	-0,60	-0,39	0,89	-0,86	-0,34	-0,86	-0,86	0,08	-0,23	0,73	1,00							
КЖЦ	0,14	-0,06	0,05	-0,55	-0,59	0,32	0,72	0,58	-0,69	-0,51	0,93	-0,84	-0,25	-0,84	-0,85	-0,04	-0,35	0,90	0,95	1,00						
ПР	0,09	0,11	0,15	0,63	-0,42	0,50	-0,54	-0,55	0,31	0,28	-0,29	0,31	0,07	0,31	0,31	0,68	-0,15	-0,24	-0,22	1,00						
ПО	0,14	-0,39	-0,25	-0,07	-0,32	0,52	0,10	0,11	-0,18	-0,19	0,34	-0,30	0,18	-0,28	-0,33	-0,18	0,03	0,64	0,32	0,49	0,24	1,00				
УРВ	-0,09	0,11	0,04	0,61	-0,49	0,52	-0,45	-0,44	0,34	0,31	-0,31	0,27	-0,08	0,27	0,29	0,18	0,60	-0,18	-0,23	-0,22	0,95	0,20	1,00			
УРТ	-0,29	0,12	-0,09	0,11	-0,68	0,45	-0,05	-0,05	0,10	0,05	0,02	-0,12	-0,28	-0,11	-0,09	0,24	0,44	0,05	0,14	0,11	0,66	0,34	0,78	1,00		
УВВ	0,16	-0,36	-0,21	-0,09	-0,31	0,48	0,11	0,10	-0,22	-0,21	0,39	-0,27	0,22	-0,25	-0,30	-0,16	0,05	0,67	0,34	0,51	0,26	0,99	0,18	0,29	1,00	
УВТ	-0,09	-0,19	-0,23	-0,14	-0,64	0,55	0,15	0,11	-0,20	-0,22	0,32	-0,36	-0,13	-0,34	-0,36	0,07	0,21	0,41	0,44	0,46	0,33	0,75	0,35	0,68	0,71	1,00

В-Ц-всходы-цветение, сут.; Ц-П-цветение-плодоношение, сут.; В-П - всходы-плодоношение, сут.; ВГП - высота главного побега, см; ДМУ- длина междоузлий на главном побеге, см; КМУ - количество междоузлий на главном побеге, см; СВ indet - степень ветвления индетерминантных боковых побегов, балл; Д indet - длина индетерминантных боковых побегов, см; КПУ - количество плодов в узле, балл; ДлП - длина плода, см; ДиП - диаметр плода, см; МП - масса плода, г; ИП - индекс формы плода; НПР - плодовая нагрузка растений ранняя, балл; НПМ - плодовая нагрузка растений массовая, балл; КАЗ - количество аботируемых завязей, шт.; КП - количество плодов на растении, шт.; КЖЦ - количество женских цветков на растении, шт.; ПР- продуктивность ранняя, кг/раст.; ПО - продуктивность за весь период вегетации растений, кг/раст.; УРВ - урожайность ранняя всего, кг/м²; УРТ - урожайность ранняя товарная, кг/м²; УВВ - урожайность за вегетацию всего, кг/м²; УВТ - урожайность за вегетацию товарная, кг/м².

(индетерминантных) боковых побегов чаще образуют по одному или по одному-два плода в узле. Это подтвердили и наши данные ($r=-0,76$), представленные в таблице.

Длина, масса, индекс формы плода находятся в высокой отрицательной взаимосвязи с количеством плодов на растении ($r=-0,86$). Чем меньше размер плодов, тем их больше на растении.

Признак количество репродуктивных органов (количество женских цветков) на растении находится в тесной связи с количеством плодов в узле ($r=0,93$). Высокая отрицательная корреляционная взаимосвязь отмечена между количеством женских цветков на растении и массой, длиной, индексом плода ($r=-0,84$, $r=-0,84$, $r=-0,85$, соответственно). У гибридов с короткими плодами закладывается больше женских цветков на растении, чем у гибридов с более длинными плодами.

Выводы

В результате проведенного корреляционного анализа между некоторыми количественными признаками у 24 гибридов огурца с гладким типом плода различной длины мы пришли к следующим выводам по данной работе.

Ранняя продуктивность находится в очень тесной положительной корреляционной взаимосвязи с ранней урожайностью ($r=0,95$), в средней – с ранней товарной урожайностью ($r=0,66$) и урожайностью за весь период вегетации растений ($r=0,51$). Это под-

тверждают и данные в работе многих авторов по взаимодействию признаков огурца.

На раннюю продуктивность в средней степени влияют длина главного побега ($r=0,63$) и количество междоузлий на главном побеге ($r=0,50$). Чем короче междоузлия, тем их больше ($r=-0,42$) на главном побеге и больше количество плодов на растении ($r=-0,61$).

Высокая прямая положительная связь между количеством репродуктивных органов на растении и количеством плодов в узле ($r=0,93$) указывает на возможность проведения отбора форм букетного типа цветения.

Количество плодов в узле находится в тесной взаимосвязи со степенью ветвления детерминантными боковыми побегами ($r=0,84$). Чем лучше ветвление растений короткими боковыми побегами, тем больше закладывается женских цветков ($r=0,72$) на растении с большой вероятностью более двух в каждом узле.

Количество женских цветков и количество плодов на растении находятся в высокой обратной взаимосвязи с длиной и индексом формы плода ($r=-0,84$...-0,86). Это можно учесть при отборе растений с короткими плодами в фазе цветения.

Признак плодовой нагрузки (нагрузка растений плодами) можно рассматривать как одну из составляющих показателя урожайности, что позволяет провести отбор по этому показателю при работе с большим количеством образцов до получения всех данных учета урожайности.

• Литература

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта, М.: «Колос», 1985. 423 с.
2. Монахос Г.Ф., Чан Т.К.Т., Ушанов А.А. Корреляции в селекции F₁ гибридов огурца. *Картофель и овощи*. 2013;(10):28-29. EDN PVZNCH.
3. Сирота С.М., Балашова И.Т., Козарь Е.Г., Пинчук Е.В. Новые технологии в овощеводстве защищённого грунта. *Овощи России*. 2016;(4):3-9. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-4-3-9>. EDN XVRUBR.
4. Хомченко Н.Н., Бudylin M.B., Гавриш С.Ф. Оценка родительских линий огурца и гибридов F₁ на устойчивость к болезням при помощи маркер-опосредованной селекции на платформе ПЦР в реальном времени. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2018;(72):363-368. DOI 10.21515/1999-1703-72-363-368. EDN XYNPRJ.
5. Хомченко Н.Н., Шевкунов В.Н. Современный сортимент огурца с гладким типом плода как исходный материал для селекции. *Овощи России*. 2020;(3):10-20. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-3-10-20>. EDN OCSRFD.
6. Хомченко Н.Н., Шевкунов В.Н., Муляр В.Н., Плужник И.С., Курепин А.В. Создание короткоплодных партенокарпических линий огурца гладкого типа. *Овощи России*. 2022;(1):24-32. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-24-32>. EDN FRBBGZ.
7. Ушанов А.А., Миронов А.А., Нгуен Ч.З. Корреляции в селекции партенокарпического корншонного огурца (*Cucumis sativus* L.) при выращивании в открытом грунте. *Картофель и овощи*. 2022;(2):33-35. <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.41.39.005>. EDN XMKIDV.
8. Коротцева И.Б., Кочеткова Л.А. Оценка и отбор сортообразцов огурца с женским типом цветения. *Овощи России*. 2016;(3):39-42. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-3-39-42>. EDN XABWBR.
9. Налобова В.Л., Шайтуро И.В. Корреляционные связи между хозяйственно ценными признаками партенокарпического огурца для пленочных теплиц. *Весті Національної академії наук України. Серія аграрних наук*. 2014;(1):57-61. EDN UDCUSL.
10. Wehner T.C. Breeding for improved yield in cucumber. *Plant Breed Rev*. 1989;(6):323–359. doi:10.1002/9781118061039.ch8
11. Cramer C.S., Wehner T.C. Fruit yield and yield component means and correlations of four slicing cucumber populations improved through six to ten cycles of recurrent selection. *Horticultural Science*. 1998;(123):388-395. doi:10.21273/JASHS.123.3.388
12. Cramer C.S., Wehner T.C. Path analysis of the correlation between fruit number and plant traits of cucumber populations. *Horticultural Science*. 2000;(35):708–711. doi:10.21273/HORTSCI.35.4.708
13. Якимович А.Д. Гетерозис у огурцов. *Плодоовощное хозяйство*. 1938;(12):14-17.
14. Fazio G., Chung S.M., Staub J.E. Comparative analysis of response to phenotypic and marker-assisted selection for multiple lateral branching in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Theor Appl Genet*. 2003;107(5):875-83. <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1313-1>.
15. Нгуен Ч.З. Оценка комбинационной способности партенокарпических гибридных и моноцидных устойчивых к ложной мучнистой росе линий огурца. Москва, 2015. 22 с.
16. Широ В.Н. Методы исследования устойчивости к заболеваниям томатов и огурцов при селекции новых сортов. Методика селекции и семеноводства овощных культур. Л. 1964. 103 с.
17. Тимошенко Н.Н. Пероноспороз огурца. *Эпоха науки*. 2017;(9):205-208. DOI 10.1555/2409-3203-2017-0-9-205-208. EDN YJCIBZ.
18. Чистякова Л.А., Барбарицкая И.В., Бакланова О.В., Ховрин А.Н. Огурец на юге России. *Картофель и овощи*. 2019;(11):38–40. DOI 10.25630/PAV.2019.44.63.009. EDN SNXBYI.
19. Cui M., Yang Y., Cheng Z., Meng H. Dynamic changes of fruit shape traits and its correlation to the morphology of other organs in cucumber. *Agronomy*. 2020;10(8):1111. DOI:10.3390/agronomy10081111
20. Степура М.Ф., Михнюк А.В. Корреляции между количественными признаками у корншонного огурца. *Земледелие и растениеводство*. 2022;(5):52-54.

• References

1. Dospehov B.A. Methodology of field experience, M.: "Kolos", 1985. 423 p. (In Russ.)
2. Monakhos G.F., Chan T.K.Tu., Ushanov A.A. Correlation in breeding F₁ hybrids of cucumber. *Potato and vegetables*. 2013;(10):28-29. EDN PVZNCH. (In Russ.)
3. Sirota S.M., Balashova I.T., Kozar E.G., Pinchuk E.V. New greenhouse technologies for vegetable production. *Vegetable crops of Russia*. 2016;(4):3-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-4-3-9>. EDN XVRUBR.
4. Khomchenko N.N., Budylin M.V., Gavriush S.F. Evaluation of parent lines and F₁ hybrids of cucumber for diseases resistance by marker-assisted selection on the real-time PCR platform. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2018;(72):363-368. DOI 10.21515/1999-1703-72-363-368. EDN XYNPRJ. (In Russ.)
5. Khomchenko N.N., Shevkunov V.N. Modern cucumber sortiment with a smooth type of fruit as an original material for selection. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(3):10-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-3-10-20>. EDN OCSRFD.
6. Khomchenko N.N., Shevkunov V.N., Muilar V.N., Pluzhnik I.S., Kurepin A.V. Creation of parthenocarpic lines of smooth and short type of cucumber. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(1):24-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-24-32>. EDN FRBBGZ.
7. Ushanov A.A., Mironov A.A., Nguen T.G. Correlations in the breeding of parthenocarpic gherkin cucumber (*Cucumis sativus* L.) in the field. *Potato and vegetables*. 2022;(2):33-35. <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.41.39.005>. EDN XMKIDV. (In Russ.)
8. Korotseva I.B., Kochetkova L.A. Assesment and selection of cucumber variety type with female type of flowering. *Vegetable crops of Russia*. 2016;(3):39-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-3-39-42>. EDN XABWBR.
9. Nalobova V.L., Shaitura I.V. Correlation between economically valuable traits of parthenocarpic cucumber for plastic greenhouses. *Proceedings of the national academy of sciences of Belarus. Agrarian series*. 2014;(1):57-61. EDN UDCUSL. (In Russ.)
10. Wehner T.C. Breeding for improved yield in cucumber. *Plant Breed Rev*. 1989;(6):323–359. doi:10.1002/9781118061039.ch8
11. Cramer C.S., Wehner T.C. Fruit yield and yield component means and correlations of four slicing cucumber populations improved through six to ten cycles of recurrent selection. *Horticultural Science*. 1998;(123):388-395. doi:10.21273/JASHS.123.3.388
12. Cramer C.S., Wehner T.C. Path analysis of the correlation between fruit number and plant traits of cucumber populations. *Horticultural Science*. 2000;(35):708–711. doi:10.21273/HORTSCI.35.4.708
13. Yakimovich A.D. Heterosis in cucumbers. *Fruit and vegetable farming*. 1938;(12):14-17. (In Russ.)
14. Fazio G., Chung S.M., Staub J.E. Comparative analysis of response to phenotypic and marker-assisted selection for multiple lateral branching in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Theor Appl Genet*. 2003;107(5):875-83. <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1313-1>.
15. Nguen T.G. Assessment of the combining ability of parthenocarpic gynocytic and monocyctic downy mildew-resistant cucumber lines. Moscow, 2015. 22 p. (In Russ.)
16. Shirko V.N. Methods for studying resistance to diseases of tomatoes and cucumbers when breeding new varieties. Methods of selection and seed production of vegetable crops. L. 1964. 103 pp. (In Russ.)
17. Timoshenko N.N. Peronosporosis cucumber. *Era of science*. 2017;(9):205-208. DOI 10.1555/2409-3203-2017-0-9-205-208. EDN YJCIBZ. (In Russ.)
18. Chistyakova L.A., Barbaritskaya I.V., Baklanova O.V., Khovrin A.N. Cucumber in the south of Russia. *Potato and vegetables*. 2019;(11):38–40. DOI 10.25630/PAV.2019.44.63.009. EDN SNXBYI. (In Russ.)
19. Cui M., Yang Y., Cheng Z., Meng H. Dynamic changes of fruit shape traits and its correlation to the morphology of other organs in cucumber. *Agronomy*. 2020;10(8):1111. DOI:10.3390/agronomy10081111
20. Stepuro M.F., Mikhnyuk A.V. Correlations between quantitative traits in gherkin cucumber. *Crop Farming and Plant Growing*. 2022;(5):52-54. (In Russ.)

Об авторах:

Нина Николаевна Хомченко – научный сотрудник, автор для переписки, nina.khomchenko1001@yandex.ru

Валерий Николаевич Шевкунов – кандидат сельскохозяйственных наук, зам. директора по науке, vshevkunov@mail.ru

About the Authors:

Nina N. Khomchenko – Researcher, Correspondence Author, nina.khomchenko1001@yandex.ru

Valery N. Shevkunov – Cand. Sci. (Agriculture), Deputy Director of Science, vshevkunov@mail.ru

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-28-39>
УДК 635.64:632.938.1:577.21

М.В. Маслова*, И.Н. Шамшин,
Е.В. Грошева, А.С. Ильичев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ) 393760, Российская Федерация, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101

*Автор для переписки:
marinamaslova2009@mail.ru

Финансирование. Работа выполнена в рамках НИР Министерства высшего образования и науки РФ № 1022041100306-6-4.1.1.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы являются равноценными участниками анализа литературных данных, планирования и написания статьи.

Для цитирования: Маслова М.В., Шамшин И.Н., Грошева Е.В., Ильичев А.С. Молекулярно-генетические основы устойчивости томата к основным грибным болезням. *Овощи России*. 2023;(6):28-39. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-28-39>

Поступила в редакцию: 20.10.2023
Принята к печати: 31.10.2023
Опубликована: 04.12.2023

Marina V. Maslova*, Ivan N. Shamshin,
Ekaterina V. Grosheva, Aleksey S. Ilyichev

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Michurinsky State Agrarian University" (FSBOU VO Michurinsky GAU) street International, d.101, Michurinsk, Tambov region, Russian Federation, 393760

*Correspondence: marinamaslova2009@mail.ru

Funding. The work was carried out within the framework of the research of the Ministry of Higher Education and Science of the Russian Federation No. 1022041100306-6-4.1.1.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors' Contribution. All authors are equal participants in the analysis of literary data, planning and writing of the article.

For citation: Maslova M.V., Shamshin I.N., Grosheva E.V., Ilyichev A.S. Molecular and genetic basis of tomato resistance to major fungal diseases. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):28-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-28-39>

Received: 20.10.2023
Accepted for publication: 31.10.2023
Published: 04.12.2023

Молекулярно-генетические основы устойчивости томата к основным грибным болезням



РЕЗЮМЕ

В данном обзоре представлен анализ отечественной и зарубежной литературы, который свидетельствует о нарастающей популярности селекционных методов в борьбе с наиболее распространенными болезнями томата оомицетной и грибной этиологии: фитофтороз (возбудитель – *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary), фузариозное увядание (возбудитель – *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hansen), альтернариоз (возбудители – представители рода *Alternaria*), кладоспориоз (возбудитель – *Cladosporium fulvum* Cooke.). Рассматриваются теоретические и практические достижения, а также новейшие разработки в области генетики, молекулярной биологии, физиологии растений, микробиологии. Особое внимание уделяется современным сведениям о разнообразии патогенов томата, их морфологических, генетических, физиологических особенностях, в том числе расовом составе; наличии генов устойчивости к патогенам в генофонде исследуемой культуры, их картированию и возможности введения в геном из других источников; о разработанных маркерах целевых генов и локусов количественных признаков; о степени ассоциации между молекулярным маркером и геном-мишенью; об особенностях наследования исследуемого признака, а также возможности пирамидирования R-генов и QTL в одном генотипе. Для ускорения и повышения эффективности селекции томата на устойчивость к патогенам данные вопросы имеют большое значение. Их изучение усилит интеграцию современных биотехнологий с традиционным селекционным процессом, который осуществляется классическими методами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

томат, *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum*, *Cladosporium fulvum*, *Alternaria*, гены устойчивости, маркерная селекция

Molecular and genetic basis of tomato resistance to major fungal diseases

ABSTRACT

This review presents an analysis of the literature, which indicates the popularity of breeding methods in the fight against oomycete and fungal diseases of tomato: late blight (pathogen – *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary), fusarium wilt (pathogen – *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hansen), early blight or alternariosis (pathogens – representatives of the genus *Alternaria*), cladosporiosis (pathogen – *Cladosporium fulvum* Cook.). Theoretical and practical achievements, the latest developments in genetics, molecular biology, plant physiology, microbiology are considered.

Special attention is paid to modern information about the diversity of tomato pathogens, their morphological, genetic, physiological features, including racial composition; the presence of pathogen resistance genes in the gene pool of the culture under study, their mapping and the possibility of introduction into the genome from other sources; about the developed markers of target genes and loci of quantitative traits; the degree of associations between a molecular marker and a target gene; about the features of inheritance of the studied trait, as well as the possibility of pyramiding R-genes and QTL in one genotype.

To accelerate and improve the efficiency of tomato breeding for resistance to pathogens, these issues are of great importance. Their study will strengthen the integration of modern biotechnology with the traditional breeding process, which is carried out by classical methods.

KEYWORDS:

tomato, *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum*, *Cladosporium fulvum*, *Alternaria*, resistance genes, marker selection

Введение

Solanum lycopersicum L. (семейство Пасленовые) является наиболее важной потребляемой культурой в любом рационе питания во всем мире. Характеристики качества плодов томата, включая размер, форму, цвет и вкус, были основной целью программ селекции культуры для создания современных сортов. В то время как характеристики плодов томата являются наиболее важными факторами для коммерческих современных сортов, устойчивость к болезням является гораздо более фундаментальной для выращивания томата [1].

Основными причинами снижения урожайности и качества плодов являются инфекционные болезни. Создание сортов и гибридов устойчивых к большинству распространенных патогенов позволит избежать экономических потерь урожая, что повысит рентабельность производства этой ценной овощной культуры [2].

В связи с этим, в борьбе с болезнями сельскохозяйственных культур по-прежнему ведущую роль играют селекционные методы, позволяющие производить отбор высокоадаптивных форм для конкретных зональных условий среди вновь созданных генотипов, а также из существующего сортимента.

Использование путем селекции генетически обусловленного признака болезнеустойчивости и приемов, активизирующих максимальную реализацию этого свойства в значительной мере позволяет снизить поражение растений возбудителями заболеваний, стабилизировать фитопатологическую обстановку в агроэкосистеме, а также существенно повысить урожайность овощных культур. Подобный подход опирается на эволюционно возникшие взаимосвязи между организмами, естественно существующие в природной среде обитания, и является вследствие этого экологически целесообразным [3].

Большая ценность доноров моногенных хозяйственно ценных признаков состоит в том, что селекция новых сортов и линий с их использованием значительно упрощается и превращается в чисто технический процесс их комбинаторики [4-6]. В настоящее время при создании сортов и гибридов томата можно успешно применять более 200 моногенно наследуемых признаков, включая маркерные рецессивные признаки и их доминантные аллели. Особую ценность представляет вертикальная устойчивость к болезням. К настоящему времени у томата выявлен ряд генов вертикальной устойчивости. Существуют и сорта с высоким уровнем горизонтальной устойчивости. Ни один из высокоэффективных генов устойчивости к патогенам и абиотическим факторам не был получен методом мутагенеза. Все они найдены в генофонде диких видов и культурных сортов, что свидетельствует о сложной структуре и длительной эволюции таких генов [7 - 12].

Устойчивость, основанная на локусах количественных признаков (*quantitative trait loci* – QTL), считается более длительным и, таким образом, в некоторых случаях более предпочтительным типом устойчивости по сравнению с R-генами. Мутация в единственном гене *Avr* патогена вряд ли позволит преодолеть такую устойчивость, а патогены, которые преодолевают устойчивость к QTL, получают лишь незначительное преимущество. Селекция на устойчивость на основе QTL является сложной задачей. Однако это может ока-

заться возможным с применением метода пирамидирования R генов, особенно тех, которые представляют различные способы взаимодействия между генами устойчивости и распознаваемыми ими эффекторами [13, 14].

Что касается сортов томата с неспецифической (горизонтальной) устойчивостью к патогенам, то они, снижая скорость размножения возбудителя, задерживают эволюцию его популяций. Клоны, содержащие значительное число генов агрессивности, накапливаются быстрее в популяции с большой численностью. Поэтому высоко агрессивные расы выявляются в посадках восприимчивых сортов, которые являются накопителями спор паразита. В листьях устойчивых сортов их формируется меньше, чем в восприимчивых. Поэтому неспецифическая устойчивость сорта также снижает рекомбинационные способности паразита и возможность альтернативных способов приспособления к условиям обитания [15].

Для создания устойчивых форм путем селекции необходимо иметь линии томата, которые в своем геноме содержат гены устойчивости к заболеваниям [2]. Генофонд томата играет важную роль в установлении принадлежности идентифицированных генов к определенным группам сцепления, определении их расположения в плечах хромосом относительно центромеры и т. д. Установление локализации генов в соответствующих хромосомах, составление полных карт хромосом той или иной культуры имеют большое значение в селекции, так как сила сцепления между разными генами в одной и той же хромосоме зависит от расстояния между ними [16].

Основная задача, с которой сталкивается селекционер – это комбинирование максимального числа желательных генов в одном генотипе. В таком случае в имеющемся селекционном материале проводится поиск маркеров, сцепленных с отбираемыми признаками. На основании проведенного анализа с помощью скрещивания отобранных образцов создается генотип с оптимальным сочетанием агрономически ценных генов из разных источников [6].

Большинство коммерческих сортов томатов разработаны на основе традиционной селекции и отбора по фенотипу. С появлением молекулярных маркеров и маркер-ассоциированной селекции (*marker-associated selection* – MAS) исследования по генетике и селекции томата вступили в новый этап. Молекулярные маркеры широко используются для генетического картирования, а также идентификации и характеристики генов экономически важных признаков у томата, в том числе устойчивости к болезням [17-19].

Изучение генетических аспектов устойчивости растений к болезням включает важный этап проверки способности гена к фенотипическому проявлению. Она осуществляется по ассоциативным взаимодействиям «маркер-ген». С этой целью сопоставляются результаты молекулярного анализа с лабораторно-полевой оценкой растений к патогену [20].

Вместе взятые различные подходы потенциально могут значительно повысить эффективность и долговечность устойчивости, тем самым предоставляя производителям томата возможности для борьбы с опасными заболеваниями [14].

Возбудители болезней томата и маркерная селекция на устойчивость к ним

Устойчивость томата к фитофторозу

Фитофтороз – одно из самых опасных заболеваний картофеля и томата. Потери урожая томата от фитофтороза превышают потери картофеля от этого заболевания. Практически все возделываемые в России сорта томата сильно поражаются им. Большие потери от фитофтороза вынуждают производителей томата обрабатывать их химическими препаратами. При высокой степени устойчивости возбудителей фитофтороза к фунгицидам эффективность обработок низка, а передозировка препарата угрожает здоровью потребителей плодов томата. Возможность противостоять фитофторозу заключается в выращивании устойчивых сортов [7, 8, 21].

Phytophthora infestans (Mont.) de Bary. вызывает эпифитотии фитофтороза. На территории России он был зарегистрирован еще в XIX веке. В то время возбудитель не причинял существенного экономического ущерба. Но в 60-70х гг. XX столетия эпифитотии фитофтороза на томатах стали наблюдаться в Нижнем Поволжье, на Украине, Северном Кавказе, в Молдове. С тех пор поражения томата фитофторозом стали ежегодными, распространились по всей территории промышленного и приусадебного возделывания культуры томата и вызывают огромный экономический ущерб [22, 15].

P. infestans развивает внутри листьев растения-хозяина межклеточную грибницу с гаусториями. Патоген-оомицет, обладающий высокой деструктивной активностью, способен уничтожать растения томата в течение 7–10 дней. В прохладных и влажных условиях он вызывает образование темных пятен, которые чернеют и загнивают [15, 23].

Исследование взаимодействий между растением-хозяином и патогеном имеет важное значение для понимания клеточной и молекулярной биологии возбудителя и ключевых компонентов этих взаимодействий. Секвенирование генома *P. infestans* позволило классифицировать и анализировать эффекторные белки, а также привело к открытию ранее не задействованных генов, отвечающих за вирулентность [24].

Наблюдения за изменчивостью расового состава *P. infestans* на большом наборе сортообразцов томата показали, что популяция содержит две расы T0 и T1. К появлению расы T1 привели мутации. Повышение патогенности к одному хозяину сопровождалось понижением ее к другому, то есть возникла начальная, пока неполная внутривидовая специализация к картофелю (раса T0) и к томату (раса T1). На листьях томата раса T1 преобладает, в то время как на листьях картофеля она встречается редко. Искусственное заражение листьев томата и картофеля показало, что изоляты расы T0 более агрессивны для картофеля, а изоляты расы T1 более агрессивны для томата [15, 25]. В некоторых случаях отмечают высокую агрессивность штаммов с геном T1 как по отношению к томату, так и к картофелю [26].

Селекция на устойчивость к *P. infestans* осложняется отсутствием иммунных сортов среди культурного томата. Доминантный ген устойчивости к фитофторозу Ph впервые обнаружен в мексиканских линиях томата. Образцы томата, несущие ген Ph проявляют устойчивость к расе T0, но поражаются другой расой T1. Моногенной устойчивости к вирулентной расе T1 не выявлено [27]. Немногие

из сортов томата имеют достаточный уровень устойчивости к *P. infestans*. Выведение устойчивых сортов осложняется большой пластичностью возбудителя, повышением его агрессивности [7].

У томата известно два типа устойчивости к фитофторозу: контролируемая одним доминантным геном сверхчувствительности к определенным расам возбудителя (вертикальная устойчивость) и наследуемая полигенно (полевая, горизонтальная устойчивость [28].

В качестве генетических ресурсов устойчивости растений томата к фитофторозу были определены в основном дикие виды, в частности красноплодный вид *S. pimpinellifolium* и зеленоплодный *S. habrochaites* [21, 29].

На сегодняшний день идентифицировано шесть генов устойчивости к фитофторозу (*Ph-1*, *Ph-2*, *Ph-3*, *Ph-4*, *Ph-5-1* и *Ph-5-2*). Все они обнаружены у диких томатов. Три из этих генов *Ph-1*, *Ph-2*, *Ph-3* имеют коммерческое значение [23].

Взаимодействие типа «хозяин – паразит» между томатом и *P. infestans* происходит по принципу "ген на ген". Раса T0 заражает сорта томата без *Ph* гена, раса T1 заражает сорта с геном *Ph*. На расы T0 и T1 дифференциально реагируют только листья. Плоды не обнаруживают такой реакции и не используются для идентификации рас. Это относится ко всем существующим ныне шкалам дифференциаторов [7, 22, 27].

Несколько локусов резистентности были выявлены у диких видов томата и применены на практике. Ген *Ph-3* обеспечивает сопротивление против широкого спектра изолятов фитофторы, является самым эффективным фактором устойчивости к фитофторозу томата [30–32]. Во многих странах мира разрабатываются селекционные программы, ориентированные на включение в геном получаемых форм томата гена *Ph-3* [21, 30, 33–36]. В связи с тем, что наличие гена *Ph-3* позволяет достигнуть высокого уровня сопротивления болезни, он был включен во многие селекционные линии томата [19, 21, 30], но его долговечность не проверялась [29]. Были обнаружены гомологи *Ph-3* гена, в том числе у восприимчивых к фитофторе форм: *Ph-3a*, *Ph-3b*, *Ph-3c*, *Ph-3d* [19, 32].

Генами *Ph-2* и *Ph-3* у гомозиготного гибрида томата полностью контролировали поражение фитофторозом: растения не имели признаков заболевания в районах, где восприимчивые сорта были сильно ослаблены [35].

Ген *Ph-5* выявлен у *Solanum pimpinellifolium*. На данный момент *Ph-5-1* и *Ph-5-2* считаются наиболее эффективными генами устойчивости против фитофтороза томата. Ген *Ph-5* придает резистентность к нескольким изолятам патогена в том числе и к тем, которые преодолели другие гены устойчивости. Ведутся исследования по разработке перспективных селекционных линий, включающих *Ph-5* как отдельно, так и в комбинации с *Ph-2* и *Ph-3* с использованием интеллектуальных программ селекции и стратегии пирамидирования генов [21, 23, 32].

В настоящее время выявлено, что ген устойчивости к фитофторозу томатов *Ph-1* картирован на хромосоме 7, *Ph-2* – на хромосоме 10, в то время как ген *Ph-3* – на хромосоме 9, *Ph-4* – на хромосоме 2, *Ph-5-1* и *Ph-5-2* были обнаружены на 1 и 10 хромосомах соответственно [30, 31, 33, 37–39].

Для идентификации гена *Ph-3*, отвечающего за устойчивость к фитофторозу, используют молекулярные маркеры TG328 и TG591 [33–40]. Четыре tandemно дублиро-

ванных гомолога *Ph-3* (*Ph-3a*, *Ph-3b*, *Ph-3c* и *Ph-3d*), содержащих богатый лейцином повтор сайта связывания нуклеотидов (CC-NBS-LRR), были идентифицированы во фланкирующей области TG328 и TG591 [32, 34].

Обнаружены молекулярные SCAR - маркеры, ассоциированные с геном *Ph-3*: NCLB-9-6676, NCLB-9-6677, NCLB-9-6678, NCLB-9-6679. Они расположены вблизи ранее идентифицированного молекулярного RFLP-маркера TG591. Эффективность данных маркеров доказана экспериментально в условиях теплицы по фенотипическому проявлению признака устойчивости к фитофторозу [41].

Оценка устойчивости к фитофторозу растений томата путем инокуляции отделенных листьев подтвердила соответствие между наличием последовательности *Ph-3-GLR/S* и фенотипической резистентностью. Показано, что маркер *Ph-3-GLR/S* был более точным, чем TG328 и может служить высокоспецифичным и надежным кодоминантным маркером для селекции на наличие гена *Ph-3* [42].

SCAR – маркер SCU602 при анализе 96 образцов F_2 дал ожидаемое расщепление 1:2:1 по Менделю. Этот маркер может быть использован в селекционных программах для отбора гена устойчивости к *P. infestans Ph-3*. SCA602 имеет потенциальные преимущества перед TG328 и TG591. Он может обнаруживать гетерозиготные растения, что позволяет проводить обратное скрещивание [43].

Молекулярные маркеры CC-Ase и InDel-c, связанные с *Ph-2*, в частности, InDel-1, InDel-2, InDel-3, InDel-4, InDel-c, CC-Ase, CAPS-1 и InDel-6, были использованы для скрининга инбредных линий томатов. Маркеры InDel-4, InDel-c и CAPS-1 определяли генотип с *Ph-2* всех линий с точностью 100%. Эффективность маркеров InDel-1, InDel-2, InDel-3, CC-Ase и InDel-6 составила 91,43; 51,43; 40,00; 74,29 и 94,29% соответственно [25].

Новые сорта с эффективными генами вертикальной устойчивости являются мощным селективным фактором, отбирающим в популяциях *P. infestans* клоны с комплементарными генами вирулентности. Но при отсутствии у сорта растения-хозяина неспецифической устойчивости, сдерживающий рост популяции патогена, процесс смены доминирующих в популяции клонов происходит очень быстро [15].

В качестве одного из способов создания форм томата стабильно устойчивых к фитофторозу многие исследователи предлагают использование многих генов в одном генотипе, каждый из которых контролирует способность сопротивляться возбудителю [25, 33, 37, 43].

Для борьбы с фитофторозом селекционеры успешно внедряют в культурные сорта генетические локусы, придающие устойчивость к болезни различным диким формам томата. Основным способом повышения резистентности к *P. infestans* является интрогрессия генов устойчивости и QTLs от диких родственников *Solanum*. Достижения в технологиях секвенирования и растущие геномные ресурсы способствовали тому, что обнаружение QTL стали более значимыми и эффективными в селекции на устойчивость к фитофторозу, чем предыдущие стратегии [44].

У *S. hirsutum* была идентифицирована серия маркеров полиморфизма ограниченной длины фрагмента (RFLP), включающих QTL устойчивости к фитофторозу. Выявлены локусы количественных признаков *lb4*, *lb5b* и

lb11b для горизонтальной устойчивости к *P. infestans* в популяции обратного скрещивания между восприимчивой и устойчивой формами томата [29, 32].

Подход выборочного генотипирования привел к идентификации двух локусов устойчивости томата к фитофторозу на 1 и 10 хромосомах [45].

У *S. habrochaites* были нанесены на карту несколько QTL, связанных с устойчивостью к фитофторозу, три из которых идентифицированы на хромосомах 4, 5 и 11. Кроме того, обнаружено пять QTL (LA1777), которые придавали высокий уровень устойчивости к *P. infestans*. Совсем недавно в хромосомах 6 и 12 *S. habrochaites* были обнаружены ещё два QTL, которые связаны с устойчивостью к фитофторозу [23].

Устойчивость томата к фузариозному увяданию

Начиная с 70-х годов XX века фузариозное увядание томата, обычно характерное для южных регионов земледелия, стало вредоносным в теплицах Московской и Ленинградской областей, на Дальнем Востоке, Западной Сибири, на Украине, в Польше, Беларуси. У восприимчивых сортов в следствии этой болезни потери урожая, могут достигать порядка 30-50% [3].

Возбудителем фузариозного увядания томата является обитающий в почве гриб *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hansen, который относится к факультативным паразитам. Благодаря своей способности разлагать лигнин и другие сложные углеводы он является распространенным эпифитом и эндофитом корней растений. Проникает он обычно через микротрещины, возникающие при формировании боковых корней, или механические повреждения, поранения, образованные нематодами и насекомыми, а также через корневые волоски. Болезнь распространена повсеместно. Признаки поражения проявляются в отставании растений в развитии, увядании и засыхании листьев, отмирании завязей, потемнении и побурении корневой шейки и корней. Эти симптомы часто асимметричны, ограничены одной или двумя ветвями растения или даже одной стороной листа. В конечном итоге заболевание приводит к быстрому увяданию, ускоренному созреванию плодов и гибели всего растения [3, 14, 46].

В пределах *F. oxysporum* существует более 120 различных специализированных форм, способных вызывать серьезные поражения болезнями различных культур, хотя каждая форма ограничена набором хозяев и обозначена как *formae specialis* (f. sp.) [14].

На начальной стадии патогенеза гриб может вызывать усиление роста корней у хозяина, в связи с наличием ауксина в выделяемых метаболитах [47]. Выявлен эффектор гриба Fol-milR1, который подавляет иммунитет хозяина путем подавления гена устойчивости к болезням, обеспечивая таким образом новую стратегию вирулентности для достижения инфекции [48].

При инфицировании томата грибом *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* выделяется несколько уникальных белков, секретируемых в ксилеме. По крайней мере, некоторые из этих белков связаны с поражением томата. Предполагается, что среди них есть такие, которые могут индуцировать устойчивость к болезням томата [49].

Создание устойчивых сортов томата является экономически и экологически обоснованным подходом для борьбы с этим заболеванием [50].

Взаимодействия *F. oxysporum* и его растения-хозяина томата характеризуется как «ген-на-ген». Грибной ген вирулентности *Avr2*, выполняет две функции: одна необходима для полной вирулентности патогена, а другая способствует развитию защитной реакции у растения, несущего R-ген [51].

Устойчивость томата к фузариозному увяданию наследуется моногенно и контролируется семейством генов *I*. Большинство идентифицированных генов устойчивости являются одиночными, доминантными генами [14].

Известны 3 расы возбудителя *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* *Fol1*, *Fol2* и *Fol3* [61]. Разделение основано на способности отдельных штаммов преодолевать специфические гены *I*. Это подразумевает наличие у гриба генов авирулентности, которые распознаются продуктами соответствующих генов *I* [102]. Устойчивые растения томата несут расоспецифичные гены *I*, *I-2* и *I-3*, которые были интрогрессированы в геном коммерческих сортов томата [51 - 53].

Установлено, что устойчивость к болезни у растений контролируют белки, присутствующие в мультипротеиновых комплексах [54, 55]. Идентификация рас *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, основанная на генах авирулентности, специфичных для хозяина, может быть очень надежной. Такие гены *SIX1*, *SIX2*, *SIX3* и *SIX5* могут быть использованы для однозначной идентификации *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Соответствующие эффекторы, необходимые для устойчивости, обеспечиваемой *I*, *I-2* и *I-3* были идентифицированы как *Avr1* (*SIX4*), *Avr2* (*SIX3*) и *Avr3* (*SIX1*) соответственно [56, 14]. Для *SIX6* и *SIX7* близкие гомологи были обнаружены у нескольких других видов *Fusarium*. Это позволяет предположить, что данные гены могут играть более общую роль в патогенности [56].

Гены устойчивости томата к *Fol1* (ген *I-1*) и расе *Fol2* (ген *I-2*) были картированы на хромосоме 11, ген *I-3* на 7-ой. Ген *I-7* локализован на хромосоме 8. Он придает устойчивость к *Fol1* и *Fol2*, не подавляя *Avr1*, а также к расе *Fol3*. *I-7* функционирует по пути устойчивости, независимому от гена *I-3* [14, 51-53, 57-59].

Ген *I-2* кодирует NB-LRR повтор, соответствующий защитному белку, который работает конкретно в сосудистой ткани. Он был первым клонирован и секвенирован. Установлено, что он принадлежит кластеру семи родственных генов. Сложность его организации сильно затрудняет создание эффективных молекулярных маркеров. Разработаны RFLP-, AFLP- и COS-маркеры данного гена, которые затем были конвертированы в специфические SCAR- и CAPS-маркеры [6, 14, 50, 60, 61].

Гистохимический анализ тканей томата показал, что экспрессия белков закодированных геном *I-2* отмечается в сосудистой ткани плодов, листьев, стеблей и зрелых корней. При этом в наибольшей степени это отмечалось в молодых корнях, в основании боковых корневых зачатков. Микроскопический анализ молодых растений томата выявил экспрессию в тканях, окружающих сосуды ксилемы. Показано, что в устойчивых растениях, рост грибного патогена в этой области сосудистой ткани затруднен, что предположительно связано с *I-2*-опосредованной защитной реакцией [51].

С целью идентификации гена устойчивости у томата, проводилось комплексное изучение геномов растений содержащих *I-2*, что способствовало разработке маркера *I-2*, который позволяет выявить устойчивость к фузариозу обусловленную наличием исследуемого гена [2, 6, 50, 62, 63].

Из трех пар праймеров, разработанных для локуса *I-2*, праймеры Z1063 F/R амплифицировали единственный продукт в 940 п.н. только в генотипах, несущих ген *I-2* из *S. pimpinellifolium*. Эти праймеры не смогли амплифицировать *I-2* из *S. pennellii*, который контролирует только частичную устойчивость к расе *Fol1* [64].

Разработан маркер *At-2* для идентификации локуса устойчивости к фузариозу *I*. Среди 16 протестированных пар праймеров только праймеры на основе COS-маркера *At-2* из гена никотинамидазы 1 из *Arabidopsis thaliana* показали разницу между устойчивым и восприимчивым сортами [64].

У *S. pennellii* идентифицированы локусы *I-5* и *I-6* на хромосомах 2 и 10 соответственно. А на хромосоме 2 *S. lycopersicum* между маркерами CT75 и TG91 присутствует локус *I-4*. Гены *I-4*, *I-5* и *I-6* не были клонированы, и механизмы устойчивости связанные с ними не были исследованы [14].

Хотя устойчивость томата к *Fol3*, основанная на гене *I-3*, является наиболее эффективной стратегией борьбы с данным возбудителем. Но *I-3* ассоциируется с вредными признаками, включая уменьшение размера плодов и повышенную чувствительность к бактериальным пятнистостям. В свою очередь *I-7* не влияет на эти признаки, при этом обеспечивает устойчивость к расе *Fol3* [65, 66]. Ген *I-7* кодирует белок с доменной архитектурой, типичной для LRR-RLPs. Идентификация данного гена позволила разработать для него CAPS-маркер (CAPS7774), тем самым предоставляя селекционерам возможность эффективного отбора и выведения элитных сортов томата, несущих один или оба гена устойчивости к фузариозу (*I-3* и *I-7*) [58].

CAPS - маркер TAO1₉₀₂ также используется для идентификации генотипов томатов, обладающих геном *I-2*. Фрагменты рестрикции Rsa I или Fok I соответствовали наличию или отсутствию аллеля *I-2* [67].

Общегеномное ассоциативное исследование (genome-wide association study – GWAS) выявило однонуклеотидные полиморфизмы (single nucleotide polymorphism – SNP), связанные с устойчивостью к фузариозу. Восемнадцать SNP были обнаружены в двух тестах и расположены на хромосомах 4, 6, 7, 9 и 12. Также обнаружены шесть уникальных значимых SNP, расположенных на хромосомах 2, 4 и 7. Идентифицированы гены-кандидаты, связанные с устойчивостью к заболеванию. Важно отметить, что два гена, кодирующие LRR-LR (leucine-rich repeat-like protein – богатый лейцином повтор-подобный белок) и DRP (disease-resistance protein – белок устойчивости к болезням), были выявлены по двум уникальным SNP: *solDsnp10606* и *solDsnp6266*, соответственно [68].

Пирамидирование R-генов является общепринятым подходом при выведении устойчивых к болезням сортов, а объединение нескольких генов резистентности к *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, позволит получить устойчивые к длительному периоду сорта томата [13, 14].

Устойчивость томата к альтернариозу

Род *Alternaria* объединяет космополитические грибы, являющиеся сапротрофами, эндофитами и патогенами растений. В свою очередь патогенные виды способны поражать зерновые, овощные и плодово-ягодные культуры в период вегетации и во время хранения. Заражение альтернариозом является причиной одних из самых вредоносных болезней растений в мире, приводящих к серьезному снижению урожайности сельскохозяйственных культур и значительным экономическим потерям для производителей и пищевой промышленности [60].

Культурные сорта томата являются хозяевами многих патогенов. При этом доминирующими листовыми патогенами являются представители рода *Alternaria*, как мелкоспоровые (*A. alternata*, *A. tenuissima*, *A. consortiali*), так и крупноспоровые (*A. solani*, *A. grandis*, *A. tomatophila*). Виды с крупными спорами включают наиболее агрессивные изоляты. При этом мелкоспоровые формы также обладают способностью вызывать пятнистости, а при благоприятных для них условиях развивать синергические взаимодействия при смешанных инфекциях с умеренно агрессивными изолятами [70, 71].

Alternaria solani Sorauer. поражает 5 видов рода *Solanum*, но чаще всего обнаруживается на картофеле. По культуральным и морфологическим признакам среди изолятов *A. solani* обособилась группа, которую предложили отнести к отдельному виду *Alternaria tomatophila*. Представители этого вида проявляют специфичность к томату. В лабораторных условиях могут заражать листья картофеля, но для данного хозяина они слабо агрессивны [72, 73].

Позднее было сгруппировано несколько крупноспоровых изолятов, в том числе с растений семейств пасленовых, тыквенных и др. в новый вид, обозначенный как *A. lineariae*. Для дифференциации этих близкородственных видов *Alternaria* применяется несколько подходов: морфологические, молекулярные и хемотаксономические [73].

Грибы рода *Alternaria* вызывают относительно медленное разрушение тканей хозяина через уменьшение фотосинтезирующей поверхности. Симптомы начинают проявляться с мелких округлых пятен серого или серовато-коричневого цвета, ближе к черному. По мере развития болезни пятна увеличиваются в диаметре до 1 см и более. Из-за колебаний внешних условий, патоген растет не равномерно, и пятна на целевых образцах развиваются в виде концентрических колец. Гриб может спороносить в местах поражения, вызывая тонкий, черный, бархатный налет спор. Темные, вдавленные поражения встречаются чаще на листьях, но могут локализоваться на корнях, стеблях и плодах томата [74, 75].

Выделяют 7 рас *A. solani* поражающих томаты: 4 – на листьях, 2 – на стеблях и 1 расу, приуроченную к плодам. Расы условно разделяют на 3 морфотипа: образующие только стерильные колонии – «мицелиальный» тип; постоянно образующие споронотения на искусственных средах – «споронотный» и промежуточные типы [72]. *A. alternata* рас не имеет [76].

Внеклеточные протеазы являются ключевыми ферментами, продуцируемыми грибами во время взаимодействия хозяин-патоген, и участвуют в росте, развитии, выживании и патогенности. Ферменты, участвующие во внедрении патогена на поверхности тканей хозяина,

включают кутиназы, липазы, эндоглюканызы и экзоглюканызы [73].

Известно около 60 видов рода *Alternaria*, многие из которых продуцируют метаболиты, токсичные не только для растений, но и для млекопитающих [69]. На основе селективности токсины классифицируются либо как специфичные (*host-specific toxins* – HST), либо как неспецифичные для хозяина (*non-host-specific toxins* – NST) [73].

Хемотаксономические исследования представляют интерес для классификации и идентификации патогенных видов *Alternaria* на основе изучения их метаболитных профилей, которые специфичны для каждого вида. Установлено, что *A. solani* и *A. tomatophila* продуцируют альтерсоланол А, альтертоксин I и макроспорин [72, 77, 78].

И *A. solani*, и *A. alternata* продуцируют ряд неспецифических токсинов. Альтерналиол (АОН) и альтерналиол монометилловый эфир (*alternariol monomethyl ether* – AME) проявляют синергические эффекты. Тенуазоновая кислота (TEA) вызывает некротические повреждения иногда с образованием желтого ореола на листьях. Она подавляет механизм синтеза белка. Тентоксин, который действует как фотофосфорилирующий ингибитор через специфическое связывание с АТФ-синтазой хлоропласта, вызывая угнетение гидролиза и синтеза АТФ [77].

Способность *Alternaria* заражать определенного хозяина зависит от способности продуцировать HST. Они химически разнообразны, имеют разные участки действия, но все вызывают гибель клеток. Гены биосинтеза HST обычно группируются вместе на дополнительной хромосоме у *A. alternata*. Предполагается, что *Alternaria* стала патогенной в результате приобретения генов HST посредством горизонтального переноса генов этой дополнительной хромосомы [71].

К специфическим токсинам, синтезируемым *A. alternata f. sp. lycopersici* относятся AAL-токсины. Это аминокептольные сложные эфиры, аналоги сфингозина, предшественника сфинганина, сфинголиновые аналоги микотоксинов. Они относятся к семейству моноэстеров [74]. В биосинтез токсина AAL вовлечен ген поликетид-синтазы (PKS) ALT1 [73]. AAL-токсин вызывает ингибирование биосинтеза сфинголипидов. Как правило, устойчивость растений к микотоксинам связывают с детоксикацией и изменением сродства или отсутствием мишеней для токсинов. Было выявлено, что устойчивость томатов к AAL-токсину, определяется геном *Asc-1* [79].

Asc-1 гомологичен генам, обнаруженным у большинства эукариот, от дрожжей до человека, что свидетельствует о сохраненной функции. *Asc-1* был способен восстанавливать синтез сфинголипидов. В присутствии AAL-токсина наличие *Asc-1* способно ослабить вызванный блок синтеза сфинголипидов, который в противном случае привел бы к запрограммированной гибели клеток. *Asc-1* вызывает устойчивость к *A. alternata f. sp. lycopersici*, при наличии только одной копии гена, которой достаточно для продолжения биосинтеза сфинголипидов в присутствии AAL-токсина. Резистентность формируется путем биосинтеза церамидов, а восприимчивость является результатом сигналов, полученных в результате нарушения пути биосинтеза церамидов [77].

Устойчивость к альтернариозу – это сложный признак, который количественно наследуется и контролируется аддитивным или неаддитивным взаимодействием

ем множества генов и их взаимодействием с окружающей средой. Ни одного качественного гена устойчивости к альтернариозу не было обнаружено. Генетический контроль устойчивости к альтернариозу у томата является полигенным [73, 80].

Проводятся работы по картированию QTL для выявления маркеров, контролирующих устойчивость. В настоящее время в различных популяциях томата с использованием метода простого интервального картирования обнаружено множество QTL [73, 75, 80]. Они были локализованы совместно с другими генами устойчивости и EST-кандидатами (expressed sequence tag), что указывает на возможность обнаружения генов-кандидатов для устойчивости к альтернариозу после дополнительных исследований [73].

Ряд генов, включая членов семейства реагирующих на этилен факторов транскрипции (ethylene-responsive factors –ERFs), факторов транскрипции цинковых пальцев (zinc finger transcription factors – ZF-TFs) и факторов транскрипции рибосомных белков были чувствительны у устойчивых томатов. Высказано предположение, что такие гены играют роль в защите растений от *A. solani*, возможно, путем активации синтеза белка, связанного с патогенезом (pathogenesis-related –PR) [73].

Установлена эффективность генов *S1WRKYs* и *7 PRs*, и ферментативной активности β -1,3 глюканазы и хитиназы в повышении устойчивости к *A. alternata* томата. Предполагается, что они играют определенную роль в защитных механизмах [81].

Устойчивость к альтернариозу связана с повышенной экспрессией гена *TPK1b*, а также повышенным накоплением H_2O_2 , фенольных соединений и супероксиданиона, более высоким процентом сшивания и полифенольной активностью, уменьшением повреждения ДНК и меньшим снижением жизнеспособности клеток [73].

Предприняты попытки по разработке RAPD-маркеров для двух рецессивных генов устойчивости томата к альтернариозу. Из 14 случайных праймеров два (OPG19 и OPE11) продуцировали уникальные ампликоны длиной 1350 п.н. и 1300 п.н. соответственно, которые были связаны с чувствительной реакцией на заболевание у исследуемых гибридов F_2 . Выявлены значительные различия между генотипами, указывающие на связь между реакцией на заболевание и наличием маркеров OPG19 и OPE11. Предполагается, что маркеры были связаны с двумя разными локусами, определяющими признак устойчивости [82].

Выявлено, что комбинированные фенотипические и молекулярные маркеры дают важную информацию для оценки генетического разнообразия, связанного с устойчивостью болезни. Анализ морфометрических показателей таких как ширина листовой пластинки, толщина стебля, плотность листвы и размер растения показал положительную корреляцию с устойчивостью к альтернариозу. Размер зрелых плодов, толщина околоплодника и тип листьев достоверно и отрицательно коррелировали с устойчивостью к *Alternaria alternata*. Также у восприимчивой рассады томата наблюдалось значительное снижение параметров биомассы. Согласно ISSR-анализу генотипы в соответствии с уровнем фенотипического проявления устойчивости разделились на 4 генетические группы [83].

Экспрессия ряда генов, связанных с защитой, значительно изменяется в результате инвазии патогена. Растения вырабатывают ферменты, связанные с защитой, способные инициировать устойчивость к патогенам. Они изменяют общее содержание фенола и активность соединений, поглощающих активные формы кислорода (каталаза, пероксидаза, фенилаланин-аммиак-лиаза, супероксиддисмутаза), которые используются против причинных возбудителей грибковых болезней [81].

В качестве генисточников устойчивости томата к альтернариозу выявлены дикие виды *S. habrochaites*, *S. pimpinellifolium* и *S. peruvianum*. Наиболее обогащен генами устойчивости *S. habrochaites*, но этот вид характеризуется как позднеспелый, индетерминантный и малоурожайный. *S. pimpinellifolium* является близким родственником культурного томата, в связи с этим, он легко скрещивается с ними. Также он обладает меньшим количеством нежелательных признаков по сравнению с другими дикорастущими видами томата. Хотя у *S. peruvianum* были выявлены некоторые устойчивые образцы, они не полностью задействованы в селекции томата на устойчивость к альтернариозу из-за высокой генетической изменчивости внутри каждого образца и перекрестной несовместимости с культивируемыми сортами [73].

На различных этапах селекционного процесса диагностики устойчивости генотипов томата к *Alternaria spp.* может осуществляться на стадии зрелой пыльцы. Это позволяет проводить отбор перспективных форм с разным уровнем устойчивости мужского гаметофита к исследуемому патогену с использованием его культурального фильтрата [84].

Устойчивость томата к кладоспориозу

Кладоспориоз – заболевание вызываемое грибом *Cladosporium fulvum* Cooke. Оно снижает урожайность, качество плодов, а также приводит к гибели отдельных органов или всего растения томата. При совместимых взаимодействиях с восприимчивым хозяином споры гриба прорастают на абаксиальной поверхности листьев и попадают в апопласт листа через устьица. При этом инфицированные клетки подвергаются некрозу [85].

Существует множество физиологических рас *C. fulvum*. Эти расы быстро мутируют, и устойчивость к распространенным генам *Cf* снижается. На сегодняшний день у *C. fulvum* было клонировано 10 эффекторов: 4 AVR эффектора (Avr2, Avr4, Avr4E и Avr9) и 6 внеклеточных белков (Ecr1, Ecr2, Ecr4, Ecr5, Ecr6 и Ecr7) из инфицированной межклеточной жидкости листьев томата [86].

Гены томата *Cf*, обуславливающие устойчивость к фитопатогенному грибу *C. fulvum*, принадлежат к классу генов устойчивости, кодирующих белки с регионом обогащенных лейцином повторов и трансмембранным доменом (leucine-rich repeat trans membrane – LRR-TM) [87]. Все они организованы как кластеры гомологов генов резистентности, которые были обозначены Hcr. Каждый локус включает tandemные массивы близкородственных гомологов с различающимися спецификами распознавания, что наблюдается у большинства генов устойчивости [88, 89].

Из разных источников в селекцию томата вовлечены главным образом гены устойчивости *Cf-1*, *Cf-2*, *Cf-3*, *Cf-4*, *Cf-5*, *Cf-9*, *Cf-10*, *Cf-12*, *Cf-13*, *Cf-16* и *Cf-19*, хотя известно, что в геноме диких видов количество генов *Cf* достигает 24 [86, 90-92]. Это в свою очередь создало эволюционное давление на возбудителя болезни *S. fulvum*, что позволило ему преодолеть действие большинства генов. Так, например, в Северо-Восточном Китае физиологические расы 1–4 *S. fulvum*, преодолели ген *Cf-4* и стали доминирующими расами всего за девять лет [93]. Таким образом, количество генов, которые могут быть использованы в селекции, уменьшается, что делает необходимым выявление новых генов устойчивости и введение их в сорта и гибриды томата. В России самые распространенные расы *S. fulvum* – 1, 3, 4. Им соответствуют эффективные гены устойчивости – *Cf-2*; *Cf-5*, *Cf-6*, *Cf-9*. Но с течением времени появляются новые расы. Так были отмечены расы 2 и 5, против которых эффективен только ген *Cf-6*, а на дифференциаторах с генами *Cf-5* и *Cf-9* наблюдались слабые симптомы поражения [94].

Локусы *Hcr2*, включая *Cf-2* и *Cf-5*, были сопоставлены с коротким плечом хромосомы 6. В локусе *Cf-2* обнаружены три гомолога *Hcr2*. Гены *Cf-2.1* и *Cf-2.2* близкородственны и являются функциональными генами, которые придают устойчивость к штаммам *S. fulvum* с соответствующим геном *Avr2*. Другой гомолог (*Hcr2-2A*) не функционален [88].

В локусе *Cf-5* обнаружены четыре гомолога, среди которых *Hcr2-5* *Cis*-соответствующий функциональный ген *Cf-5*. Локусы *Cf-4* и *Cf-9* содержат пять *Hcr9*. Они были сопоставлены с коротким плечом хромосомы 1. *Hcr 9-4D* и *Hcr 9-9C* содержат функциональные гены *Cf-4* и *Cf-9*, соответственно [95]. *Cf-4* и *Cf-9* имеют одинаковые С-концы, в то время как в их N-концевых частях обнаружена значительная степень расхождения последовательностей. Эта разница между *Cf-4* и *Cf-9* обуславливает специфику их распознавания [93].

Ген *Cf-10* придает устойчивость ко всем распространенным физиологическим расам *S. fulvum*. Он локализован на 1 хромосоме. Методом BSA были получены один маркер SSR и три маркера AFLP, связанные с геном *Cf-10* [96, 97].

Образцы томата с геном *Cf-12* показали хорошую устойчивость к нескольким расам *S. fulvum*. Данный ген картирован с использованием методов повторного секвенирования и BSA. Проводили тест на аллелизм для *Cf-12*, *Cf-5* и *Cf-9*. Результаты показали, что *Cf-12* является независимым геном устойчивости к *S. fulvum* [98].

В основе активности гена *Cf-13* против *S. fulvum* лежит его способность регулировать баланс гормонального ответа между жасмоновой и салициловой кислотами [86].

Ген *Cf-16* был картирован на 6 хромосоме между двумя маркерами TGS447 и TES312. Дальнейшее изучение, клонирование и характеристика этого гена могут ускорить его использование в маркерной селекции для выведения устойчивых форм томата к *S. fulvum* [99].

Растения томата, несущие ген *Cf-19*, характеризуются высокой устойчивостью к *S. fulvum* в полевых условиях. На сегодняшний день не зарегистрировано ни одного поражения для томата с этим геном. *Cf-19* был локализо-

ван на длинном плече хромосомы 2. Исследования показали, что *Cf-19* является доминирующим геном и индуцирует гиперчувствительность у растений томата, инокулированных *S. fulvum* физиологическими расами 1,2,3,4. Ген *Cf-19* может маскироваться под неполное доминирование, приводя к высокому уровню тяжести заболевания для некоторых гетерозиготных растений. Большая часть таких растений характеризуются как восприимчивые [93].

С целью выявления наличия генов *Cf* в генофонде томата разработаны и используются молекулярные маркеры 2-2C [100], *CF5* [101] и P7 [93].

Маркер 2-2C создан группой исследователей для идентификации локусов *Cf-2*, *Cf-5* и *Cf-6*. При амплификации ДНК томата данный маркер дает спектр продуктов, который позволяет выявить локусы *Cf-2* (1600 пн), *Cf-5* (750 пн) и *Cf-6* (550 пн) [100].

Молекулярный маркер *CF5* предложен в работе Диксона и коллег и создан для идентификации локусов *Cf-2* и *Cf-5* [101].

Маркер P7 позволяет идентифицировать ген *Cf-19* и является кодоминантным. Он разработан на основе вставки 60 п.н. в ген *Solyc01g006550.2.1-CGN18423*, идентифицированного у вида *S. lycopersicum*. Анализ последовательностей показал, что вставка присутствовала в области N-конца кодирования. Результаты поиска показали, что не было генов полностью гомологичных гену *Cf-19*. Это свидетельствует о том, что он является новым членом *Cf-4/9* локуса [93].

Заключение

Анализ отечественной и зарубежной литературы свидетельствует о том, что селекционные методы по-прежнему популярны в борьбе с болезнями томата. Современный уровень развития селекции расширяет круг стоящих перед исследователями проблем и выдвигает на первый план информированность о теоретических и практических достижениях, а также новейших разработках в области генетики, молекулярной биологии, физиологии растений, микробиологии и др. Для адекватного планирования и организации селекционной работы необходимо иметь представление о текущем состоянии вопроса в выбранной области.

В связи с этим, особую важность для получения генотипов, высокоустойчивых к болезням, приобретают современные сведения о разнообразии патогенов и их морфологических, генетических, физиологических особенностях, в том числе расовом составе; о наличии генов устойчивости к патогенам в генофонде исследуемой культуры, их картировании и возможности введения в геном из других источников; о разработанных маркерах целевых генов и локусов количественных признаков; о степени ассоциации междомолекулярным маркером и геном-мишенью; об особенностях наследования исследуемого признака, а также возможности пирамидирования R-генов и QTL в одном генотипе.

Для ускорения и повышения эффективности селекции на устойчивость к патогенам данные вопросы имеют большое значение. Их изучение усилит интеграцию современных биотехнологий с традиционным селекционным процессом, который осуществляется классическими методами.

• Литература (In Russ.)

2. Подвицкий Т.А., Галиновский Д.В., Тарутина Л.А. Источники устойчивости томатов (род *Lycopersicon*) к возбудителям хозяйственно значимых заболеваний. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук*. 2013;(4):45-49. EDN VJJAB.
3. Поликсенова В.Д. Микозы томата: возбудители, устойчивость растений. Минск: БГУ. 2008. 159 с. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/187844>
6. Аджиева В.Ф., Грушецкая З.Е., Малышев С.В., Некрашевич Н.А., Бабак О.Г., Кильчевский А.В. Создание комплекса ДНК-маркеров к генам томата, определяющим содержание каротиноидов и устойчивость к болезням и вредителям. *Современные тенденции в селекции и семеноводстве овощных культур. Традиции и перспективы. II Международная научно-практическая конференция (2-4 августа 2010 года). Материалы докладов, сообщений*. 2010;(2):47-59.
7. Гуркина Л.К. Исходный материал для селекции томатов на устойчивость к фитофторозу и другим пятнистостям листьев в условиях Нечерноземной зоны России. М., 1998.
9. Авдеев Ю.И., Авдеев А.Ю., Иванова Л.М. Создание наукоёмких селекционных доноров растений на примере томата. *Современные наукоёмкие технологии*. 2008;(3):45-45. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=23311>.
10. Авдеев Ю.И., Авдеев А.Ю., Иванова Л.М., Кигашпаева О.П. Биотехнология селекции растений на комбинаторику моногенных качественных и количественных признаков и перспективы ее развития в XXI веке. *Аграрный вестник Урала*. 2011;(2(81)):40-42. EDN PASYZ.
11. Авдеев А.Ю., Авдеев Ю.И., Иванова Л.М. Применение в селекции приемов получения семян томата из незрелых плодов. *Аграрный вестник Урала*. 2011;(8(87)):51. EDN PASSGH.
12. Авдеев Ю.И., Авдеев А.Ю., Иванова Л.М., Кигашпаева О.П. Устойчивость растений к болезням и вредителям - наиболее рациональный путь сохранения окружающей среды от загрязнения пестицидами и агрохимикатами. *Астраханский вестник экологического образования*. 2012;(1(19)):148-155. EDN PUQNK.
13. Hittalmani S., Parco A., Mew T.V., Zeigler R.S., Huang N. Fine mapping and DNA marker-assisted pyramiding of the three major genes for blast resistance in rice. *Theor Appl Genet*. 2000;100:1121-1128. DOI: 10.1007/s001220051395
15. Дьяков Ю.Т., Еланский С.Н. Популяционная генетика *Phytophthora infestans*. <http://kartofel.org/knigi/genet.pdf>
16. Бочарникова Н.И. Мутантный генофонд томата и его использование в селекционно-генетических исследованиях. *Информационный вестник ВОГус=Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2008;(12(4)):644-653. EDN KNWZUT.
18. Пивоваров В.Ф., Пышная О.Н., Шмыкова Н.А., Гуркина Л.К. Создание исходного материала овощных культур: идеи Н.И. Вавилова и современные технологии. *Сельскохозяйственная биология*. 2012;(47(5)):39-47. EDN PIFWSB.
20. Бирюкова В.А., Шмыгла И.В., Мелешин А.А., Митюшкин А.В., Мананков В.В., Абросимова С.Б. Изучение генетических коллекций ВНИИ картофельного хозяйства с помощью молекулярных маркеров. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(10):22-26. EDN WWRMV.
22. Балашова Н.Н. Устойчивость к фитофторе рода *Lycopersicon* Tourm. и способы его использования в селекции томатов. Кишинев, «Штиинка». 1979. 168 р.
26. Еланский С.Н. Особенности развития фитофтороза в России. *Защита картофеля*. 2015;(1):8-11. EDN VEJEU.
27. Бухарова А.Р., Бухаров А.Ф. Отдаленная гибридизация овощных пасленовых культур. Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2008. 274 с. ISBN 978-5-94664-149-4. EDN VRKTDJ.
60. Фесенко И.А., Куклев М.Ю., Карлов Г.И. Создание ДНК-маркера гена устойчивости томата к фузариозному увяданию. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2007;(1):66-72. EDN

HZDUSB.

72. Орина А.С., Ганнибал Ф.Б., МIRONENKO Н.В., Левитин М.М. Сравнительный анализ молекулярно-генетических и физиологических признаков *Alternaria solani* и *A. Tomatophila*. *Микология и фитопатология*. 2014;48(1):53-62. EDN RUIVWV.
76. Положенец В.М., Немерьевская Л.В., Журавская И.А. Идентификация рас возбудителя альтернариоза картофеля *Alternaria solani* в районах Полесья Украины. 2011. С. 1-6.
84. Салтанович Т.И., Антоц Л.П. Выявление устойчивых к альтернариозу генотипов томата методами пыльцевого анализа. *Вестник защиты растений*. 2016;3(89):147-149. EDN WYRDWL.
87. Шамрай С.Н. Гены устойчивости растений: молекулярная и генетическая организация, функция и эволюция. *Журнал общей биологии*. 2003;64(3):195-214. EDN OOCPT.
90. Поликсенова В.Д. Биоразнообразие в патосистеме "*Lycopersicon* (Tourm.) Mill. – *Cladosporium fulvum* Ске." *Достижения современной биологии и биологическое образование. Труды 2-й Международной научно-практической конференции*. Минск. 2002. С. 105-109. <https://elib.bsu.by/handle/123456789/165113>
92. Ерошевская А.С., Егорова А.А., Милукова Н.А., Пырских А.С. Идентификация аллелей гена *Cf-9* устойчивости к кладоспориозу у гибридов томата F₁ селекции Агрофирмы "Поиск". *Картофель и овощи*. 2021;(3):35-37. DOI 10.25630/PAV.2021.55.18.004. EDN IDGMRV.
94. Игнатова С.И. Роль наследственного потенциала устойчивости томатов в системе комплексной защиты в закрытом грунте. *Гавриш*. 2001;(6):18-20.
100. Грушецкая З.Е., Лемеш В.А., Поликсенова В.Д., Хотылева Л.В. Картирование локуса *Cf-6* устойчивости к кладоспориозу томата с помощью SSR-маркеров. *Генетика*. – 2007;43(11):1511-1516. EDN IBGTVJ.

• References

1. Alizadeh-Moghaddam G., Nasr-Esfahani M., Rezayatm and Z., Khozaei M. Genomic markers analysis associated with resistance to *Alternaria alternata* (fr.) Keissler – tomato pathotype, *Solanum lycopersicum* L. *Breeding Science*. 2022;72(4):285-296. DOI: 10.1270.jsbbs.22003.
2. Podvickij T.A., Galinovskij D.V., Tarutina L.A. Sources of resistance of tomato (genus *Lycopersicon*) to pathogens of economically significant diseases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*. 2013;(4):45-49. EDN VJJAB. (In Russ.)
3. Poliksenova V.D. Tomato mycoses: pathogens, plant resistance]. Minsk: BGU. 2008. 159 p. (In Russ.)
4. Segal G., Sarfatti M., Schaffer M.A., Ori N., Zamir D., Fluhr R. Correlation of genetic and physical structure in the region surrounding the I 2 *Fusarium oxysporum* resistance locus in tomato. *Molecular and General Genetics MGG*. 1992;231(2):179-185. DOI: 10.1007.BF00279789.
5. Avdeev A.Yu., Ivanova L.M., Kigashpaeva O.P. Plant breeding for the combinatorics of monogenes of qualitative traits and prospects for its development in the XXI century in connection with the discovery of the method of monohybrid genetic analysis of inheritance of quantitative traits. *Advances in current natural sciences*. 2011;(2):52-56. (In Russ.)
6. Adjieva V.F., Grushetskaya Z.E., Malyshev S.V., Nekrashevich N.A., Babak O.G., Kilchevsky A.V. Creation of a complex of DNA markers for tomato genes that determine the content of carotenoids and resistance to diseases and pests. *Current trends in vegetable breeding and seed production. Traditions and perspectives. IInd International Scientific Research Conference (August 02 – 04th2010). Proceedings of the meeting. VNISSOK*. 2010;(2):47-59. (In Russ.)
7. Gurkina L.K. Source material for tomato breeding for resistance to late blight and other leaf spots in the conditions of the Non-Chernozem zone of Russia. M., 1998. (In Russ.)
8. Ulanova T.I., Elansky S.N., Filippov A.V., D'yakov Yu.T., Apryshko V.P., Kozlovskij B.E., Smirnov A.N., Koffej M.D. Resistance to Late

- Blight of Some Promising Lines of *Lycopersicon hirsutum*. *Journal of Russian Phytopathological Society*. 2003;(4):9-15. (In Russ.)
9. Avdeev Yu.I., Avdeev A.Yu., Ivanova L.M. Creation of high-tech plant breeding donors on the example of tomato. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii*. 2008;(3):45-45. (In Russ.)
 10. Avdeev Yu.I., Avdeev A.Yu., Ivanova L.M. Biotechnology of plant breeding on the combinatorics of monogenic qualitative and quantitative traits and prospects for its development in the XXI century]. *Agrarian bulletin of the Urals*. 2011;2(81):40-42. EDN PASYZR. (In Russ.)
 11. Avdeev A.YU., Avdeev YU.I., Ivanova L.M., Kigashpaeva O.P. [Application in breeding techniques for obtaining seeds from immature fruits. *Agrarian bulletin of the Urals*. 2011;8(87):51. EDN PASSGH. (In Russ.)
 12. Avdeyev Yu.I., Avdeyev A.Yu., Ivanova L.M., Kigashpaeva O.P. Plant resistance to illnesses and pests are most rational way of keeping invironment from contemination by poisons and agrochemical substances. *Astrakhan bulletin of ecological education*. 2012;19(1):148-155. (In Russ.)
 13. Hittalmani S., Parco A., Mew T.V., Zeigler R.S., Huang N. Fine mapping and DNA marker-assisted pyramiding of the three major genes for blast resistance in rice. *Theor Appl Genet*. 2000;100:1121-1128. DOI: 10.1007.s001220051395
 14. Chitwood-Brown J., Vallad G. E., Lee T. G., Hutton S. F. Breeding for resistance to fusarium wilt of tomato: A review. *Genes*. 2021;12(11):1673.
 15. Dyakov Yu.T., Elanskij S.N. Population genetics of *Phytophthora infestans*. *Uspekhi medicinskoj mikologii*. T.1. M.: Nacional'naya akademiya mikologii. 2007. P.107-139. (In Russ.)
 16. Bocharnikova N.I. Mutant tomato gene pool and its use in genetic and breeding programs. *Vavilov journal of genetics and breeding*. 2008;12(4):644-653. EDN KNWZUT. (In Russ.)
 17. Foolad M.R., Sharma A. Molecular markers as selection tools in tomato breeding. *Acta Hort*. 2005;695:225-240. DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.695.25.
 18. Pivovarov V.F., Pyshnaya O.N., Shmykova N.A., Gurkina L.K. Formation of initial material of vegetable crops: N.I. Vavilov's ideas and modern technologies. *Agricultural biology*. 2012;47(5):39-47. (In Russ.)
 19. Wang Y.Y., Chen C.H., Hoffmann A., Hsu Y.C., Lu S.F., Wang J.F., Hanson P. Evaluation of the Ph-3 gene specific marker developed for marker assisted selection of late blight resistant tomato. *Plant Breeding*. 2016;135(5):636-642. DOI: 10.1111.pbr.12395.
 20. Biryukova V.A., Shmyglya I.V., Meleshin A.A., Mitushkin A.V., Manankov V.V., Abrosimova S.B. Study of genetic collections of the All-Russian research institute of potato farming by means of molecular markers. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2016;30(10):22-26. EDN WWRMVF. (In Russ.)
 21. Foolad M.R., Merk H.L., Ashrafi H. Genetics, genomics and breeding of late blight and early blight resistance in tomato. *Crit Rev Plant Sci*. 2008;27:75-107. DOI:10.1080.07352680802147353
 22. Balashova N.N. *Phytophthora* resistance of the genus *Lycopersicon* Tourn. and methods of using it in tomato breeding. Kishinev, «Shtiinca».1979. 168 p. (In Russ.)
 23. Arafa R.A., Kamel S.M., Taher D.I., Solberg S.Q., Rakha M.T. Leaf Extracts from Resistant Wild Tomato Can Be Used to Control Late Blight (*Phytophthora infestans*) in the Cultivated Tomato. *Plants*. 2022;11 (14):1824.
 24. Nowicki V., Foolad M. R. Potato and tomato Late Blight caused by *Phytophthora infestans*: an overview of pathology and resistance breeding. *Plant Disease*. January 2012;96(1):4-17. DOI:10.1094.PDIS-05-11-0458.
 25. Zhi X., Shu J., Zheng Z., Li T., Sun X., Bai J., Li J. Fine mapping of the Ph-2 gene conferring resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) in tomato. *Plant Disease*. 2021;105(4):851-858. DOI: 10.1094.PDIS-03-19-0679-RE.
 26. Elanskij S.N. Features of late blight development in Russia]. *Potato protection*. 2015;(1):8-11. EDN VEJEUV. (In Russ.)
 27. Buharova A.R., Buharov A.F. Distant hybridization of vegetable nightshade crops. Michurinsk, 2008. 274 p. ISBN 978-5-94664-149-4. EDN VRKTDJ. (In Russ.)
 28. Pandey A.K., Dinesh K., Nirmala N.S., Kumar A., Chakraborti D., Bhattacharyya A. Insight into tomato plant immunity to necrotrophic fungi. *Current Research in Biotechnology*. 2023;100144. DOI: 10.1016/j.crbiot.2023.100144.
 29. Brouwer D.J., St. Clair D.A. Fine mapping of three quantitative trait loci for late blight resistance in tomato using near isogenic lines (NILs) and sub-NILs. *Theoretical and Applied Genetics*. 2004;108:628-638.
 30. Choi C., Hwang S.H., Fang I.R., Kwon S.I., Park S.R., Ahn I., Hwang D.J. Molecular characterization of *Oryza sativa* WRKY 6, which binds to W-box-like element 1 of the *Oryza sativa* pathogenesis-related (PR) 10a promoter and confers reduced susceptibility to pathogens. *New Phytologist*. 2015;21(2):136-136. DOI:10.1111/nph.13516.
 31. Lee J.M., Oh C.S., Yeam I. Molecular markers for selecting diverse disease resistances in tomato breeding programs. *Plant Breeding and Biotechnology*. 2015;3(4):308-322. DOI: 10.9787/PBB.2015.3.4.308.
 32. Park Y., Hwang J., KimK., Kang J., Kim B., Xu S., Ahn Y. Development of the gene-based SCARs for the Ph-3 locus, which confers late blight resistance in tomato. *Scientia Horticulturae*. 2013;164:9-16. DOI: 10.1016/j.scienta.2013.08.013.
 33. Chunwongse J., Chunwongse C., Black L., Hanson P. Molecular mapping of the Ph-3 gene for late blight resistance in tomato. *J. Hort. Sci. Biotechnol*. 2002;77:281-286. DOI: 10.1080.14620316.2002.11511493.
 34. Francis D.M., Robbins M.D., Panthee D.R., Gardner R.G., Stevens M.R. Marker assisted selection for coupling phase resistance to tomato spotted wilt virus and late blight in tomato: U.S. Patent Application. No. 12869345. 2012.
 35. Mutschler M.A., Zitter S.M., De Jong D.M., Zitter T.A. Combined control of late blight, early blight, and Septoria leaf spot in fresh market tomato through genetic control and supplemental sprays. *Phytopathology*. 2013;103(6):101-101.
 36. Ozores-Hampton M., Roberts P. Late Blight-Resistant Tomato Varieties Evaluation. *Florida tomato institute program*. 2014. P.11.
 37. Chunwongse J, Chunwongse C, Black L.L, Hanson P.M. Mapping of the Ph3 gene for late blight from *L. pimpinellifolium* L3708. *Rep Tomato Genet Coop*. 1998;48:963-971.
 38. Jung J., Kim H. J., Lee J. M., Oh C. S., Lee H. J., Yeam I. Gene-based molecular marker system for multiple disease resistances in tomato against Tomato yellow leaf curl virus, late blight, and verticillium wilt. *Euphytica*. 2015;205(2):599-613. DOI: 10.1007.s10681-015-1442-z.
 39. Smart C.D, Tanksley S.D, Mayton H., Fry W.E. Resistance to *Phytophthora infestans* in *Lycopersicon pennellii*. *Plant Dis*. 2007;91:1045-1049. DOI:10.1094.PDIS-91-8-1045.
 40. Robbins M.D., Masud M.A., Panthee D.R., Gardner R. G., Francis D.M., Stevens, M.R. Marker-assisted selection for coupling phase resistance to tomato spotted wilt virus and *Phytophthora infestans* (late blight) in tomato. *Hort Science*. 2010;45(10):1424-1428. DOI: 10.21273.HORTSCI.45.10.1424.
 41. Panthee D.R., Gardner R.G., Ibrahem R., Anderson C. Molecular markers associated with Ph-3 gene conferring late blight resistance in tomato. *American Journal of Plant Sciences*. 2015;6(13):2144. DOI: 10.4236/ajps.2015.613216.
 42. Ren Z., You Z., Munir S., Zhang Y., Li H., Zhang J., Ye Z. Development of a highly specific co-dominant marker for genotyping the Ph-3 (tomato late blight resistance) locus by comparing cultivated and wild ancestor species. *Molecular Breeding*. 2019;39:1-8.DOI: 10.1007.s11032-019-0953-z.
 43. Truong H.T.H., Tran H.N., Choi H.S., Park P. H., Lee H.E. Development of a co-dominant SCAR marker linked to the Ph-3 gene for *Phytophthora infestans* resistance in tomato (*Solanum lycopersicum*).

- European journal of plant pathology*. 2013;136:237-245. DOI: 10.1007/s10658-012-0157-4.
44. Deb S., Della Lucia M. C., Ravi S., Bertoldo G., Stevanato P. Transcriptome-Assisted SNP Marker Discovery for *Phytophthora infestans* Resistance in *Solanum lycopersicum* L. *International journal of molecular sciences*. 2023;24(7): 6798. DOI 10.3390.ijms24076798.
 45. Merk H.L., Ashrafi H., Foolad M.R. Selective genotyping to identify late blight resistance genes in an accession of the tomato wild species *Solanum pimpinellifolium*. *Euphytica*. 2012;187:63–75. DOI: 10.1007/s10681-012-0729-6.
 46. Hanson P.M., Bernacchi D., Green S., Tanksley S.D., Muniyappa V., Padmaja V.M., Padmaja A.S., Chen H., Kuo G., Fang D., Chen J. Mapping a wild tomato introgression associated with tomato yellow leaf curl virus resistance in a cultivated tomato line. *J. Am Soc Hortic Sci*. 2000;125:15–20. DOI: 10.21273.JASHS.125.1.15
 47. Li J., Liu L., Bai Y., Finkers R., Wang F., Du Y., Yang Y., Xie B., Visser RGF, van Heusden A.W. Identification and mapping of quantitative resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) in *Solanum habrochaites* LA1777. *Euphytica*. 2011;179:427–437. DOI: 10.1007/s10681-010-0340-7.
 48. Ji H. M., Mao H. Y., Li S. J., Feng T., Zhang Z. Y., Cheng L., Ouyang S. Q., Fol-milR1, a pathogenicity factor of *Fusarium oxysporum*, confers tomato wilt disease resistance by impairing host immune responses. *New Phytologist*. 2021;232(2):705-718. DOI: 10.1111.nph.17436.
 49. Lievens B., Rep M., Thomma B.P.H.J. Recent developments in the molecular discrimination of formaespeciales of *Fusarium oxysporum*. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*. 2008;64(8):781-788. DOI: 10.1002.ps.1564.
 50. Mohtar C.A., Atamian H.S., Dagher R.B., Abou-Jawdah Y., Salus M.S., Maxwell D.P. Marker-assisted selection of tomato genotypes with the I-2 gene for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 2. *Plant disease*. 2007;91(6):758-762. DOI: 10.1094.PDIS-91-6-0758.
 51. Mes J.J., Van Doorn A.A., Wijbrandi J., Simons G., Cornelissen B.J.C. and Haring M.A. Expression of the *Fusarium* resistance gene I-2 colocalizes with the site of fungal containment. *Plant J*. 2000;23:183–194. DOI: 10.1046/j.1365-313x.2000.00765.x
 52. Ori N., Eshed Y., Paran I., Presting G., Aviv D., Tanksley S., Zamir D. Fluhr, R. The I2 family from the wilt disease resistance locus I-2 belongs to the nucleotide binding, leucine-rich repeat superfamily of plant resistance genes. *Plant Cell*. 1997;9:521–532. DOI: 10.1105.tpc.9.4.521.
 53. Simons G., Groenendijk J., Wijbrandi J. Dissection of the *Fusarium* I-2 gene cluster in tomato reveals six homologs and one active gene copy. *Plant Cell*. 1998;10:1055–1068. DOI: 10.1105.tpc.10.6.1055.
 54. Bournival B.L., Vallejos C.E., Scott J.W. Genetic analysis of resistances to races 1 and 2 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* from the wild tomato *Lycopersi conpennellii*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1990;79(5):641-645.
 55. Vossen J.H., Vries K.J., Wees S., Tameling W.I., Dekker H.L., Cornelissen B.J. Heat shock protein 90 and its cochaperone protein phosphatase 5 interact with distinct regions of the tomato I-2 disease resistance protein. *The Plant Journal*. 2005;43(2):284-298. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02450.x.
 56. Lievens B., Houterman P.M., Rep M. Effector gene screening allows unambiguous identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* races and discrimination from other formaespeciales. *FEMS microbiology letters*. 2009;300(2):201-215. DOI: 10.1111/j.1574-6968.2009.01783.
 57. Catanzariti A.M., Lim G. T. T., Jones D. A. The tomato I-3 gene: a novel gene for resistance to fusarium wilt disease. *New Phytologist*. 2015;207(1):106-118. DOI: 10.1111.nph.13348.
 58. Gonzalez-Cendales Y., Catanzariti A. M., Baker B., Mcgrath D. J., Jones D. A. Identification of I-7 expands the repertoire of genes for resistance to fusarium wilt in tomato to three resistance gene classes. *Molecular Plant Pathology*. 2016;17(3):448-463. DOI 10.1111.mpp.12294. DOI: 10.1111.mpp.12294.
 59. Li J., Chitwood-Brown J., Kaur G., Labate J. A., Vallad G. E., Lee T. G., Hutton S. F. Novel sources of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 among *Solanum pennellii* accessions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2022;147(1):35 - 44. DOI: 10.21273.JASHS05080-21.
 60. Fesenko I.A., Kuklev M.Yu., Karlov G.I. DNA-marker of resistance gene to vascular wilt (*Fusarium*) creation. *Izvestiya of Timiryazev agricultural academy*. 2007;(1):66-72. EDN HZDUSB. (In Russ.)
 61. Scott J.W., Agrama H.A., Jones J.P. RFLP-based analysis of recombination among resistance genes to *fusarium* wilt races 1, 2, and 3 in tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2004;129(3):394-400. DOI: 10.21273.HORTSCI.39.4.868E.
 62. Sarfatti M., Katan J., Fluhr R., Zamir D. An RFLP marker in tomato linked to the *Fusarium oxysporum* resistance gene I2. *Theoretical and Applied Genetics*. 1989;78(5):755-759. DOI: 10.1007/BF00262574.
 63. Tameling W.I., Elzinga S.D., Darmin P.S., Vossen J.H., Takken F.L., Haring M.A., Cornelissen B.J. The tomato R gene products I-2 and MI-1 are functional ATP binding proteins with ATP ase activity. *The Plant Cell*. 2002;14(11):2929-2939. DOI: 10.1105.tpc.005793.
 64. Arens P., Mansilla C., Deinum D., Cavellini L., Moretti A., Rolland S., Vosman B. Development and evaluation of robust molecular markers linked to disease resistance in tomato for distinctness, uniformity and stability testing. *Theoretical and applied genetics*. 2010;120:655-664. DOI: 10.1007.s00122-009-1183-2.
 65. Li J., Chitwood J., Menda N., Mueller L., Hutton S. F. Linkage between the I-3 gene for resistance to fusarium wilt race 3 and increased sensitivity to bacterial spot in tomato. *Theoretical and applied genetics*. 2018;131:145-155. DOI: 10.1007.s00122-017-2991-4
 66. Chitwood-Brown J., Vallad G.E., Lee T.G. Characterization and elimination of linkage-drag associated with fusarium wilt race 3 resistance genes. *Theor Appl Genet*. 2021;134:2129–2140.
 67. Staniaszek M., Kozik E.U., Marczewski W. A CAPS marker TAO1902 diagnostic for the I-2 gene conferring resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 2 in tomato. *Plant Breeding*. 2007;126(3):331-333. DOI: 10.1111.j.1439-0523.2007.01355.x.
 68. Kawicha P., Tongyoo P., Wongpakdee S., Rattanapolsan L., Duangjit J., Chunwongse J., Thanyasiriwat T. Genome-wide association study revealed genetic loci for resistance to fusarium wilt in tomato germplasm. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2023;23:P e43532311.DOI:10.1590.1984-70332023v23n1a1.
 69. Pavón M.Á., Gonzalez I., Rojas M., Pegels N., Martin R., Garcia, T. PCR detection of *Alternaria* spp. in processed foods, based on the internal transcribed spacer genetic marker. *Journal of food protection*. 2011;74(2):240-247. DOI:10.4315.0362-028X.JFP-10-110.
 70. Bessadat N., Berruyer R., Hamon B. *Alternaria* species associated with early blight epidemics on tomato and other Solanaceae crops in northwestern Algeria. *Eur J Plant Pathol*. 2017;148:181-197.DOI: 10.1007/s10658-016-1081-9.
 71. Schmey T., Small C., Einspanier S., HoyozL. M., Ali T., Gamboa S., Stam R. Small spored *Alternaria* spp. (section *Alternaria*) are common pathogens on wild tomato species. *Environmental Microbiology*. 2023;25(10):1830-1846. DOI:10.1111.1462-2920.16394.
 72. Orina A.S., Gannibal F.B., Mironenko N.V., Levitin M.M. Comparative analysis of molecular genetic and physiological characteristics of *Alternaria solani* and *A. tomatophila*. *Mycology and phytopathology*. 2014;48(1):53-62. EDN RUIVWV. (In Russ.)
 73. Adhikari P., Oh Y., Panthee D. R. Current status of early blight resistance in tomato: an update. *International journal of molecular sciences*. 2017;18(10): 2019. DOI: 10.3390.ijms18102019.
 74. Chaerani R., Voorrips R. E. Tomato early blight (*Alternaria solani*): the pathogen, genetics, and breeding for resistance. *Journal of general plant pathology*. 2006;72:335-347.DOI:10.1007.s10327-006-0299-3.
 75. Chaerani R., Smulders M. J. M., Van Der Linden C. G., Vosman B., StamP., Voorrips R. E.. QTL identification for early blight resistance (*Alternaria solani*) in a *S. lycopersicum* × *S. Arcanum*. *Theoretical and applied genetics*. 2007;114: 439-450.DOI:10.1007.s00122-006-0442-8.
 76. Polozhenets V.M., Nemerevskaya L.V., Zhuravskaya I.A. Identification of races of the causative agent of *Alternaria* potato blight *Alternaria solani*

- in the Polesie regions of Ukraine. 2011. 1-6 p. (In Ukraine)
77. Spassieva S.D., Markham J.E., Hille J. The plant disease resistance gene *Asc-1* prevents disruption of sphingolipid metabolism during AAL-toxin-induced programmed cell death. *The Plant Journal*. 2002;32(4):561-572. DOI:10.1046/j.1365-3113X.2002.01444.x.
 78. Andersen B., Dongo A., Pryor B. M. Secondary metabolite profiling of *Alternaria riadauci*, *A. porri*, *A. solani*, and *A. tomatophila*. *Mycological Research*. 2008;112(2): 241-250. DOI: 10.1016/j.mycres.2007.09.004.
 79. Brandwagt B.F. A longevity assurance gene homolog of tomato mediates resistance to *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici* toxins and fumonisin B1. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2000; 97(9):4961-4966. DOI: 10.1073.pnas.97.9.496.
 80. Adhikari T.B., Siddiqi M., Lawes F.J., Sim S.S., Hinges D.R. Molecular mapping of loci of quantitative signs of resistance to late blight of tomatoes. *Frontiers of plant science*. 2023;14:1135884. DOI: 10.3389.fpls.2023.1135884.
 81. Moghaddam G.A., Rezayatmand Z., Esfahani M.N., Khozaei M. Genetic defense analysis of tomatoes in response to early blight disease, *Alternaria alternata*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019;142:500-509. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.08.011.
 82. Rao E.S., Munshi A.D., Desh P., Madhav M.S. RAPD-markers of resistance to *Alternaria solani* (early late blight) in cultivated tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2007;82(4):513-520. DOI:10.1080.14620316.2007.11512267.
 83. Alizadeh-Moghaddam G., Rezayatmand Z., Proza-Isfahani M., & Proza, M. Bio-genetic analysis of the installation of volumes to early late blight, *Alternaria alternata*. *Phytochemistry*. 2020;179:112486. DOI: 10.1016/j.phytochem.2020.112486.
 84. Saltanovich T.I., Antoci L.P. Detection of resistant to *alternaria* tomato genotypes by pollen analysis methods. *Plant protection news*. 2016;3(89):147-149. EDN WYRDWL. (In Russ.).
 85. Hammond-Kosack K.E., Jones J.D.G. Disease resistance gene-dependent plant defence mechanisms. *Plant Cell*. 1996;8(10):1773-1791. DOI: 10.1105.tpc.8.10.1773
 86. Jiang X., Li Y., Li R., Gao Y., Liu Z., Yang H., Xu X. Transcriptome analysis of the *Cf-13*-mediated hypersensitive response of tomato to *Cladosporium fulvum* infection. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(9):4844. DOI: 10.3390.ijms23094844.
 87. Shamraj S.N. Plant resistance genes: molecular and genetic organization, function and evolution. *Journal of general biology*. 2003;64(3):195-214. EDN OOCFFT. (In Russ.).
 88. Dixon M.S., Jones D.A., Keddie J.S., Thomas C.M., Harrison K., Jones J.D. The tomato *Cf-2* disease resistance locus comprises two functional genes encoding leucine-rich repeat proteins. *The Plant Cell*. 1996;8(4):451-459. DOI: 10.1016.S0092-8674(00)81290-8. DOI: 10.1016.S0092-8674(00)81290-8.
 89. De Wit P. J.G.M., Joosten M.H.A.J. Avirulence and resistance genes in the *Cladosporium fulvum* – tomato interaction. *Curr. Opin. Microb.* 1999;2(4):368-373. DOI: 10.1016.S1369-5274(99)80065-4.
 90. Poliksenova V.D. Biodiversity in the pathosystem "Lycopersicon (Tourn.) Mill. – *Cladosporium fulvum* Cke. *Dostizheniya sovremennoj biologii i biologicheskoe obrazovanie*. Minsk. 2002. P.105-109. (In Russ.).
 91. Wang A., Meng F., Xu X., Wang Y., Li J. Development of molecular markers linked to *Cladosporium fulvum* resistant gene *Cf-6* in tomato by RAPD and SSR methods. *HortScience*. 2007;42(1):11-15. DOI: 10.21273.HORTSCI.42.1.11.
 92. Eroshevskaya A.S., Egorova A.A., Milyukova N.A., Pyrsikov A.S. Identification of *Cf-9* gene alleles of resistance to leaf mold in *f1* tomato hybrids bred by Poisk agrofirma. *Potato and vegetables*. 2021;(3):35-37. DOI 10.25630/PAV.2021.55.18.004. EDN IDGMRV. (In Russ.).
 93. Zhao T., Jiang J., Liu G. Mapping and candidate gene screening of tomato *Cladosporium fulvum* – resistant gene *Cf-19*, based on high-throughput sequencing technology. *BMC Plant Biol*. 2016;16:51. DOI:10.1186.s12870-016-0737-0.
 94. Ignatova S.I. The role of the hereditary resistance potential of tomatoes in the system of complex protection in the closed ground. *Gavrish*. 2001;(6):18-20. (In Russ.).
 95. Westerink N., Brandwagt B.F., De Wit P.J.G.M., Joosten M.H.A.J. *Cladosporium fulvum* circumvents the second functional resistance gene homologue at the *Cf-4* locus (*Hcr9-4E*) by secretion of a stable *avr4E* isoform. *MolMicrobiol*. 2004; 54: 533–545. DOI:10.1111.j.1365-2958.2004.04288.x.
 96. Ning L., Jing-bin J., Jing-fu L., Xiang-yang X. Development of molecular marker linked to *Cf-10* gene using SSR and AFLP method in tomato. *Journal of Northeast Agricultural University (English Edition)*. 2012;19(4):30-36. DOI:10.1016.S1006-8104(13)60047-1.
 97. Liu G., Zhao T., You X., Jiang J., Li J., Xu X. Molecular mapping of the *Cf-10* gene by combining SNP, InDel-index and linkage analysis in tomato (*Solanum lycopersicum*). *BMC plant biology*. 2019;19(1):1-11. DOI:10.1186.s12870-018-1616-7. DOI:10.1186.s12870-018-1616-7.
 98. Chai X., Xu X., Wang D., Xue D., Li J. Mapping and candidate gene screening of *Cladosporium fulvum* resistance gene *Cf-12* in tomato (*Solanum lycopersicum*) by high-throughput sequencing. *Plant Breeding*. 2020;139(5): 977-987. DOI: 10.1111.pbr.12852.
 99. Zhang D., Li H., Liu G., Xie L., Feng G., Xu X. Mapping of the *Cladosporium fulvum* resistance gene *Cf-16*, a major gene involved in leaf mold disease in tomato. *Frontiers in Genetics*. 2023;14:1219898. DOI: 10.3389.fgene.2023.1219898.
 100. Grushechkaya Z.E., Lemesh V.A., Poliksenova V.D., Hotyleva L.V. Mapping of the *Cf-6* locus of resistance to tomato *cladosporiosis* using SSR markers. *Genetika*. 2007;43(11):1511-1516. EDN IBGTJVJ. (In Russ.).
 101. Dixon M.S., Hatzixanthis K., Jones D.A., Harrison K., Jones J.D. The tomato *Cf-5* disease resistance gene and six homologs show pronounced allelic variation in leucine-rich repeat copy number. *The Plant Cell*. 1998;10(11):1915-1925. DOI: 10.1105.tpc.10.11.1915. DOI: 10.1105.tpc.10.11.1915.
 102. Takken F., Rep M. The arms race between tomato and *Fusarium oxysporum*. *Molecular plant pathology*. 2010;11(2):309-314. DOI:10.1111.j.1364-3703.2009.00605.x.

Об авторах:

Марина Витальевна Маслова – научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетического анализа плодовых растений, кандидат сельскохозяйственных наук, <https://orcid.org/0000-0002-5400-5937>, SPIN: 1343-5655, Researcher ID E-4506-2015, автор для переписки, marinamaslova2009@mail.ru

Иван Николаевич Шамшин – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярно-генетического анализа плодовых растений, <https://orcid.org/0000-0002-4464-1876>, Scopus ID 56708633300, Researcher ID AAZ-9047-2021

Екатерина Владимировна Грошева – научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-6992-2407>, Researcher ID AAA7122-2020

Алексей Сергеевич Ильичев – аспирант кафедры садоводства, биотехнологий и селекции сельскохозяйственных культур, <https://orcid.org/0000-0001-9203-9217>

About the Authors:

Marina V. Maslova – Cand. Sci. (Agriculture), Researcher of the Laboratory of Molecular Genetic Analysis of Fruit Plants, <https://orcid.org/0000-0002-5400-5937>, SPIN: 1343-5655, ResearcherID E-4506-2015, Correspondence, marinamaslova2009@mail.ru

Ivan N. Shamshin – Cand. Sci. (Biology), the Head of the Laboratory of the Molecular and Genetic Analysis of Fruit Plants, <https://orcid.org/0000-0002-4464-1876>, Scopus ID 56708633300, Researcher ID AAZ-9047-2021

Ekaterina V. Grosheva – Researcher of the Laboratory of Molecular Genetic Analysis of Fruit Plants, <https://orcid.org/0000-0001-6992-2407>, Researcher ID AAA7122-2020

Aleksey S. Ilyichev – Post-Graduate Student of the Department of Horticulture, Biotechnology and Crop Breeding, <https://orcid.org/0000-0001-9203-9217>

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-40-46>
УДК 635.652.1:631.526.32:001.8

Е.В. Панкратская, В.В. Скорина*

УО «Белорусская государственная Орден
Октябрьской Революции и Трудового Красного
Знамени сельскохозяйственная академия»
213410, Беларусь, Могилевская обл.,
г. Горки, ул. Мичурина, 5

*Автор для переписки: skorina@list.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют
об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в
написании статьи, прочитали и согласились с
опубликованной версией рукописи.

Для цитирования: Панкратская Е.В.,
Скорина В.В. Использование электрофоретического
анализа для определения полиморфности сортов
фасоли овощной. *Овощи России*.
2023;(6):40-46. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-40-46>

Поступила в редакцию: 02.06.2023

Принята к печати: 21.09.2023

Опубликована: 04.12.2023

Evgenia V. Pankrutskaaya, Vladimir V. Skorina*

Belarusian State Agricultural Academy
5, st. Michurina, Gorki, Mogilev region,
213410, Belarus

*Corresponding Author: skorina@list.ru

Conflict of interest. The authors declare that there
are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in
the analysis of materials, writing the text of the
article and forming conclusions.

For citation: Pankrutskaaya E.V., Skorina V.V.
The use of electrophoretic analysis to determine
the polymorphism of vegetable bean varieties.
Vegetable crops of Russia. 2023;(6):40-46. (In
Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-40-46>

Received: 25.09.2023

Accepted for publication: 09.10.2023

Published: 04.12.2023

Использование электрофоретического анализа для определения полиморфности сортов фасоли овощной

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В Беларуси ранее не проводилось полноценных исследований по идентификации видового разнообразия, выявления форм фасоли овощной, обладающих сходным генетическим разнообразием. Цель исследований – определение числа и соотношения биотипов, выявление уровня генетического полиморфизма у сортов фасоли овощной методом электрофореза запасных белков.

Материалы и методика. Исследования проводили в УО БГСХА в 2021–2022 годах на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Опыт заложен с использованием общепринятых методик и методических указаний. Объектами исследований являлись 42 сорта фасоли овощной (34 – кустовая форма) и (8 – вьющаяся) белорусской и российской селекции. Анализ запасных белков семян у сортов фасоли овощной и идентификация спектров осуществлялись по методикам. Для оценки дифференцирующих позиций (зон) спектра, идентификации белковых компонентов, оценки молекулярных масс белков использовались стандартные маркер-растворы белков «Thermo Scientific» – Unstained Protein Ladder (диапазон 5–112 кДа, число идентифицируемых белков – 11).

Результаты. Выявлены отличия между генотипами между собой по внутреннему генетическому разнообразию и элементам белкового спектра глобулинов. Установлено, что сорта фасоли овощной характеризуются скрытой генетической изменчивостью и определенным уровнем полиморфности с различным количеством биотипов в структуре сортовой популяции. У 60% проанализированных форм наблюдается прямая зависимость между проявлением редких, селекционно-значимых компонентов и степенью усложнения суммарного компонентного состава белкового спектра. Данный критерий имеет практическое значение и может быть использован в селекционной работе с культурой фасоли овощной.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

фасоль овощная, электрофорез, биотип, запасные белки, белковый компонент



The use of electrophoretic analysis to determine the polymorphism of vegetable bean varieties

Abstract

Relevance. In Belarus, no full-fledged studies have previously been carried out to identify species diversity, to identify forms of vegetable beans that have similar genetic diversity. The purpose of the research is to determine the number and ratio of biotypes, to identify the level of genetic polymorphism in vegetable bean varieties by electrophoresis of storage proteins.

Materials and Methods. The research was carried out at the BSAA in 2021–2022 on soddy-podzolic medium loamy soil. The experience was based on generally accepted methods and guidelines. The objects of research were 42 varieties of vegetable beans (34 - bush form) and (8 - climbing) of Belarusian and Russian selection. Analysis of seed storage proteins in vegetable bean varieties and identification of spectra were carried out according to the methods. To assess the differentiating positions (zones) of the spectrum, identify protein components, and estimate the molecular masses of proteins, standard marker solutions of proteins “Thermo Scientific” – Unstained Protein Ladder (range 5–112 kDa, number of identified proteins – 11) were used.

Results. Differences between genotypes were revealed in internal genetic diversity and elements of the protein spectrum of globulins. It has been established that vegetable bean varieties are characterized by hidden genetic variability and a certain level of polymorphism with a different number of biotypes in the structure of the varietal population. In 60% of the analyzed forms, there is a direct relationship between the manifestation of rare, selection-significant components and the degree of complexity of the total component composition of the protein spectrum. This criterion has practical significance and can be used in breeding work with the vegetable bean crop.

KEYWORDS:

vegetable beans, electrophoresis, biotype, storage proteins, protein component

Введение

Зернобобовые культуры, имея огромный потенциал продуктивности, доступнее и дешевле, являются полноценными источниками растительного белка, способного накапливаться в больших количествах в семенах и зеленой массе. Важное место занимает фасоль овощная [1, 2].

В настоящее время используемые сорта фасоли овощной, как правило, являются сортами-популяциями с довольно сложной внутренней генетической структурой, включающей несколько биотипов, характеризующихся одинаковым фенотипическим выражением.

В процессе создания сорта проводится отбор биотипов со сходной нормой реакции в условиях определенного региона, где был выведен сорт. При переносе сорта в другой регион, с сильно отличающимся комплексом экологических условий, сортовая популяция приобретает определенные изменения [3, 4, 5, 6].

Наличие и соотношение биотипов сорта обусловлено конкретно реализацией генетической природы сорта в определенном ареале возделывания. Варьирование в соотношении биотипов может распространяться и на типичный, что сопряжено с переориентацией сортовых формул [4, 8].

Даже у районированного сорта существует определенная доля риска, когда под воздействием новых различных факторов (например, погодных условий) определенные ценные биотипы сорта могут исчезать. Многолетние исследования ряда ученых показали, что в процессе репродуцирования сорт теряет отдельные биотипы, а при 30-летнем использовании приобретает такой биотипный состав, в котором сложно отыскать исходный [10, 11].

Оценка внутренней генетической конституции сорта является особенно важной при репродуцировании семян в контрастных агроклиматических условиях. Проявляющаяся в изменении ряда морфологических признаков разнокачественность семян традиционно оценивается по фенотипу растений. Вместе с тем, не всегда оценка и контроль, основанные на анализе визуальных фенотипических признаков растений, может дать объективный результат в отношении действительной внутренней разнокачественности, проявляемой на уровне разной генетической конституции и представленности биотипов сорта. В большей степени именно этим определяется необходимость и интерес к изучению внутрисортного полиморфизма и ценности биотипов сортов фасоли на основе использования стандартизированных методов контроля внутренней изменчивости сортовой популяции наиболее приближенных к уровню генотипа [11, 12].

Применение метода электрофореза белков позволяет выявить структуру сорта – количество биотипов, его составляющих, и их процентное соотношение; проследить изменения, влияющие на число и соотношение биотипов при выращивании в разных зонах; выявить факторы, направленные на закрепление и преобладающее воспроизведение отдельных биотипов.

Цель исследований – определение числа и соотношения биотипов, выявление уровня генетического полиморфизма у сортов фасоли овощной методом электрофореза запасных белков.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на опытном поле кафедры плодовоовощеводства УО БГСХА в 2021–2022 гг. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Опыт заложен в трехкратной повторности с использованием общепринятых методик и методических указаний [12, 13].

Объектами исследований являлись 42 сорта фасоли овощной (34 – кустовая) и (8 – вьющаяся форма) белорусской и российской селекции.

Анализ запасных белков семян у сортов фасоли овощной и идентификация спектров осуществлялись по методикам «Идентификация сортов и регистрация генофонда культурных растений по белкам семян». Санкт-Петербург, 2000 г. Раздел 3.1. «Идентификация и регистрация сортов бобовых электрофорезом запасных белков»; «Международные правила контроля качества семян. 1996». ISTA, Цюрих, Швейцария, 1996 г.

Для оценки дифференцирующих позиций (зон) спектра, идентификации белковых компонентов, оценки молекулярных масс белков использовались стандартные маркер-растворы белков «Thermo Scientific»-Unstained Protein Ladder (диапазон 5–112 кДа, число идентифицируемых белков – 11) [15, 16, 17].

Результаты и их обсуждение

Оценка степени внутрисортного полиморфизма, включала анализ отдельных генотипов фасоли в количестве 100 штук каждого сорта, что позволило точно оценить характер и представленность белковых биотипов, характеризующих степень гетерогенности.

По результатам проведенных испытаний было установлено, что белковые спектры исследуемых образцов фасоли и их биотипов не являются однородными. Белковые спектры глобулинов семян отличались как по местоположению полипептидов (показателю относительной электрофоретической подвижности Rf) в спектре белка, так и по интенсивности отдельных из них.

Результаты проведенных исследований позволили выявить отличия генотипов фасоли между собой по целому ряду показателей внутреннего генетического разнообразия, выявляемого на основе оценки элементов белкового спектра глобулинов. Прежде всего, это относится к различиям сортов по общему числу белковых компонентов спектра, что является фактором оценки полноты формирования белкового комплекса семян в условиях репродуцирования.

В данном случае, диапазон варьирования компонентной представленности белкового спектра глобулинов, составлял от 24 до 35 белковых компонентов, причем у 78 % форм этот показатель свидетельствует о сформировавшемся полноценном белковом комплексе семени.

Другим фактором, обуславливающим наличие генетического разнообразия генотипов фасоли, явились отличия в параметрах дифференцирующих элементов спектра белка, включая различия по идентифицированным зонам подвижности белковых компонентов, являющихся молекулярно-биохимическими маркерами сортов.

Для оценки уровня межсортового и внутрисортowego полиморфизма были выявлены биотипы, составляющие структуру сорта, и определены частоты их встречаемости. Данная работа проводилась параллельно с идентификацией сортоспецифичных, информативных позиций компонентов белкового спектра и проведением оценки компонентного состава сорта.

Характер представленности типов спектра характеризовался: во-первых, разным числом идентифицированных биотипов в структуре сорта, во-вторых, разной частотой встречаемости в совокупной сортовой популяции. В разрезе числа идентифицированных биотипов, все сорта разделили на мономорфные

(содержащие один биотип) и полиморфные (представленные несколькими биотипами).

Из представленных результатов (репродукция 2021 года) 64,2 % проанализированных генотипов фасоли (табл. 1) характеризуются наличием в своей структуре двух биотипов в разном количественном соотношении и компонентной представленности. Более значимые частоты встречаемости определены для первого биотипа, размах изменчивости которых составляет 55,0–85,0 %. Аналогичный результат проявляется и в отношении суммарного компонентного состава первых биотипов. В данном случае размах изменчивости находится в пределах 21–34 компонентов в составе белкового спектра. Монотипными гено-

Таблица 1. Критерии внутрисортовой дифференциации образцов овощной фасоли (репродукция 2021 г.)
Table 1. Criteria for intra-variety differentiation of vegetable bean samples (reproduction 2021)

№ п.п.	Сорт	Число компонентов по критериям, ед.		Идентифицированные биотипы популяции	
		уникальные	маркеры биотипов	количество, ед.	частота встречаемости в выборке (основной/неосновной биотипы),
1	Омская Юбилейная	2	3	2	85/15
2	Рант	1	3	2	65/35
3	Магура	1	4	1	100
4	Фантазия	2	2	1	100
5	Креолка	2	3	2	90/10
6	Октава	1	3	2	80/20
7	Памяти Рыжовой	2	3	1	100
8	Физкультурница	2	4	2	75/25
9	Чыжовенка	2	4	2	78/22
10	Лукерья	1	3	2	69/31
11	Сибирячка	2	5	2	70/30
12	Си Бемоль	-	3	2	84/16
13	Оливковая	1	4	2	75/25
14	Нота	-	4	2	84/16
15	Секунда	2	3	3	65/26/9
16	Лица	1	4	2	78/22
17	Красная шапочка	2	3	2	89/11
18	Маруся	3	2	1	100
19	Иришка	3	2	2	80/20
20	Золото Сибири	1	3	2	90/10
21	Маришка	2	3	2	74/26
22	Аришка	2	1	2	85/25
23	Золушка	3	3	3	70/20/10
24	Светлячок	1	2	1	100
25	Омичка	3	2	1	100
26	Зничка	2	3	2	85/25
27	Морена	2	3	1	100
28	Бажена	1	4	2	88/12
29	Зинуля	-	4	2	90/10
30	U2015 (Мирин)	-	3	2	72/28
31	Сакфит	2	2	1	100
32	Настена	1	2	2	84/16
33	Московская белая зеленостручная 556	2	1	1	100
34	Пагода	3	3	2	85/15
35	Дубровенская	2	2	1	100
36	Афина	2	3	2	80/20
37	Волга-Матушка	2	2	2	66/34
38	Мавританка	3	3	1	100
39	Водопад	2	4	2	74/26
40	Герда	-	4	1	100
41	Мамоли	2	2	1	100
42	Антошка	-	4	2	75/25

Таблица 2. Критерии внутрисортной дифференциации образцов овощной фасоли (репродукция 2022 г.)
Table 2. Criteria for intra-variety differentiation of vegetable bean samples (reproduction 2022)

№ п.п.	Образец	Число компонентов по критериям, ед.		Идентифицированные биотипы популяции	
		уникальные	маркеры биотипов	количество, ед.	частота встречаемости в выборке (основной/неосновной биотипы), %
1	Омская Юбилейная	1	2	1	100
2	Рант	1	1	2	75/25
3	Магура	1	2	2	80/20
4	Фантазия	3	2	1	100
5	Креолка	2	2	-	100
6	Октава	1	3	2	70/30
7	Памяти Рыжовой	3	3	1	100
8	Физкультурница	2	1	2	85/15
9	Чыжовенка	1	4	1	100
10	Лукерья	1	3	2	75/25
11	Сибирячка	2	2	2	60/40
12	Си Бемоль	2	3	2	85/15
13	Оливковая	2	2	2	79/21
14	Нота	1	1	2	68/32
15	Секунда	2	3	3	75/25
16	Лица	1	2	1	100
17	Красная шапочка	2	3	2	78/22
18	Маруся	2	2	1	100
19	Иришка	3	2	2	85/15
20	Золото Сибири	1	2	2	82/18
21	Маришка	2	3	2	68/32
22	Аришка	2	1	2	74/26
23	Золушка	3	1	2	75/25
24	Светлячок	-	2	1	100
25	Омичка	3	2	1	100
26	Зничка	-	1	1	100
27	Морена	2	3	1	100
28	Бажена	1	2	2	82/18
29	Зинуля	1	2	2	81/19
30	U2015 (Мирин)	-	1	2	61/39
31	Сакфит	2	2	1	100
32	Настена	1	2	2	80/20
33	Московская белая зеленостручная 556	2	1	1	100
34	Пагода	2	3	2	80/20
35	Дубровенская	2	2	1	100
36	Афина	2	2	2	80/20
37	Волга-Матушка	2	2	2	60/40
38	Мавританка	2	3	1	100
39	Водопад	2	1	2	61/39
40	Герда	1	1	1	100
41	Мамоли	2	2	1	100
42	Антошка	1	1	2	64/36

типами, состоящими из одного белкового биотипа, являлись 30,9 % проанализированных форм.

Идентифицировано 4,8 % генотипов, имеющих высокий уровень внутренней гетерогенности, включающей 3 биотипа.

Из представленных результатов в таблице 2 (репродукция 2022 года) 56,0% проанализированных генотипов фасоли характеризуются наличием в своей структуре двух биотипов в разном количественном соотношении и компонентной представленности, что свидетельствует об их средней степени полиморфности. Причем, частота встречаемости основных биотипов составляла от 60 до 80% в суммарной выборке семян. Частоты вторых (неосновных) биотипов колебались от 15 до 40% в выборке).

Монотипными генотипами, состоящими из одного белкового биотипа, являлись 40,0% проанализированных форм.

Идентифицировано 4,7% генотипов, имеющих высокий уровень внутренней гетерогенности, включающей 3 биотипа.

Межсортная дифференциация сортов обусловлена двумя критериями, имеющими различный вклад в формирование общих межсортных отличий анализируемого набора генотипов. Наибольший интерес представляет группа белковых компонентов, характеризующихся как уникальные, имеющие единичную представленность по определенным генотипам. Как правило, данные компоненты имеют четкие отличительные характеристики – величины относительной под-

вижности, степени интенсивности, благодаря чему могут быть использованы в качестве сортовых маркеров. В среднем, частоты проявления маркерных сортовых компонентов находились в диапазоне от 6,0 до 14%, что характеризовалось наличием четких сортовых маркеров в количествах от 5 до 11.

У 60% проанализированных форм и биотипов, наблюдается прямая зависимость между проявлением редких, селекционно-значимых компонентов и степенью усложнения суммарного компонентного

состава белкового спектра. Данный критерий имеет практическое значение и может быть использован в области селекционной работы с культурой фасоли овощной.

Сопоставляя компонентную представленность (число компонентов) одного и того же сорта (биотипа) в разрезе различных зон репродуктивного, можно с уверенностью прогнозировать его реакцию на условия среды в отношении формирования полноценного белкового комплекса, и следовательно,

Таблица 3. Критерии изменчивости внутрисортного полиморфизма (на основе биохимических маркеров семян)
Table 3. Criteria for variability of intra-variety polymorphism (based on biochemical markers of seeds)

№ п.п.	Образец	Число биотипов популяции		Частота основного биотипа в выборке (100 семян)		Сдвиг частот биотипов популяции (2021–2022 годы), %
		2021 год	2022 год	2021 год	2022 год	
1	Омская Юбилейная	2	1	85	100	15
2	Рант	2	2	65	75	10
3	Магура	1	2	100	80	-20
4	Фантазия	1	1	100	100	0
5	Креолка	2	1	90	100	10
6	Октава	2	2	80	70	-10
7	Памяти Рыжовой	1	1	100	100	0
8	Физкультурница	2	2	75	85	10
9	Чыжовенка	2	1	78	100	22
10	Лукерья	2	2	69	75	6
11	Сибирячка	2	2	70	60	-10
12	Си Бемоль	2	2	84	85	1
13	Оливковая	2	2	75	79	4
14	Нота	2	2	84	68	-16
15	Секунда	3	2	65	75	10
16	Лица	2	1	78	100	22
17	Красная шапочка	2	2	89	78	-11
18	Маруся	1	1	100	100	0
19	Иришка	2	2	80	85	5
20	Золото Сибири	2	2	90	82	-8
21	Маришка	2	2	74	68	-6
22	Аришка	2	2	85	74	-11
23	Золушка	3	2	70	75	5
24	Светлячок	1	1	100	100	0
25	Омичка	1	1	100	100	0
26	Зничка	2	1	85	100	15
27	Морена	1	1	100	100	0
28	Бажена	2	2	88	82	-6
29	Зинуля	2	2	90	81	-9
30	U2015 (Мирин)	2	2	72	61	-11
31	Сакфит	1	1	100	100	0
32	Настена	2	2	84	80	-4
33	Московская белая зеленостручная 556	1	1	100	100	0
34	Пагода	2	2	85	80	-5
35	Дубровенская	1	1	100	100	0
36	Афина	2	2	80	80	0
37	Волга-Матушка	2	2	66	60	-6
38	Мавританка	1	1	100	100	0
39	Водопад	2	2	74	61	-13
40	Герда	1	1	100	100	0
41	Мамоли	1	1	100	100	0
42	Антошка	2	2	75	64	-11

проявления взаимосвязанных с этим комплексом хозяйственных признаков.

Для полной оценки внутренней структуры исследуемых сортов фасоли овощной была изучена степень полиморфности, оцениваемой через белковые биотипы, их число и частоту встречаемости. Данные характеристики внутренней структуры сорта определяют генетическое качество семян (генетическую конституцию), т. е. соответствие исходному (оригинальному, эталонному) уровню и сохранение всех первичных качеств и свойств, связанных с биотипным составом.

Для оценки степени динамики и сдвигов внутрисортного полиморфизма генотипов фасоли, числа и частот встречаемости биотипов, было проведено сравнение параметров внутренней структуры, выявляемой на основе молекулярно-биохимических маркеров семян в разрезе двух периодов репродукции (2021–2022 годы).

В результате исследований (табл. 3) выявлено, что у 19% генотипов, произошло изменение уровня гетерогенности, что зафиксировано в виде изменения общего числа популяции, в разрезе периодов репродукции. Идентифицированные сдвиги носят разнородный характер, в виде появления новых типов или элиминации ранее идентифицированных биотипов.

Константный уровень внутренней полиморфности был установлен у 81% проанализированных генотипов, сохраняющих свой изначальный уровень в отношении числа идентифицированных биотипов популяции. Кроме определенной в ходе исследований особенности генотипов фасоли к изменению уровня гетерогенности, дополнительно были оценены характер и направленность изменений, обусловленных сдвигами частот встречаемости (в особенности – основных биотипов популяции) биотипов.

Установлено, что у 80% генотипов, сдвиг числа биотипов происходил в сторону увеличения частот встречаемости основного биотипа в пределах 1–15%. Внутренняя структура генотипов фасоли показала довольно высокую степень константности внутренней генетической структуры и устойчивости к разным условиям репродукции. Изменения внутренней структуры генотипов свидетельствуют о разной адаптационной способности и ценности биотипов, установленных методом биохимического маркирования.

Заключение

Выявлены отличия генотипов фасоли овощной между собой по целому ряду показателей внутреннего генетического разнообразия на основе оценки элементов белкового спектра глобулинов. Прежде всего, это относится к различиям сортов по общему числу белковых компонентов спектра, что является фактором оценки полноты формирования белкового комплекса семян в условиях репродукции. Диапазон варьирования компонентной представленности белкового спектра глобулинов составил от 26 до 35 белковых компонентов, причем у 70% форм этот показатель свидетельствует о сформировавшемся полноценном белковом комплексе семени.

По результатам исследований определена разная частота встречаемости отдельных компонентов белкового спектра сортов фасоли овощной. Были выделены белковые компоненты, представленные с разной частотой в суммарной выборке белковых биотипов всех проанализированных сортов фасоли овощной.

Различия в белковом спектре сортов фасоли овощной свидетельствуют о неоднозначности уровня дифференцирующих позиций, что определяется совокупностью факторов, обуславливающих, в том числе, конкретный биотипный состав, сформировавшийся в условиях репродукции генотипа. Для ряда образцов, степень популятивности может являться отражением специфики пути их создания и генетической основы. Кроме этого, выявленные различия по компонентному составу спектра глобулинов, отражают связь компонентного состава по белковым фракциям с показателями качества, неоднозначно проявляемыми по анализируемым сортам. Были идентифицированы редкие, обладающие наибольшей информативностью позиции компонентов, которые являются ценными в селекционном плане, так как могут быть использованы в качестве доноров сочетаний ценных признаков и свойств.

Проведенные исследования позволили оценить характер и особенность адаптивных свойств сортов овощной фасоли в условиях конкретной экологической зоны, что может быть использовано для надежной дифференциации и идентификации генотипов (биотипов) в ходе семеноводства, а также для надежной фиксации изменений, происходящих в генотипическом составе семенных репродукций в различных условиях окружающей среды. Благодаря адаптивному характеру молекулярного полиморфизма запасных белков семян фасоли овощной, возможность оценки скрытой изменчивости форм может быть использована для анализа «агроэкологической адресности» селекционных программ и форм.

Установлено, что степень полиморфности генотипов не является величиной постоянной и может колебаться по периодам. Это может быть связано с реакцией генотипа на условия репродукции или являться следствием адаптации генотипа к условиям среды.

Проанализированный сортимент фасоли овощной можно разделить на три категории в зависимости от степени их гетерогенности: высоко-, средне- и низкополиморфные сорта. Основную группу составили среднеполиморфные сорта, характеризующиеся наличием двух биотипов в структуре сорта. К группе низкополиморфных отнесены образцы 12 сортов, характеризующиеся высокой степенью выравниваемости и присутствием одного белкового биотипа. К группе высокополиморфных сортов отнесены два сорта Секунда и Золушка.

По результатам оценки внутренней структуры генотипов фасоли овощной и их биотипов были сформированы сортовые формулы (биохимические паспорта), представляющие собой комплекс идентификационных признаков, способных к генетической интерпретации на основе белковых спектров глобулинов семян. Каждому сорту фасоли овощной соответ-

ствуют свои собственные, характерные только для него электрофоретические спектры белков с присутствием им комплексом идентификационных и оценочных критериев – их «отпечатки пальцев», что связано с адаптивным характером полиморфизма маркерных белков. Основные базовые элементы, маркирующие сорт, – биотипы, являются константными по базовым

критериям: числу компонентов белка, относительной подвижности, степени интенсивности сортовых маркеров. Это позволяет использовать сформированные биохимические паспорта в качестве дополнительного и надежного критерия оценки подлинности, патентоспособности и охраны новых и ценных генотипов растений.

• Литература (In Russ.)

1. Зыкин В.А., Мешков В.В., Сапега В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: метод. рекомендации. Новосибирск: Сиб. Отд-е ВАСХНИЛ, 1984. 24 с.
2. Казыдуб Н.Г. Селекция фасоли овощной в южной лесостепи Западной Сибири/ Н.Г. Казыдуб, С.Ю. Пучкова, Т.В. Рассказова// Вестник Омского государственного аграрного университета. 2013. № 2 (10). С. 9-13.
3. Аbugалиева А.И. Компоненты глиаина и субъединицы глютеина в селекции пшеницы на качество зерна: автореф. дис. докт. наук. Алматы, 1994. 52 с.
4. Петрова Н.Н., Егоров С.В., Акулич М.П. Изменчивость волжских сортов и линий по электрофоретическому спектру глиаина в условиях северо-востока Беларуси. *Вестник БГСХА*. 2008;(2):49-54.
5. Синская Е.Н. Проблема популяций у высших растений. Труды, вып.1. Л., 1961. С. 54-46
6. Надилов Б.Т. Соотношение глиаиновых биотипов озимой пшеницы в зависимости от условий выращивания. *Вестн. С.-х. науки Казахстана*. 1985;(1):31–33.
7. Олиференко С.В. Внутрисортная изменчивость качества зерна сортов озимой мягкой пшеницы мироновской селекции и полиморфизм их глиаина. В кн. «Селекция. Защита растений и агротехника пшеницы, ячменя и тритикале. Киев, 1985. С.63–68.
8. Молекулярно-биологические аспекты прикладной ботаники, генетики и селекции. Теоретические основы селекции. Том I.(под ред. В.Г. Конарева) М.: Колос, 1993. 447 с.
9. Колючий В.Т. Электрофоретический анализ биотипного состава пшеницы на начальном этапе изменения яровых зерновых культур. *Селекция, семеноводство и агротехника зерновых культур*. 1983. С. 71–74.
10. Неттевич Э.Д., Беркутова Н.С., Погорелова Л.Г. Метод электрофореза при изучении внутрисортной изменчивости качества пшеницы. *Селекция и семеноводство*. Неттевич. 1983;(1):8–10.
11. Мусаев Ф.Б., Мирошникова М.П., Решетников Е.Е. Изменчивость количественных признаков фасоли. *Доклады ТСХА*. М., 2006.
12. Пивоваров В.Ф., Добруцкая Е.Г., Мусаев Ф.Б., Скорина В.В. Экологические аспекты селекции и семеноводства овощных культур. *Вестник Полесского госуниверситета*. 2009; (1):31–36.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – 2-е изд. – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
14. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. Москва: ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства, 2011. 648 с.
15. Идентификация сортов и регистрация генофонда культурных растений по белкам семян – Санкт-Петербург, 2000 г. Раздел 3.1. «Идентификация и регистрация сортов бобовых электрофорезом запасных белков».
16. Международные правила контроля качества семян. 1996. ISTA, Цюрих, Швейцария, 1996 г. Раздел 8.6.A.4. Стандартный эталонный метод верификации видов гороха (*Pisum*) и райграса (*Lolium*) посредством метода электрофореза в полиакриламидном геле (PAGE). Стандартный эталонный метод верификации видов гороха (*Pisum*) и райграса (*Lolium*) посредством метода электрофореза в полиакриламидном геле (PAGE). // Международные правила контроля качества семян. ISTA, Цюрих, Швейцария, 1996 г.
17. Егоров С.В. Семена бобовых. Определение сортовой принадлежности, сортовой чистоты и генетического качества методом электрофоретического анализа запасных белков. Горки, 2016. 23 с.

• References

1. Zykin V.A., Meshkov V.V., Sapega V.A. Parameters of ecological plasticity of agricultural plants, their calculation and analysis: method.recommendations. Novosibirsk: Sib. Otd-e VASHNIL, 1984. 24 p.
2. Kazydub N. G. Selection OF vegetable beans in the southern forest-steppe of Western Siberia / N. G. Kazydub, S. U. Puchkova, T. V. Rasskazova // Bulletin of the Omsk State Agrarian University. 2013 № 2 (10). C. 9-13.
3. Abugaliev A.I. Components of gliadin and glutenin subunits in wheat breeding for grain quality: abstract of the dissertation of the Doctor of Sciences. Almaty, 1994. 52 p.
4. Petrova N.N., Egorov S.V., Akulich M.P. Variability of Volga varieties and lines according to the electrophoretic spectrum of gliadin in the conditions of the north-east of Belarus. *Bulletin of the BGHA*. 2008;(2):49-54.
5. Sinskaya E.N. The problem of populations in higher plants. Proceedings, issue 1. L., 1961. pp. 54-46.
6. Nadirov B.T. The ratio of gliadin biotypes of winter wheat depending on growing conditions. *Vestn. S.-H. sciences of Kazakhstan*. 1985;(1):31-33.
7. Olfierenko S.V. Intra-grade variability of grain quality of winter soft wheat varieties of Mironovskaya selection and polymorphism of their gliadin. In the book. "Selection. Plant protection and agrotechnics of wheat, barley and triticale. Kiev, 1985. pp.63-68.
8. Molecular biological aspects of applied botany, genetics and breeding. Theoretical foundations of breeding. Volume I.(edited by V.G. Konarev) M.: Kolos, 1993. 447 p.
9. Prickly V.T. Electrophoretic analysis of the biotypic composition of wheat at the initial stage of changes in spring grain crops. *Breeding, seed production and agrotechnics of grain crops*. 1983. pp. 71-74.
10. Nettevich E.D., Berkutova N.S., Pogorelova L.G. Method of electrophoresis in the study of intra-variety variability of wheat quality. *Breeding and seed production*. Nettevich. 1983;(1):8-10.
11. Musaev F.B., Miroshnikova M.P., Reshetnikov E.E. Variability of quantitative characteristics of beans. *Reports of the TLC*. M., 2006.
12. Pivovarov V.F., Dobrutskaia E.G., Musaev F.B., Skorina V.V. Ecological aspects of breeding and seed production of vegetable crops. *Bulletin of the Polesky State University*. 2009;(1):31-36.
13. Dospekhov B.A. Methodology of field experience. M: Agropromizdat, 1985. 351s.
14. Litvinov S.S. Methodology of field experience in vegetable growing. Moscow: GNU All-Russian Research Institute of Vegetable Growing, 2011. 648 p.
15. Identification of varieties and registration of the gene pool of cultivated plants by seed proteins – St. Petersburg, 2000 Section 3.1. "Identification and registration of legume varieties by electrophoresis of spare proteins".
16. International Seed Quality Control Regulations. 1996. ISTA, Zurich, Switzerland, 1996. Section 8.6.A.4. Standard Reference Method for Verification of Pea (*Pisum*) and Ryegrass (*Lolium*) species by polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE). Standard reference method for verification of Pea (*Pisum*) and Ryegrass (*Lolium*) species by polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE). // International Seed Quality Control Regulations. ISTA, Zurich, Switzerland, 1996.
17. Egorov S.V. Legume seeds. Determination of varietal affiliation, varietal purity and genetic quality by electrophoretic analysis of spare proteins in Gorki, 2016. 23 p.

Об авторах:

Владимир Владимирович Скорина – доктор с.-х. наук, профессор кафедры плодовоовощеводства, автор для переписки, skorina@list.ru
Евгения Васильевна Панкратская – аспирант кафедры плодовоовощеводства

About the Authors:

Vladimir V. Skorina – Doc. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Horticulture, Correspondence Author, skorina@list.ru
Evgenia V. Pankrutskaia – postgraduate student of the Department of Horticulture

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-47-51>
УДК 635.45:(57.087.1+581.19)

Viktor A. Kharchenko¹,
Nadezhda A. Golubkina^{*1}, Maria N. Bogachuk²

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution
Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC)
14, Seleccionnaya str., VNISSOK,
Odintsovo district, Moscow region,
Russia, 143072

² Federal Research Center
for Nutrition and Biotechnology
Ustyinsky pr., 2/14, Moscow, Russia, 119240

Correspondence:
segolubkina45@gmail.com

Authors' Contribution: All authors have equally participated in experimental data collection and manuscript preparation and have agreed to the published version of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

For citations: Kharchenko V.A., Golubkina N.A., Bogachuk M.N. Comparative evaluation of biometrical and biochemical characteristics of three *Rumex* representatives: *Rumex acetosa* L., *Rumex sanguineus* L. and *Rumex confertus* Willd. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):47-51. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-47-51>

Received: 06.09.2023

Accepted for publication: 22.09.2023

Published: 04.12. 2023

В.А. Харченко¹, Н.А. Голубкина^{*1},
М.Н. Богачук²

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИССОК, ул. Селекционная, д. 14

² ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии» 119240, Россия, Москва, Устьинский пр., 2/14

Корреспонденция: segolubkina45@gmail.com

Вклад авторов: Все авторы в равной степени участвовали в получении экспериментальных результатов и в написании статьи, и согласны с опубликованной версией рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Kharchenko V.A., Golubkina N.A., Bogachuk M.N. Comparative evaluation of biometrical and biochemical characteristics of three *Rumex* representatives: *Rumex acetosa* L., *Rumex sanguineus* L. and *Rumex confertus* Willd. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):47-51. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-47-51>

Поступила в редакцию: 06.09.2023

Принята к печати: 22.09.2023

Опубликована: 04.12. 2023

Comparative evaluation of biometrical and biochemical characteristics of three *Rumex* representatives: *Rumex acetosa* L., *Rumex sanguineus* L. and *Rumex confertus* Willd.



ABSTRACT

Increase in green vegetables popularity in nutrition and medicine promotes investigations of new cultivar and hybrid biochemical parameters. Nutritional value and antioxidant status of three *Rumex* representatives: *Rumex acetosa* L. (Krupnolistny cv.), *Rumex sanguineus* L. (prospect genotype) and *Rumex confertus* Willd. were studied. Antioxidant defense parameters (total antioxidant activity, polyphenol and ascorbic acid content) decreased in accordance to: *Rumex sanguineus* L. > *Rumex confertus* Willd. > *Rumex acetosa* L. Thus the ascorbic acid content in bloody dock (*R. sanguineus*) reached 129 mg/100 g which was 1.48 times higher than in Russian dock (*R. confertus*) and 3.17 times higher than in garden sorrel (*R. acetosa*). The total chlorophyll content was also the highest in bloody dock (17.74 mg/g d.w.) compared to 15.88 mg/g in *R. confertus* and 13.07 mg/g in *R. acetosa* leaves. The new *R. sanguineus* genotype was characterized by high decorative properties and demonstrated twice higher oxalic acid content compared to *R. acetosa*, Krupnolistny cv., and 1.5 times higher value than in *R. confertus*. High decorative and medicinal value of *R. sanguineus* was connected to a great extent with the intensive anthocyanin accumulation reaching 7.2% and high nitrate content. The results of the present study indicate high prospects of *R. sanguineus* genotype utilization in landscape design, food industry and medicine.

KEYWORDS:

Rumex acetosa L., *Rumex sanguineus* L., *Rumex confertus* Willd., antioxidant status oxalic acid, nitrates

Сравнительная оценка биометрических и биохимических показателей трех видов представителей рода *Rumex*: *Rumex acetosa* L., *Rumex sanguineus* L. и *Rumex confertus* Willd.

РЕЗЮМЕ

Расширение использования зеленых культур в питании и медицине требует проведения тестирования новых сортов и гибридов для оценки потенциальных возможностей использования. Проведена сравнительная оценка пищевой ценности и антиоксидантного статуса трех видов представителей рода *Rumex*: щавель кислый, сорт Крупнolistный, щавель красный, перспективный сортотип и конский щавель. Показано, что показатели антиоксидантной защиты (общая антиоксидантная активность, содержание полифенолов и аскорбиновой кислоты) снижаются в ряду: краснolistный > конский > крупнolistный. Так, содержание аскорбиновой кислоты в красном щавеле достигало 129 мг/100 г, что было в 1,48 раза выше, чем в конском щавеле и в 3,17 раз выше, чем в кислом. Уровень хлорофилла был наибольшим в красном щавеле (3,03 мг/г), что в 3,4 раза выше, чем в кислом и в 1,36 раз выше, чем в конском щавеле. Помимо высоких декоративных свойств перспективный сортотип щавеля краснolistного отличался вдвое более высоким содержанием щавелевой кислоты по сравнению с кислым щавелем и в 1,5 раза выше, чем в щавеле конском. Уровень антоцианов в перспективном сортотипе красного щавеля достигал 7,2%. Результаты исследования свидетельствуют о перспективности производства красного щавеля и использования его как в пищевой промышленности, так и в медицине.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

щавель красный, щавель кислый, щавель конский, антиоксидантный статус, компонентный состав органических кислот

Introduction

Hardy perennial plants of *Rumex* genus belonging to *Polygonaceae* family compose about 200 species widely distributed in most countries of the world [1] and are highly valued in medicine [2–4]. About 70 *Rumex* species are found at the territory of Russia. The sorrels are characterized by intensive growth, high adaptability and high antioxidant content, polyphenols in particular [5]. These facts indicate that *Rumex* representatives belong to a group of cosmopolite plants. Separate species are used as vegetables and medicinal species.

Roots of many species are rich in tannins. Sorrel has long been used in traditional medicine for skin [2] and oncological diseases [6] treatment. Leaf extract records antiviral properties and is efficient in herpes treatment [7].

Bloody dock (*Rumex sanguineus*) is widely used in treatment of blood circulatory system and severe bleeding, as a powerful antiseptic, astringent and cardio tonic drug [8].

All *Rumex* species studied demonstrate antibacterial, anticancer, anti-inflammatory, antioxidant and cardio protective properties.

The most important biologically active compounds of *Rumex* are flavonoids, anthraquinones, alkaloids, terpenes, lignans and tannins [3,8].

Monitoring of *Rumex* wild representatives revealed important natural sources of flavonoids (*R. maritimus*), tannins (*R. obtusifolius*), catechins (*R. sanguineus*), proanthocyanidins (*R. sanguineus*, *R. obtusifolius*, *R. crispus*) and hydroxycinnamic acids (*R. acetosella*) [4,5].

High biological activity and nutritional value of many sorrel species indicate the importance of sorrel breeding aimed to obtain high yield and products with enhanced content of biologically active compounds. At present the most popular sorrel cultivars in Russia are Belvilsky, Krupnolistny, Malakhit, Odessky 17, Shirokolostny, Shpinatny. As an ornamental plants several bloody dock cultivars are produced: Krasnye zhilky, Krasnye uzory, Krovavaya Mery, Sanguinic and Gamma. It should be noted that most of breeding investigations are achieved on garden sorrel (*R. acetosa*) widely used in nutrition. The present investigation is devoted to the comparative evaluation of biochemical parameters of the new *R. sanguineus* genotype, garden sorrel (*R. acetosa*), Krupnolistny cv., and Russian sorrel (*R. confertus*) to reveal prospects of the new genotype utilization in food industry and medicine.

Material and Methods

The objects of the present investigation were a new *R. sanguineus* genotype, garden sorrel, Krupnolistny cv. (selection of Federal Scientific Vegetable Center), and Russian (wild) sorrel. Plants were grown on experimental fields of Federal Scientific Vegetable Center, Moscow region in 2022–2023 (55°39.510 N, 37°12.230 E) in a loam sod podzolic soil with the following characteristics: pH 6.2, 2.12% organic matter, 1.32 mg-eq 100 g⁻¹ hydrolytic acidity, 18.5 mg kg⁻¹ mineral nitrogen, 21.3 mg kg⁻¹ ammonium nitrogen, sum of absorbed bases as much as 93.6%, 402 mg kg⁻¹ mobile phosphorous, 198 mg kg⁻¹ exchangeable potassium, 1 mg kg⁻¹ S, 10.95 mg kg⁻¹ Ca, 2.05 mg kg⁻¹ Zn, 0.86 mg kg⁻¹ B, 220 µg kg⁻¹ d.w. Se, 7.65 mg kg⁻¹ Ni, 0.22 mg kg⁻¹ Cd, 1.6 mg kg⁻¹ As, 12.85 mg kg⁻¹ Pb.

Seeds sowing was achieved on April, 25, 5 cm apart and 10 cm between rows. Plants harvesting was practiced on

August, 15. Ten plants from each species were gathered for the investigation. Samples of Russian sorrel (*R. confertus*) were gathered near the experimental fields of the Institute.

Leaves were washed with water to remove traces of soil particles, dried at filter paper and weighed. Homogenized fresh leaves were used for the determinations of photosynthetic pigments, nitrates and ascorbic acid. The remaining part of samples were dried at 70°C to constant weight, homogenized and the resulting powder was used for the determination of oxalic acid, polyphenol content, and total antioxidant (AOA) activity.

Dry Matter

The dry matter was assessed gravimetrically by drying the samples in an oven at 70°C until constant weight according to [9].

Nitrates

Nitrates were assessed using ion-selective electrode with ionomer Expert-001 (Econix Inc., Moscow, Russia).

Ascorbic Acid

The ascorbic acid content was determined by visual titration of leaf extracts in 3% trichloroacetic acid with sodium 2,6-dichlorophenol indophenolate solution (Tillman's reagent) [10].

Photosynthetic Pigments

Photosynthetic pigments of sorrel leaves were measured spectrophotometrically using 96% ethanolic extracts [13]. Chlorophyll and carotene content was calculated according to the following equations:

$$\text{Ch-a} = 13.36A_{664} - 5.19A_{649};$$

$$\text{Ch-b} = 27.43A_{649} - 8.12A_{664};$$

$$C_c = (1000A_{470} - 2.13\text{Ch-a} - 97.63C-b)/209$$

where A = light absorption, Ch-a = chlorophyll a, Ch-b = chlorophyll b, C c = carotene

The results were expressed in mg/g dry weight.

Total Polyphenols (TP)

Total polyphenols were determined in 70% ethanol extracts of dried samples using the Folin–Ciocalteu colorimetric method as previously described [11]. Half a gram of dry homogenates was extracted with 20 mL of 70% ethanol/water at 80°C for 1 h. The mixture was cooled down and quantitatively transferred to a volumetric flask, and the volume was adjusted to 25 mL. The mixture was filtered through filter paper, and 1 mL of the resulting solution was transferred to a 25 mL volumetric flask, to which 2.5 mL of saturated Na₂CO₃ solution and 0.25 mL of diluted (1:1) Folin–Ciocalteu reagent were added. The volume of a mixture was brought to 25 mL with distilled water. One hour later the solutions were analyzed through a spectrophotometer (Unico 2804 UV, Suite E Dayton, NJ, USA), and the concentration of polyphenols was calculated according to the absorption of the reaction mixture at 730 nm. As an external standard, 0.02% gallic acid was used. The results were expressed as mg of gallic acid equivalent per g of dry weight (mg GAE g⁻¹ d.w.).

Antioxidant Activity (AOA)

The antioxidant activity of sorrel leaves was assessed on a 70 % ethanolic extracts of dry samples using a redox titra-

tion method [11]. The values were expressed in mg gallic acid equivalents (mg GAE g⁻¹ d.w.)

Anthocyanins

Anthocyanin content was determined via differential spectrophotometry on spectrophotometer Unico 2804 UV using light absorption of methanolic extracts at 520 nm and pH 3.5 and 1.0 [12]. Anthocyanin content (in mg-eq cyaniding-3-glucosyde) was calculated according to the formula

$$Ac = (\Delta D \times 449 \times V \times 1000) / (26,900 \times a),$$

where ΔD – differences in the extract light absorption at 520 nm in conditions of different pH (1.0 and pH 3.5). The value of '449' refers to molecular mass of cyaniding-3-glucoside, V – extract volume, ml, 1000 – coefficient to transfer the values per 100 ml of the extract, 26.900 – cyaniding-3-glucoside extinction, a – sample weight, g.

Oxalic acid

Oxalic acid content was determined via HPLC (Agilent 1100): column Zorbax Bonus-RP C18, 4.6 X 250 mM, 5 μ M; flow rate – 1.0 mL/min; wave length – 210 nm. Mobile phase – isocratic elution with phosphate buffer, pH 2.5 [14].

Statistical Analysis

Data were processed by analysis of variance, and mean separations were performed through the Duncan's multiple range test, with reference to 0.05 probability level, using SPSS software version 21 (Armonk, NY, USA).

Results and Discussion

Figure 1 represents high ornamental properties of *R. sanguineus* new genotype with typical distinct red leaf veins and significantly smaller leaf size compared to Krupnolistny cultivar of garden sorrel *R. acetosa* (Figure 1; Table 1).

Indeed, leaf area of *R. Sanguineus* new genotype was 2.6 times smaller than the appropriate parameter of garden sorrel, Krupnolistny cv., and 7 times smaller than leaf area of *R. confertus*.

The promising genotype of *R. sanguineus* accumulated close to *R. acetosa* amount of nitrates, though exceeding in the dry matter and oxalic acid content by 1.5 and 2 times accordingly. It should be noted that the detected oxalic acid concentration in bloody dock were twice higher than the described value while the appropriate differences for

Table 1. Yield, biometrical parameters, dry matter, nitrate and oxalic acid content in *R. sanguineus*, *R. acetosa* and *R. confertus* plants
Таблица 1. Урожай, биометрические показатели, содержание сухого вещества, нитратов и щавелевой кислоты в *R. sanguineus*, *R. acetosa* и *R. confertus*

Parameter	<i>Rumex sanguineus</i> L.	<i>Rumex acetosa</i> L.	<i>Rumex confertus</i> WILLD.
Leaf weight, g/plant	19.7±1.2 b	14.9±1.1 c	99.4±9.0 a
Plant height, cm	21±2 c	30±3 b	50±5a
Leaf length, cm	11.5±1.0 b	13.0±1.1 b	26.0±2.3 a
Leaf width, cm	4.0±0.4 c	8.5±0.8 b	12±1.1 a
Stem length, cm	12.0±1.0 c	16.0±1.5 b	23.0±2.0 a
Stem width, mm	2 b	5 a	5 a
Leaf area, cm ²	35.7±3.5 c	94.4±9.1 b	255.0±20.2 a
Dry matter, %	18.1±1.0 a	6.9±1.0 c	13.3±1.0 b
Nitrates, mg/kg d.w.	3392±310 a	3333±310 a	2398±230 b
Oxalic acid, mg/g d.w.	76.9±6.5 a	38.6±3.1 c	51.8±4.8 b

Values in lines with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$



Fig. 1. Garden sorrel, Krupnolistny cv. (1) and a new genotype of bloody dock (2)

Рис. 1. Садовый щавель сорт Крупнолистный, перспективный краснелистный сортобразец

garden sorrel reached 3 times. Oxalic acid accumulation level by plants depends on many factors, such as soil character, climate, genetic peculiarities and stage of plant development [17]. Nevertheless, the present results happened to be close to those described by Tuazon-Nartea and Savage [18] and indicate the existence of significant risks of bloody dock high consumption due to the possibility of Ca bio accessibility decrease, calcium oxalate precipitation in kidney and osteoporosis development [19].

Furthermore, evaluation of biochemical characteristics indicates that *R. sanguineus* records the highest levels of nitrates among three species investigated. The above facts indicate the importance of similar vegetation conditions in comparative evaluation of different sorrel species and cultivars.

Photosynthetic pigments

Evaluation of photosynthetic pigments accumulation in leaves of three *Rumex* species recorded the lowest values typical for *R. acetosa*. On the contrary, these parameters did not differ statistically between *R. sanguineus* and *R. confertus* (Figure 2). It seems obvious that high chlorophyll content in leaves of bloody dock provides additional ornamental attractiveness to the new *R. sanguineus* genotype.

Antioxidants

Table 3 data confirm the unique antioxidant properties of a new prospect *R. sanguineus* genotype. Ascorbic acid concentration in leaves of this plant exceeded thrice the *R. acetosa* values and was 1.5 time higher than the appropriate values found for *R. confertus* leaves (Figure 3).

Table 2. Chlorophyll and carotene levels in sorrel leaves.
Таблица 2. Содержание хлорофилла и каротина в листьях щавеля

Parameter, mg/g dry weight	<i>Rumex sanguineus</i>	<i>Rumex acetosa</i>	<i>Rumex confertus</i>
Chlorophyll a	10.50 a	8.00 b	10.9 a
Chlorophyll b	6.24 a	5.07 b	5.79 ab
Total chlorophyll	17.74 a	13.07 b	15.88 a
Carotene	1.82 a	1.59 b	1.95 a
Chl a/Chl b	1.68	1.57	1.88
Chl/carotene	9.18	8.00	8.54

Values in lines with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$

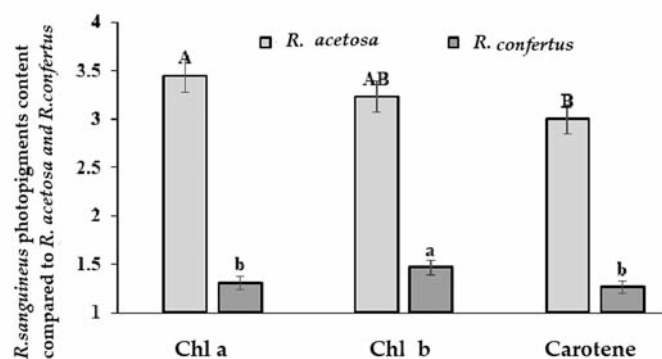


Fig. 2. Differences in photosynthetic pigments accumulation by *R. sanguineus* compared to *R. acetosa* and *R. confertus*. Values with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$

Рис. 2. Различия в уровнях аккумуляции фотосинтетических пигментов красноклестным сортообразцом щавеля *R. sanguineus* по сравнению с садовым *R. acetosa* и конским щавелем *R. confertus*. Значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$

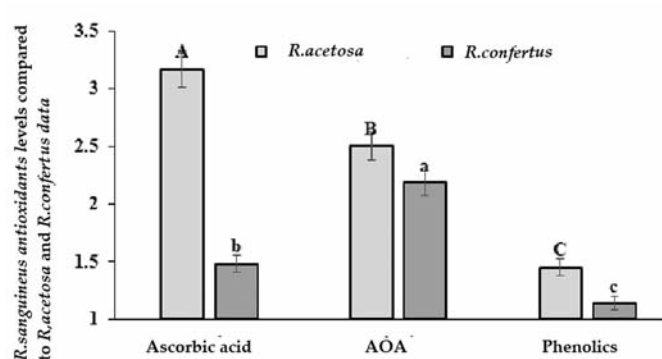


Fig. 3. Differences in antioxidant accumulation by *R. sanguineus* compared to *R. acetosa* and *R. confertus*. Values with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$

Рис. 3. Различия в аккумуляции антиоксидантов красноклестным сортообразцом щавеля *R. sanguineus* по сравнению с садовым *R. acetosa* и конским щавелем *R. confertus*. Значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$

Table 3. Antioxidant status of *R. sanguineus*, *R. acetosa* and *R. confertus*
Таблица 3. Антиоксидантный статус *R. sanguineus*, *R. acetosa* и *R. confertus*

Parameter	<i>Rumex sanguineus</i> L.	<i>Rumex acetosa</i> L.	<i>Rumex confertus</i> WILLD.
Ascorbic acid, mg/100 g f.w.	129±10 a	40.7±4.0 c	86.9±7.9 b
Anthocyanins, %	7.2±0.6	следы	следы
Antioxidant activity, mg GAE/g d.w.	96.6±9.0 a	38.6±3.1 b	44.4±4.0 b
Polyphenols, mg GAE/g d.w.	28.2±2.1 a	19.5 ±1.2 b	24.7±2.0 a

Values in lines with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$

Total antioxidant activity and polyphenol content were also amazingly higher in *R. sanguineus* plants than the appropriate values registered in *R. confertus* and *R. acetosa*. *R. sanguineus* species is known to accumulate predominantly catechins [5] while red color of their leaves is connected with high anthocyanin content. Indeed, the anthocyanin content in a new *R. sanguineus* genotype reached 7.2% (Table 3). The significance of high anthocyanin levels in edible plants is directly connected with the well-known antioxidant, anti-cancer, anti-inflammatory and anti-microbial properties providing high opportunities in prevention of such diseases as diabetes, cancer and obesity [20].

Besides, the new genotype of *R. sanguineus* was also characterized by anomalously high antioxidant levels exceeding that of *R. acetosa* and *R. confertus* by 2.5 and 2.2 time accordingly (Figure 3). This phenomenon fully miti-

gates ecological risks of high nitrate levels in *R. sanguineus* leaves. Indeed, high nitrate consumption leading to the formation of carcinogenic nitrosamines is dangerous only in cases of low antioxidant consumption [17]. Vegetable nitrates in human diet under high consumption of vitamin C and polyphenols are considered not only safe but even beneficial for heart protection [21]. In this respect, cardio tonic effect of *R. sanguineus* [8] is directly connected both with high antioxidant activity and high nitrate levels.

Conclusion

Evaluation of biometrical and biochemical parameters of three *Remix* representatives indicated the highest antioxidant status of a new *R. sanguineus* genotype compared to *R. acetosa* and *R. confertus* and proved high prospects of its utilization as an ornamental plant, in human nutrition and in medicine as a powerful source of natural antioxidants.

References / Литература

1. Yu X.Y., Tan X.H., Cai W. Survey on Polygonaceae Herb Resources of in Zhejiang Tiantong National Forest Park. *Medicinal Plants*. 2011;2(3):22-24.
2. Bensky D., Gamble A. An Encyclopedia of Traditional Chinese Medicinal Substances (Zhong Yao Da Ci Dian), Eastland Press, Seattle, 1986.
3. Bello O.M., Fasinu P.S., Bello O.E., Ogbesejana A.B., Adetunji C.O., Dada A.O., Ibitoye O.S., Aloko S., Oguntoye O.S. Wild vegetable *Rumex acetosa* Linn.: Its ethnobotany, pharmacology and phytochemistry – A review. *South Afr. J. Bot.* 2019;(125):149-160. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.04.018>.
4. Korpeläinen H., Pietiläinen M. Sorrel (*Rumex acetosa* L.): Not Only a Weed but a Promising Vegetable and Medicinal Plant. *Bot. Rev.* 2020;(86):234–246. <https://doi.org/10.1007/s12229-020-09225-z>.
5. Feduraev P., Skrypnik L., Nebreeva S., Dzhobadze G., Vatagina A., Kalinina E., Pungin A., Maslennikov P., Riabova A., Krol O. Variability of Phenolic Compound Accumulation and Antioxidant Activity in Wild Plants of Some *Rumex* Species (*Polygonaceae*). *Antioxidants*. 2022;(11):311.
6. Kuceková Z., Mlček J., Humpolíček P., Rop O., Valasek P., Saha P. Phenolic Compounds from *Allium schoenoprasum*, *Tragopogon pratensis* and *Rumex acetosa* and their Antiproliferative Effects. *Molecules*. 2011;16(11):9207-9217. doi:10.3390/molecules16119207.
7. Gescher K., Hensel A., Hafezi W., Derksen A., Kühn J. Oligomeric Proanthocyanidins from *Rumex acetosa* L. Inhibit the Attachment of Herpes Simplex Virus Type-1. *Antiviral Research*. 2011;89(1):9-18. doi:10.1016/j.antiviral.2010.10.007.
8. Li J.J., Li Y.X., Li N., Zhu H.T., Wang Y.J. The genus *Rumex* (*Polygonaceae*): an ethnobotanical, phytochemical and pharmacological review. *Nat Prod Bioprospect*. 2022;12(1):21. doi: 10.1007/s13659-022-00346-z.
9. GOST 31640-2012 Methods of dry matter content determination in plants (in Russ.)
10. AOAC Association Official Analytical Chemists. The Official Methods of Analysis of AOAC International; 22 Vitamin C; AOAC: Rockville, MD, USA, 2012.
11. Golubkina N.A., Kekina H.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Plant Antioxidants and Methods of their Determination; Infra-M: Moscow, Russia, 2021.
12. Giusti M.M., Wrolstad R.E. Current Protocols in Food Analytical Chemistry; F1.2.1–1.2.13; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, 2001.
13. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 1987;(148):350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
14. Guide for the evaluation of quality and safety of food biologically active additives; Organic acids determination 2004; Moscow. Health Ministry of RF P 4.1.1672-03; p. 109–111.
15. Alfawaz M. Chemical composition of hummayd (*Rumex vesicarius*) grown in Saudi Arabia. *J. Food Comp. Anal.* 2006;19(6-7):552-555. doi: 10.1016/j.jfca.2004.09.004.
16. Idris S., Iyaka Y.A., Dauda B.E.N., Ndamitso M.M. Nutrient Content of the Leaves of *Rumex acetosa*. *Researcher*. 2011;3(8):e31-36.
17. Santamaria, P. Nitrate in vegetables: toxicity content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 2006;(86):10–17. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2351>.
18. Tuazon-Nartea J., Savage G. Investigation of Oxalate Levels in Sorrel Plant Parts and Sorrel-Based Products. *Food and Nutrition Sciences*. 2013;4(8):35199. doi:10.4236/fns.2013.48109.
19. Noonan S.C., Savage G.P. Oxalate content of foods and its effect on humans. *Asia Pacific J. Clin. Nutr.* 1999;8(1):64-74.
20. Enaru B., Dreţcanu G., Pop T.D., Stănilă A., Diaconeasa Z. Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. *Antioxidants (Basel)*. 2021;10(12):1967. doi: 10.3390/antiox10121967.
21. Bondonno C.P., Dalgaard F., Blekkenhorst L.C., Murray K., Lewis J.R., Croft K.D., Kyrø C., Torp-Pedersen C., Gislason G., Tjønneland A., Overvad K., Bondonno N.P., Hodgson J.M. Vegetable nitrate intake, blood pressure and incident cardiovascular disease: Danish Diet, Cancer, and Health Study. *Eur J Epidemiol.* 2021;36(8):813-825. doi: 10.1007/s10654-021-00747-3.

Об авторах:

Виктор Александрович Харченко – кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией селекции и семеноводства зеленных, пряно-вкусовых и цветочных культур, <https://orcid.org/0000-0003-2775-9140>, kharchenkoviktor777@gmail.com

Надежда Александровна Голубкина – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, автор для переписки, segolubkina45@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Мария Николаевна Богачук – кандидат фармацевтических наук, научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», bmariyan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3587-5347>

About the Authors:

Viktor A. Kharchenko – Cand. Sci. (Agriculture), Head of Laboratory of Selection and Seed Production of Green, Spice-Flavoring and Flower Crops, <https://orcid.org/0000-0003-2775-9140>, kharchenkoviktor777@gmail.com

Nadezhda A. Golubkina – Doc. Sci. (Agriculture), Head Researcher of laboratory-analytical department, Correspondence Author, segolubkina45@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Maria N. Bogachuk – Cand. Sci. (Pharmaceutic.), Researcher at the Laboratory of Food Chemistry, bmariyan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3587-5347>

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-52-60>
УДК 635.25:631.82(048)

О.Н. Успенская, А.Ю. Федосов,
А.М. Меньших*, И.Ю. Васючков

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО) 140153, РФ, Московская область, Раменский район, д. Верее, стр. 500

*Автор для переписки: soulsunnet@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Для цитирования: Успенская О.Н., Федосов А.Ю., Меньших А.М., Васючков И.Ю. Минеральные удобрения для лука репчатого: обзор. *Овощи России*. 2023;(6):52-60. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-52-60>

Поступила в редакцию: 31.08.2023

Принята к печати: 09.10.2023

Опубликована: 04.12.2023

Olga N. Uspenskaya, Alexander Yu. Fedosov,
Alexander M. Menshikh*, Igor Yu. Vasyuchkov

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" p. 500, Vereya village, Ramensky district, Moscow region, 140153, Russia

*Correspondence: soulsunnet@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors' Contribution: All authors contributed to the writing of the article and have read and agreed to the published version of the manuscript.

For citation: Uspenskaya O.N., Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Vasyuchkov I.Yu. Mineral fertilizers for onions: a review. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):52-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-52-60>

Received: 16.08.2023

Accepted for publication: 07.09.2023

Published: 04.12.2023

Минеральные удобрения для лука репчатого: обзор



РЕЗЮМЕ

Для производства лука репчатого, прежде всего, необходима правильная организация его питания. От этого зависят как его урожайность, так и качество продукции. В первую очередь для питания лука необходимы минеральные удобрения, содержащие такие макроэлементы как азот, фосфор и калий. Качество лука, его физиология и продуктивность зависят от внесения азотных, фосфорных и калийных удобрений, потребность в которых и эффективность использования растениями варьируют в зависимости от климатических факторов, систем орошения, сортовых различий, почвенных и производственных условий возделывания в районах выращивания. В данном обзоре подробно рассмотрено влияние азота, фосфора и калия, как основных компонентов минерального питания, на рост, физиологию и урожайность лука репчатого. В обзор включены различные базы данных: Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, РИНЦ и др., использованы онлайн-источники (Research Gate, Springer Nature Open Access, Wiley Online Library и др.).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лук репчатый, рост и развитие растений, азот, фосфор, калий, управление питанием

Mineral fertilizers for onions: a review

ABSTRACT

For the production of onions, first of all, the proper organization of its nutrition is necessary. Both its productivity and product quality depend on this. First of all, onion nutrition requires mineral fertilizers containing macronutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium. The quality of onions, their physiology and productivity depend on the application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers, the need for which and the efficiency of use by plants vary depending on climatic factors, irrigation systems, varietal differences, soil and production conditions of cultivation in growing areas. This review examines in detail the effect of nitrogen, phosphorus and potassium, as the main components of mineral nutrition, on the growth, physiology and yield of onion. The review includes various databases such as Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, RSCI, etc., online sources (Research Gate, Springer Nature Open Access, Wiley Online Library, etc.) are used.

KEYWORDS:

onion, plant growth and development, nitrogen, phosphorus, potassium, nutrition management

1. Введение

Потребность лука репчатого в минеральных питательных веществах в значительной степени зависит от нескольких факторов, таких как сорт, густота стояния растений, среда выращивания, плодородие почвы, способы внесения удобрений и управление распределяемым количеством удобрений с помощью подходящей системы орошения. При выращивании луковиц в количестве 60 т/га с урожаем из почвы выносятся 108 кг/га азота, 21 кг/га фосфора и 120 кг/га калия. Лук может эффективно усваивать элементы минерального питания с глубины до 60 см, поэтому для производства лука рекомендуется обеспечивать в верхнем 60-сантиметровом слое почвы содержание 120-140 кг азота, 22-26 кг фосфора и 150 кг калия. Пик поглощения азота, фосфора, калия и серы приходится на период от 15 до 60 дней после всходов, и удобрения следует вносить так, чтобы обеспечить наиболее эффективное питание луковиц именно в эти сроки [1].

Лук репчатый более чувствителен к нехватке питательных веществ, чем большинство овощных культур, из-за его мочковатой корневой системы. Для него, в отличие от других культур, характерна невысокая интенсивность усвоения питательных веществ, особенно в начале роста. У лука, посеянного семенами, луковица начинает формироваться примерно через 60 дней после всходов. К этому времени растения усваивают 10-12% N, 6-7 % P_2O_5 и 10 % K_2O от общей потребности за вегетационный период [2].

Азот, фосфор и калий относятся к основным макроэлементам, так как они поглощаются растениями из почвы в наибольших количествах, по сравнению с другими необходимыми элементами. Поэтому для большинства сельскохозяйственных культур, в том числе, для лука репчатого, вероятность возникновения их дефицита наиболее высока [3].

Азот является основным строительным элементом клеток, так как на его долю приходится 7% от общего сухого вещества большинства растений, однако, определение точных норм и доз азота, необходимых для питания растений, сложно, поскольку он присутствует в почве, воздухе и воде в различных формах [4].

Нехватка фосфора является одной из самых серьезных проблем при выращивании лука репчатого из-за низкой доступности и высокой иммобилизации фосфора в почвах [5].

Его недостаток прежде всего сказывается на формировании корневой системы растений.

Калий также важен для получения высоких урожаев лука репчатого, так как от его доступности зависят засухоустойчивость и устойчивость растений к вредителям, а также содержание сухих веществ и эфирных масел в луковице [2].

Растения лука репчатого хорошо растут и развиваются при реакции почвенного раствора близкой к 6,7-7,4. При внесении высоких доз минеральных удобрений реакция почвенного раствора снижается в слое 0-30 см с 8,0 до уровня 6,8-7,3, а в слое 30-60 см с 7,6 до уровня 6,5-6,9 единиц pH [6].

Питательные вещества из почвы и удобрений могут усваиваться только при достаточном увлажнении почвы. На светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья высокие урожаи получены при глубине

увлажнения 0,3 м и водном режиме 80-85% НВ в период от посева семян до формирования луковицы и 70-75% НВ в период от формирования луковицы до технической спелости. При этом общая доза внесённых минеральных удобрений составляла: $N_{230}P_{160}K_{140}$, в т.ч. с поливной водой трижды по фазам роста и развития растений – $N_{20}P_{25}K_{15}$, $N_{30}P_{30}K_{35}$, $N_{50}P_{45}K_{50}$ [7].

При капельном орошении питательный раствор держится у корней дольше, чем при других способах орошения, поэтому оно больше подходит для растений с неглубокой корневой системой, таких, как лук репчатый [8, 9]. В Российской Федерации влияние фертигации на урожайность лука репчатого в однолетней культуре изучено на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья [10], на каштановых почвах Волгоградской области [11], каштановых почвах Ставропольского края [12], черноземах обыкновенных Ростовской области [13], на аллювиальных луговых почвах Московской области [14-16].

В литературе накоплен значительный и довольно разноречивый материал по применению азотных, фосфорных и калийных удобрений при выращивании лука репчатого.

В связи с вышеизложенным, данный обзор выполнен с целью обобщить имеющиеся в литературе сведения о влиянии азотных, фосфорных и калийных удобрений на физиологию, урожайность и компоненты урожая лука репчатого.

2. Влияние N и P на рост и развитие растений лука репчатого

2.1. Значение азота для лука репчатого

Вносимый азот включается в состав тканей удобряемых растений в большей степени, чем другие минеральные элементы питания. Азот является основным компонентом многих незаменимых соединений, которые являются строительными блоками для растений всех сельскохозяйственных культур. Хорошее снабжение азотом стимулирует рост и развитие корней, а также поглощение других питательных веществ [2].

Лук репчатый имеет неглубокую корневую систему, что обуславливает необходимость обеспечивать достаточно высокое содержание доступного азота в верхнем слое почвы. Но излишне высокое содержание азота вызывает ускоренный рост, увеличение дней созревания, более высокую восприимчивость к вредителям, меньшее количество сухого вещества в продукции, укорачивание периода хранения и, таким образом, приводит к снижению урожайности, выхода товарной продукции и снижению её качества [17]. На почвах с недостаточным уровнем содержания азота проявляется задержка роста растений, также падает урожайность, снижается качество и сроки хранения продукции [18].

Количество азота, вносимого для получения урожая лука репчатого определённого объёма, варьирует от района к району и зависит, в частности, от сорта лука. Высокоурожайным сортам обычно требуется больше азота, чем низкоурожайным. Результаты из разных климатических регионов мира также показывают разную реакцию лука репчатого на количество внесённого азота [19, 20]. В некоторых районах для повышения урожайности и качества продукции требуются более

высокие дозы азота, но, одновременно, большее количество азота остается в почве после уборки урожая. Согласно отчету Visser, почти 50% из 120 кг/га азота, обычно применяемого на луковых полях, теряется, отфильтровывается из почвы [21].

Изменчивость урожайности и качества в зависимости от различных источников вносимого азота изучалась неоднократно. В одном из исследований сообщалось, что при добавлении нитратного азота сырая и сухая масса луковиц были выше, чем при добавлении адекватного количества аммиачного азота и мочевины [22]. Также сообщалось, что раннее внесение фосфата аммония увеличивало рост и урожайность лука репчатого в большей степени, чем внесение нитрата аммония [23]. Другой источник указывает на то, что добавление диаммонийфосфата после посева не повышало урожайность [24]. Эти различия могут быть связаны с разными технологическими практиками посева и посадки лука.

Имеются сведения, что азот является ограничивающим фактором в производстве качественного лука репчатого. Сообщается, например, что острота вкуса луковиц зависит от уровня содержания в них азота: чем больше азота, тем выше острота [25, 26].

Азотные удобрения также помогают в борьбе с засухой. По-видимому, азот влияет на адекватное использование имеющейся в почве воды. И поскольку вымывание азота из почвы может увеличить загрязнение грунтовых вод, обязательно внесение оптимального количества азота в требуемые сроки [27, 28].

2.2. Значение фосфора для растений лука репчатого

Фосфор считается вторым по значимости ценным минеральным питательным веществом, которое участвует в регуляции многих физиологических процессов роста и развития растений и оказывает значительное влияние на урожайность лука репчатого [29, 30, 31]. Следует иметь в виду, что результат поступления в растение вносимого с удобрением фосфора во многом зависит от доступного запаса этого элемента в почве, поэтому отрицательные или положительные результаты от внесения фосфорных удобрений могут зависеть от источников фосфора, уже имеющихся в почве. Известно, что в почве фосфор существует в двух формах: органической и неорганической. Органический фосфор, фиксируемый почвенным комплексом, является наиболее стабильной его формой, поэтому хорошо усваивается и утилизируется культурами только неорганический фосфор [32].

Растения поглощают фосфор в меньшем количестве, чем азот или калий [13]. За последнее столетие он привлек огромное количество исследовательских усилий, но его поведение в почве и доступность для сельскохозяйственных культур до сих пор изучены недостаточно. Одной из причин может быть наличие многочисленных неорганических форм фосфора в почвах и большие различия в их поведении в разных типах почв. Существует также большое различие между культурами в их способности поглощать различные формы фосфатов.

Дефицит фосфора является одним из основных лимитирующих факторов производства лука в тропических районах из-за малой его доступности и большой

фиксации в почвах [14]. Это связано с существенным влиянием этого минерального элемента на рост корней, и, если доступность недостаточна, рост растений сильно ограничен. Фиксируемый почвенным комплексом фосфор мало подвижен, и его использование в основном зависит от градиента концентрации и диффузии в корневой зоне почвы [33].

У лука репчатого дефицит минеральных элементов, в основном фосфора, приводит к снижению роста растений, размера луковиц, выхода товарных луковиц и задержке созревания [34]. В почвах с умеренным содержанием фосфора добавление фосфора усиливает рост, развитие и урожайность. Отчеты об исследованиях долгосрочных испытаний удобрений на суглинистых почвах показали, что существует положительная зависимость урожайности лука от дозы фосфорных удобрений в диапазоне от 0 до 52 кг/га P [35].

2.3. Роль азота и фосфора для протекания физиологических процессов в растениях лука репчатого

Азот участвует в синтезе белков, пептидов, и аминокислот, которые являются составной частью протоплазмы и ядра растительных клеток. Он необходим для образования хлорофилла, нуклеиновых кислот, ферментов, гормонов, большинства витаминов и других соединений, важных для фотосинтеза и обмена веществ. Внесение азотных удобрений значительно увеличивает длину листа, а также его диаметр.

Азот способен, как ни один другой элемент, оказывать стимулирующее действие на рост растения. Увеличение роста растений за счет внесённого в почву минерального азота связано с его влиянием на клеточное строительство [12, 36].

Но повышение количества азота в почве увеличивает рост растений до определенного предела, по достижению которого увеличение прекращается. Соответствующие исследования показали, что внесение 69 кг/га N увеличило длину листьев (47,67 см) примерно на 11,5% по сравнению с контролем (42,75 см) [37].

В других исследованиях показано, что повышение уровня азотных удобрений до 40-80 кг/га N не оказывало значительного влияния на рост растений, а доза 120 кг/га увеличивала длину листьев до 58,4 см [38]. Наибольшая высота растений достигается при внесении 120, 180, 240 кг/га N, чего не наблюдается при внесении более низких доз [36, 39, 40]. Увеличение роста растений при всё более высоких дозах азота в этих исследованиях может быть обусловлено неглубокой корневой системой лука, которая не позволяет ему использовать значительный объём почвы, а также состоянием почвы в районах выращивания.

Число листьев является одной из характеристик роста, на которую может существенно повлиять азотное удобрение, поскольку азот участвует в создании различных компонентов белков, необходимых для увеличения тканевой массы растения. Регистрируемое максимальное число листьев варьирует в зависимости от условий выращивания. В некоторых районах внесение 92 кг/га N является величиной, при которой регистрируется наибольшее число листьев [37]. В других работах отмечалось, что наибольшее число листьев

образуется при внесении 120 кг/га азота [41]. Дальнейшее увеличение дозы азота (150 кг/га N) рекомендуется для получения ещё большего числа листьев [42].

Ряд физиологических и биохимических процессов в растениях зависит от фосфора, который входит в состав аденозиндифосфата (АДФ), аденозинтрифосфата (АТФ), нуклеиновой кислоты (ДНК), фосфолипидов и фосфатов. Фосфор играет важную роль в переносе энергии, созревании растений, плодоношении и развитии семян [30].

Но также, как и в отношении азота, сведения о влиянии фосфора на лук репчатый неоднозначны. Одни исследователи сообщают, что фосфорное удобрение ускоряет рост и развитие растений [10, 36]. Напротив, другие утверждают, что фосфор не оказывает существенного влияния на рост растений [37]. Одно из последних исследований подтвердило, что фосфорные удобрения оказывают значительное влияние на параметры роста лука репчатого [43].

Таким образом, имеющиеся в научной литературе сведения разноречивы. Иногда недостаточно убедительны. Однако не подлежат сомнению факт, что и азот, и фосфор активизируют физиологические процессы в тканях растительного организма, что безусловно, сказывается на вегетативных параметрах лука репчатого, которые можно оценить количественно [44, 45, 46, 47, 48]. Разница сведений связана с сортовыми различиями, почвенными и производственными условиями возделывания.

2.4. Влияние азота и фосфора на характеристики луковиц лука репчатого

2.4.1. Толщина шейки луковицы

Толщина шейки луковицы является фактором, определяющим лёжку лука. Чем больше диаметр шейки, тем хуже лёжка [20, 38]. Увеличенная толщина шейки является физиологическим нарушением, в основном зависящим от времени года, места возделывания лука и его сорта, а не от наличия минеральных питательных веществ в почве [16]. В отчете [44] указано, что азот в дозе 200 кг/га увеличивал число луковиц с толстой шейкой. Другие авторы [37] отметили, что внесение азота и фосфора не влияло на образование луковиц с толстой шейкой.

Увеличение доз азота, усиливающего деление клеток, приводит к большему числу луковиц с толстой шейкой [49]. Избыточное азотное питание стимулирует непрерывное нарастание листьев, и луковицы не могут завершить нормальные процессы своего формирования. Следовательно, чем выше доза азота, тем выше диаметр шейки и хуже лёжка лука [50].

2.4.2. Диаметр и длина луковицы

Диаметр и длина луковиц варьирует в зависимости от сорта лука и его реакции на удобрения. Оптимальная подкормка NPK в разных дозах увеличивает диаметр луковицы [51]. Некоторые отчеты преувеличивают влияние азота на увеличение диаметра луковицы по сравнению с тем же показателем при совместном применении азотных и фосфорных удобрений. Прямое влияние фосфора на улучшение характеристик луковицы ограничено по сравнению с азотом [36, 52, 53].

Количество азотных удобрений для получения луковиц большего диаметра и большей высоты варьирует. Это зависит от состояния почвы и систем управления питанием лука в районах выращивания. В некоторых районах диапазон внесения азотных удобрений, который считается оптимальным для получения крупных луковиц, составляет от 120 до 150 кг/га N [53, 54].

Влияние азота и фосфора на диаметр и длину луковицы может быть связано с увеличением продукции сухого вещества, его распределением в луковице [55, 56].

Сообщается, что влияние удобрений (NPK) на диаметр и длину луковиц зависит от уровня подачи оросительной воды. Взаимодействие самого высокого уровня подачи и самого высокого уровня внесённых удобрений увеличивало диаметр и длину луковиц. Наоборот, высокий уровень удобрений при более низкой частоте орошения и низком уровне подачи воды, приводили к значительной потере удобрений. В такой ситуации удобрения оказывают меньшее влияние на диаметр и длину луковицы [57].

2.5. Урожайность и связанные с ней характеристики

2.5.1. Сухая масса луковицы

Сухая масса луковицы увеличивается с повышением количества вносимых азотных удобрений [58]. Так, урожайность лука и, соответственно, содержание в нём сухого вещества, прогрессивно повышалась на 7,00, 22,51 и 27,40 % (по сравнению с контролем), при повышении дозы азота до величины 50 кг/га N [59]. Увеличение дозы азота сверх оптимального уровня, приводит к снижению количества сухой массы луковицы из-за токсического действия удобрения [54, 60, 61].

Фосфор также способствует увеличению сухой массы луковицы и, соответственно, повышению урожайности лука [62, 63]. При увеличении дозы фосфора с 16 кг/га P_2O_5 до 48 кг/га зафиксировано увеличение урожая луковиц до 15,72 т/га [64].

2.5.2. Средняя масса луковицы

Масса луковицы лука репчатого прямо и положительно коррелирует с высотой растения, числом листьев, длиной листьев, количеством дней до созревания и размером луковицы. На массу луковицы и показатели урожайности влияет внесение азотных и фосфорных удобрений в период вегетации [4, 14, 15, 59, 63].

Масса луковицы положительно реагирует на добавление азота. Средняя её масса увеличивалась примерно на 26% при дозе 69 кг/га N по сравнению с контролем без удобрений; более высокая доза азота не увеличивала массу луковицы [37].

Внесение азотных и фосфорных удобрений значительно повлияло на массу луковиц. В его отчете приводятся данные, что повышение уровня азота с 72 кг/га N до 216 кг/га N увеличивало массу луковиц до 151,59 и 152,43 г в 2013/14 и 2014/15 годах соответственно. Точно так же средняя масса луковицы значительно увеличивалась, когда норма фосфора повышалась с 37 кг/га до 148 кг/га P_2O_5 [65].

2.5.3. Общий и товарный доход

Общий и товарный урожай луковиц являются основными хозяйственными характеристиками лука репчатого. Та доза удобрения, которая дает наиболее высокие уровни этих показателей, считается оптимальной и рекомендуется для выращивания лука. Но главная проблема при применении удобрений заключается в необходимости согласования стоимости удобрений и экономической отдачи от товарного урожая. Если урожай выше за счет добавления азотных и фосфорных удобрений, но соотношение затрат и выгод отрицательное, то соответствующий уровень добавления не рекомендуется для производителей товарного лука репчатого [15, 16, 43, 66].

В некоторых работах количество азота, необходимое для получения большего количества товарных луковиц, составляет всего 60 кг/га N [67]. В других сообщается, что для получения более высоких товарных и общих урожаев луковиц требуется до 250 кг/га N [63, 68, 69]. Это может быть связано с различиями в сортах, почве и условиях выращивания. Достаточно убедительным кажется другой отчет [55]. Исследователи выяснили, что увеличение внесения азотных удобрений с нуля до 120 кг/га N и выше, приводит к непрерывному увеличению товарной урожайности лука до тех пор, пока доза внесения не достигнет 160 кг/га N. Эта тенденция связана с тем, что все большие дозы внесения азотных удобрений вызывают всё большее увеличение фотосинтетической площади листьев растений, а это, в свою очередь, приводит к увеличению урожайности.

В отличие от азота, увеличение дозы внесения фосфора от нуля до 147 кг/га P_2O_5 не влияют на урожай луковиц [69]. Другие исследователи сообщают, что добавление фосфорных удобрений увеличивает урожай товарных и нетоварных луковиц вследствие усиления действия фосфора на рост растений и увеличения их фотосинтетической активности [62, 70].

Наивысшую общую урожайность луковиц получили при дозе 103,5 кг/га N и 138 кг/га P_2O_5 . В их отчете максимальная урожайность луковиц, полученная при такой комбинированной дозе, примерно на 53% выше минимальной общей урожайности луковиц, полученной при контрольном (нулевом) внесении двух удобрений [55].

2.6. Влияние азота и фосфора на качество лука

Влияние азота возможно количественно оценивать по содержанию сухого вещества, которое колеблется от 11 до 14% в луковицах. Увеличение количества азота в почве приводит к увеличению процента азота в луковицах, в то время как процентное содержание минералов в них не меняется. Однако, увеличение дозы азота свыше 200 кг/га N приводит к снижению процентного содержания сухого вещества [71].

Важнейшее и характерное свойство лука репчатого – острота, специфический запах и вкус, которые обуславливаются наличием эфирных масел, содержащих серу. Острота определяется как сорто-

выми особенностями, так и условиями выращивания, в частности, количеством азота в почве. Известно, что при избыточном внесении удобрений полуострые сорта лука могут получаться более острыми. При нарушении целостности тканей луковицы предшественники аромата, находящиеся в цитоплазме, реагируют с ферментом аллииназой, находящейся в вакуолях, с высвобождением широкого спектра высокореакционных сульфеновых кислот с характерным ароматом, а также пирувата и аммиака [72, 73]. Также известно, что содержание пировиноградной кислоты в луковицах тесно связано со степенью остроты лука. Содержание пировиноградной кислоты варьирует от 1 до 18 мкмоль для разных сортов лука. Количественное содержание пировиноградной кислоты было использовано в качестве показателя степени остроты при промышленном производстве сладкого лука в Джорджии, США: низкая острота (от 0 до 3 микромолей пировиноградной кислоты на грамм свежего лука), средняя острота (от 3 до 7 микромолей) и высокая острота (более 7 микромолей) [74].

При увеличении доз азота под лук репчатый от нулевого уровня до более высоких показателей, зафиксировано соответствующее увеличение содержания кальция и калия в луковицах. Но очень высокий уровень азота в почве привел к снижению содержания в них кальция [25, 75, 76].

Внесение фосфорных удобрений в химической форме и в составе биоудобрений увеличивает содержание белка, азота, фосфора и калия в луковицах, а также общее количество растворимых веществ (TSS) в них [77].

3. Влияние калия на рост, развитие и физиологию растений лука репчатого

Калий является одним из макро минеральных питательных веществ, влияющих на рост, развитие, урожайность и качество растений лука. Это один из наиболее доступных минералов в большинстве почв. Растения утилизируют прежде всего наиболее подвижные формы калия: калий почвенного раствора и обменный. По мере развития растений и возрастания усваивающей способности корневой системы в процесс питания в той или иной степени вовлекаются и необменные, запасные формы. Количество доступного калия всегда должно быть достаточно высоким, чтобы удовлетворить пиковые потребности растений, если целью является максимальная урожайность, так как низкая скорость выноса калия из запасных форм иногда может ограничивать урожайность [4, 25, 78-82].

Калий оказывает существенное положительное влияние на энергосистемы внутри растения, интенсивность фотосинтеза, окислительных процессов и образование органических кислот, участвует в углеводном и азотном обмене, влияет на активность ферментов, транс локацию и запасание ассимилятов в растениях [83-85].

Адекватное удобрение калием оказывает положительное влияние на формирование луковицы. Это также влияет на устойчивость растений лука к некоторым заболеваниям. Качество хранения луко-

виц улучшается при оптимальном удобрении калием. Дефицит калия у лука выражается в появлении бурых кончиков у старых листьев и плохом формировании луковиц. Недостаток калия особенно сильно проявляется при питании растений аммонийным азотом [86, 87].

Внесение калийных удобрений существенно влияет на вегетативный рост и развитие растений лука репчатого [4, 5, 88, 89]. Самый высокий рост растений наблюдался в ответ на внесение 120 кг/га K_2O , по сравнению с контролем он увеличивался на 7% [90]. При той же дозе внесения калия была зарегистрирована наибольшая высота растения лука 41 см [91].

Удобрение калием увеличивает также число листьев, их диаметр и длину. В эксперименте, проведенном с двумя формами калийных удобрений, хлоридом калия и нитратом калия, обе формы одинаково воздействовали на увеличение длины, сырой и сухой массы листьев [92]. Влияние калия на увеличение высоты растений и диаметра листьев может быть связано с его влиянием, главным образом, на физиологические процессы, фотосинтез, транспорт ассимилятов и водный баланс внутри растения лука [93].

В одном из исследований было показано, что наибольшее число листьев и их длина были наивысшими при внесении удобрения следующего состава: 150 % N + 75 % K_2O + 200 % S [94]. Роль калия в вегетативном росте лука заключается также в его положительном влиянии на поглощение других минералов, азота и фосфора. Таким образом, в дополнение к его прямому влиянию на рост и развитие растений, он также оказывает косвенное влияние на поглощение других питательных элементов [83, 85].

В отчетах других исследователей максимальная высота растения 41,8 см и наибольшее число листьев на растении были зарегистрированы при удобрении калием в дозе 175 кг/га K [95]. На почвах, удобренных достаточным количеством калия, в листьях лука происходило усиление фотосинтетической деятельности, повышалась ферментативная активность для синтеза белка и ускорялось перемещение ассимилятов. Подтверждено также, что при недостаточном питании калием, растения лука репчатого подвержены заболеваниям, задержке роста и снижению эффективности использования воды [96, 97].

3.1. Влияние K на урожайность и качество лука репчатого

Параметры урожайности лука, в основном длина луковицы, диаметр луковицы, сырая масса луковицы и выход товарных луковиц с гектара, в значительной степени зависят от дефицита и доступности минерального калия [84, 87]. При оптимальном снабжении K отмечен больший диаметр, длина, сырая масса луковиц и максимальная урожайность с гектара [95, 96]. При недостатке калия показатели урожайности и качество лука снижались [98, 99].

Согласно ряду исследований, самые высокие показатели урожайности были зафиксированы при внесении более высоких доз калийных удобрений, а самые низкие – при контроле (нулевой уровень калия) [88, 89]. При увеличении доз калия от контроля до 120

кг/га, общая урожайность лука увеличивалась примерно на 16%. Точно так же эта доза калия увеличивала выход товарной луковицы примерно на 50% по сравнению с контролем, что может быть связано с влиянием калия на усиление физиологических процессов в растениях лука [90, 98].

Внесение калия в почву дает более высокий урожай и качество луковиц, чем внекорневое внесение. Почвенное внесение калия в форме KNO_3 дало наибольший общий урожай, массу луковицы и сухих веществ [46]. Существует прямая зависимость вегетативного роста лука, и таких характеристик его урожая, как толщина шейки, диаметр луковицы, длина луковицы и товарный вес луковицы, от внесения калийных удобрений. [84, 91, 100, 101].

В других сообщениях указывалось, что прибавка урожая лука за счет удобрения калием связана с его значительным влиянием на синтез углеводов и белков, в результате чего в структуре урожая возрастает процент содержания крупных луковиц и возрастает выход товарного лука [85, 88, 96]. Качество лука, выраженное в TSS (общее количество растворимых веществ), является одним из параметров, на который существенно влияет калиевое удобрение. Применение калия в оптимальной дозе увеличивает количество TSS в растениях лука [98]. Добавление калия влияет и на другие параметры качества, такие, как содержание аскорбиновой кислоты, более высокое количество которой зафиксировано в растениях лука на удобренных землях, по сравнению с неудобренными [101].

Внесение калийных удобрений в дозах 120, 144 кг/га K_2O создавало пик образования питательных веществ в тканях лука (белок, углеводы N, P, K, Fe, Mn, Zn и Cu) и, соответственно, увеличивало процент содержания сухого вещества в луковицах [89, 100].

Заключение

Значительную роль в производстве лука играют минеральные удобрения, в основном азотные, калийные и фосфорные, определяющие рост, развитие растений, физиологические процессы в них, общий и товарный урожай луковиц.

Оптимальное количество удобрений, необходимых для получения высоких урожаев лука, разное, и зависит от климатических факторов, систем орошения, сортовых различий, почвенных и производственных условий возделывания.

Принимая во внимание отрицательное воздействие излишних количеств минеральных удобрений на почву, воду и атмосферу, следует для каждого из районов возделывания определить необходимые и достаточные дозы этих удобрений для получения максимальных урожаев с хорошим качеством продукции. При этом необходимо учитывать соотношение стоимости затрат на внесение удобрений и выгод от получения соответствующего урожая.

В настоящее время, в связи с установленной в мировом масштабе тенденцией на развитие органического земледелия, для повышения урожайности лука репчатого требуется разработка стратегии питания растений с использованием органических удобрений или их комбинаций с минеральными.

• Литература

1. Khokhar K.M. Mineral nutrient management for onion bulb crops – a review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2019;94(6):703-717.
2. Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н. Питание и удобрение овощных и плодовых культур. М.: Изд-во МСХА, 1998. 326 с.
3. Солдатенко А.В., Борисов В.А. Экологическое овощеводство. М., Изд-во ФГБНУ ФНЦО. 2022. 504 с. ISBN 978-5-901695-88-3. EDN HBRGMW.
4. Борисов В.А., Разин А.Ф., Меньших А.М., Бебрис А.Р. Продуктивность и качество новых гибридов лука репчатого при выращивании в однолетней культуре при капельном орошении в Московской области. *Орошаемое земледелие*. 2019;(2):50-53. DOI 10.35809/2618-8279-2019-2-14. EDN ZKONJF.
5. Борисов В.А., Ховрин А.Н., Бебрис А.Р., Фильрозе Н.А., Монахос Г.Ф. Действие удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество гибридов лука репчатого, выращенных в однолетней культуре при капельном орошении. *Овощи России*. 2018;(4):89-93. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-89-93>. EDN XTREST.
6. Сатункин И.В., Васильев И.В., Ванькова М.О. Влияние расчётных норм минеральных удобрений на эффективное плодородие чернозёма южного при капельном орошении лука репчатого. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016;2(58):34-36. EDN VVRXZH.
7. Кизяев Б.М., Бородычев В.В. Эффективность минерального питания овощных культур при капельном орошении. *Плодородие*. 2016;5(92):18-21. EDN WWRVXT.
8. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Соснов В.С. Управление фертигацией в овощеводстве. *Картофель и овощи*. 2022;(11):14-18. DOI 10.25630/PAV.2022.71.18.002. – EDN ONZLUO.
9. Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И., Рубцов А.А. Инновационные технологии орошения овощных культур. М.: "Ким Л.А.", 2021. 306 с.
10. Зайцева Н.А., Климова И.И., Ячменёва Е.В., Дьяков А.С., Зайцев С.В. Урожайность лука репчатого в условиях светло-каштановых почв Нижнего Поволжья в зависимости от вносимых удобрений. *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. 2021;4(50):18-21. DOI 10.32935/2221-7312-2021-50-4-18-21. EDN WLYHQF.
11. Филин В.И., Казаченко О.П. Эффективность разных систем применения удобрений при капельном орошении лука репчатого. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2012;1(25):42-47. EDN OWIDRF.
12. Лобанкова О.Ю., Исмаилов К.Б., Селиванова М.В. Влияние минеральной подкормки на продуктивность лука репчатого в условиях орошения в засушливой зоне. *Вестник АПК Ставрополя*. 2021;4(44):32-36. DOI 10.31279/2222-9345-2021-10-43-32-36. EDN ZWLQXJ.
13. Бабицев А.Н., Рубцов А.А., Бабенко А.А. Влияние минерального питания на урожайность лука репчатого. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2020;4(80):141-144. EDN MRQQPO.
14. Иркв И.И., Ибрагимбеков М.Г., Заплаткин А.Н., Багров Р.А. Оптимизация элементов технологии производства лука-репки в однолетней культуре в условиях Нечерноземья. *Картофель и овощи*. 2021;(3):25-28. DOI 10.25630/PAV.2021.39.61.001. – EDN BNPNEA.
15. Янченко Е.В., Бебрис А.Р. Сроки лежкости и реализации лука репчатого в зависимости от системы питания. *Овощи России*. 2021;(4):83-93. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-83-93>. EDN FBMGUT.
16. Борисов В.А., Коломиец А.А., Васючков И.Ю., Бебрис А.Р. Продуктивность и качество репчатого лука при использовании минеральных удобрений, биокмпостов и регуляторов роста. *Овощи России*. 2021;(5):39-43. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-39-43>. EDN ZRKCEH.
17. Sorensen J.N., Grevsen K. Sprouting in bulb onions (*Allium cepa* L.) as influenced by nitrogen and water stress. *J Hort Sci Biotechnol*. 2001;(76):501-506.
18. Rice R.P., Rice L.W., Tindall H.D. Fruit and vegetable production in warm climates 1993.
19. Buckland K., Reeve J.R., Alston D., Nischwitz C., Drost D. Effects of nitrogen fertility and crop rotation on onion growth and yield, thrips densities, iris yellow spot virus and soil properties. *Agric Ecosyst Environ*. 2013;(177):63-74.
20. Gebretsadik K., Dechassa N. Response of onion (*Allium cepa* L.) to nitrogen fertilizer rates and spacing under rain fed condition at tah-tay koraro, ethiopia. *Sci Rep*. 2018;8(1):9495.
21. Visser C.I.M. Effect of split application of nitrogen on yield and nitrogen recovery of spring-sown onions and on residual nitrogen. *J Hort Sci Biotechnol*. 1998;(73):403-411.
22. Inal M., Sunal E., Kanbak G., Zeytinoglu S. Effects of post-menopausal hormone replacement and alpha-tocopherol on the lipid profiles and antioxidant status. *Clin Chim Acta*. 1997;268(1-2):21-29.
23. Stone D.A. The effects of starter fertilizers on the growth and nitrogen use efficiency of onion and lettuce. *Soil Use Manage*. 2000;(16):4248.
24. Boyhan George E., Reid L. Torrance. Crop Reports Vidalia Onions — Sweet Onion Production in Southeastern Georgia. 2002;12(2).
25. Randle W.M. Increasing nitrogen concentration in hydroponic solutions affects onion flavour and bulb quality. *J Am Soc Hortic Sci*. 2000;(125):254-259.
26. Coolong T.W. Temperature, nitrogen, and sulfur fertility influence the flavor pathway in onion (*Allium cepa* L.) MS thesis. UnivGa, Athens. 2003.
27. Shock C.C., Feibert E.B.G., Saunders L.D. 2004. Pungency of selected onion varieties before and after storage <http://narc2002.wsu.edu>
28. Waraich E.A., Saifullah A.R., Ehsanullah M.Y. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *AJCS*. 2011;(5):764-777.
29. Tisdale S.L., Nelson W., Beaton L. Soil Fertility and Fertilizers 5th ed. 1995.
30. Miller R.W., Donahue R.L. Soils in Our Environment 6th ed. 1995.
31. Pant H.K., Reddy K.R. Potential internal loading of phosphorus in a wetland constructed in agricultural land. *Water Res*. 2003;37(5):965-972.
32. Hinsinger P. Bioavailability of soil inorganic phosphorus in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes. *Plant Soil*. 2001;237(2):173-195.
33. Mcpharlin I.R., Robertson W.J. Response of onions (*Allium cepa* L.) to phosphate fertilizer placement and residual phosphorus on a karrakatta sand. *Aust J Exp Agric*. 1999;(39):351-359.
34. Greenwood D.J., Stone D.A., Karpinets T.V. Dynamic model for the effects of soil P and fertilizer P on crop growth, P uptake and soil P in arable cropping: Experimental test of the model for field vegetables. *Ann Bot (Lond)*. 2001;(88):293-306.
35. Alt D., Ladebusch H., Melzer O. Long-term trial with increasing amounts of phosphorus, potassium and magnesium applied to vegetable crops. *Acta Hort*. 1999;(506):29-36.
36. Rizk F.A. Productivity of onion plant (*Allium cepa* L.) as affected by method of planting and NPK application. *Egypt J Hort* 1997; 24(2): 219-238.
37. Abdissa Y., Tekalign T., Pant L.M. Growth, bulb yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) as influenced by nitrogen and phosphorus fertilization on vertisol I. *Afr J Agric Res*. 2011;6(14):3252-325.
38. Fisseha M. Response of onion (*Allium cepa* var. cepa) to combined application of farmyard manure and inorganic nitrogen and phosphorus fertilizer at Alage, Ethiopia. MSc thesis 2010.
39. Maier N.A., Dahlenburg A.P., Twigden T.K. Assessment of the nitrogen status of onions (*Allium cepa* L.) cv. Cream Gold by plant analysis. *Aust J Exp Agric* 1990; 30(6): 853.
40. Lee-Jongatae; Ha-Injong; lee-Changung; Moon-Jinseong and Cho-Yongcho. Effect of N, P₂O₅ and K₂O application rates and top-dressing time on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) under spring culture in low land. *Korean J Hort Sci Tech*. 2003;21(4):260-266.
41. Nasreen S., Haque M., Hossain M., Farid A. Nutrient uptake and yield of onion as influenced by nitrogen and sulphur fertilization.

Bangladesh J Agric Res. 2008;32(3):413-420.

42. Vachhani M.U., Patel Z.O. Effect of nitrogen, phosphorus and potash on bulb yield and quality of onion (*Allium cepa*). *Indian J Agron.* 1993;(3):333-334.
43. Amare G., Mohammed W., Tana T. Effect of plant spacing and np fertilizer levels on growth, seed yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) at shewa robit, northern Ethiopia. *Open Biotechnol J.* 2020;14(1).
44. Jilani M.S. Studies on the management strategies for bulb and seed production of different cultivars of onion (*Allium cepa* L.). PhD thesis 2004; 1-499.
45. Rezaei E.E., Kafi M.B.M. Nitrogen and cultivated bulb weight effects on radiation and nitrogen-use efficiency, carbon partitioning and production of persian shallot (*Allium altissimum* Regel.). *J Crop Sci Biotechnol.* 2013;(16):237-244.
46. Sharangi A.B.S.P. Effect of placement and dose of phosphatic fertilizers on onion. *J Plant Nutr.* 2009;(32):1901-1913.
47. Rizk F.A., Shaheen A.M., Abd El-Samad E.A., Sawan O.M. Effect of different nitrogen plus phosphorus and sulphur fertilizer levels on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *J Appl Sci Res.* 2012;(8):3353-3361.
48. El Hamady M.M. Growth and Yield of Onion *Allium cepa* L. as Influenced by Nitrogen and Phosphorus Fertilizers Levels. *Can J Agric Crop.* 2017;(2):34-41.
49. Syed N., Manir M., Alizai A.A., Ghaffoor A. Onion shelf life as a function of the levels of nitrogen and potassium application. *J Biol Sci.* 2001;1(2):71-73.
50. Lemma Dessalegne and Shimeles Aklilu. Research Experiences in Onion production. Research Report No 55 Ethiopia Agricultural Research Organization 2003. Addis Ababa, Ethiopia.
51. Ghaffoor A, Jilani MS, Khaliq G, Waseem K. Effect of different NPK levels on the growth and yield of three onion (*Allium cepa* L.) varieties. *Asian J Plant Sci.* 2003;2(3):342-346.
52. Burba J.L., Galmarini C.R. 1994. First international symposium on edible Alliaceae. International Society for Horticultural Science, Mendoza, Argentina.
53. Yadav R.L., Sen N.L., Yadav B.L. Response of onion to nitrogen and potassium fertilization under semi-arid condition. *Ind. J. Hort.* 2003;(60):176-178.
54. Nasreen S., Haque M.M., Hossain M.A., Farid A.T.M. Nutrient uptake and yield of onion as influenced by nitrogen and sulphur fertilization. *Bangladesh J Agric Res.* 2007;32(3):413-420.
55. Tekeste N., Dechassa N., Woldetsadik K., Dessalegne L., Takele A. Influence of nitrogen and phosphorus application on bulb yield and yield components of onion (*Allium cepa* L.). *Open Agric J.* 2018;12(1):194-206.
56. Yoldas F., Ceylan S., Mordogan N., Esetili B.C. Effect of organic and inorganic fertilizers on yield and mineral content of onion (*Allium cepa* L.). *Afr J Biotechnol.* 2011;10(55):11488-11492.
57. Piri H., Amir N. Effect of Different Levels of Water, Applied Nitrogen and Irrigation Methods on Yield, Yield Components and IWUE of Onion. *Sci Hortic.* 2020.
58. Pandey U.C., Ekpo U. Response of nitrogen on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) in Maiduguri region of Borno State, Nigeria. *Research and Development Reporter.* 1991;8(1):5-9.
59. Kumar S., Sushant C.P. Bulb yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) as affected by application rates of nitrogen and potassium fertilizer. *Agric Sci Dig.* 2006;26(1):11-14.
60. Anwar M.N., Sarker J.U., Rahman M., Islam M.A., Begum M. Response of onion to nitrogen, phosphorus, potassium, sulphur and zinc. *Bangladesh Journal of Environmental Sciences Aust J Basic & Appl Sci.* 2007;(7):68-72.
61. Messele B. Effects of Nitrogen and Phosphorus Rates on Growth, Yield, and Quality of Onion (*Allium cepa* L.) At Menschen Für Menschen Demonstration Site, Harar, Ethiopia. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal* 2016;1(3):1-8.
62. Gupta R.P., Sharma V.P. Effect of different spacing and levels of nitrogen for production of export quality onion bulbs planted on raised bed. *News Letter National Horticultural Research and Development Foundation.* 2000;20(1-4):13-16.
63. Shaheen A.M., Abdel-Mouty M.M., Ali A.H., Rizk F.A. Natural and chemical phosphorus fertilizers as affected onion plant growth, bulbs yield and its some physical and chemical properties. *Aust J Basic Appl Sci.* 2007;1(4):519-524.
64. Morsy M.G., Marey R.A., Karam S.S., Abo-Dahab A.M. Productivity and storability of onion as influenced by the different levels of NPK fertilization. *J. Agri. Res. Kafer El-Sheikh Univ.* 2012;38(1):171-187.
65. El-Hamady M.M. Growth and yield of onion *Allium cepa* L. as influenced by nitrogen and phosphorus fertilizers levels. *Can J Agric Crops* 2017; 2(1): 34-41.
66. Shege G., Melkamu A., Amare H., Yigzaw D. Economic and Agronomic optimum rate of NPS fertilizer for irrigated garlic (*Allium sativum* L.) Production in high lands of Ethiopia Department of horticulture Debre Markose University, Burie campus. 2017.
67. Cizauskas, A & Viskelis, Pranas & Dris, R & Oladele, O.I.. (2004). Influence of nitrogen rates on onion yield, quality and storability. *Moor Journal of Agricultural Research.* 4. 10.4314/mjar.v4i1.31758.
68. Mahmoud Asmaa R. Response of onion plants to minerals and bio-fertilizers application. *Application Res J Agric & Biol Sci.* 2006;2(6):292-298.
69. Boyhan George E., Reid L. Torrance. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium rates and fertilizer sources on yield and leaf nutrient status of short-day onions. 2002;42(3).
70. Ghoname A., Fawzy Z.F., El-Bassiony A.M., Riadand G.S., Abd El-Baky M.M.H. Reducing onion bulbs flaking and increasing bulb yield and quality by potassium and calcium application. *Aust J Basic Appl Sci.* 2007;1(4):610-618.
71. Hansen S.L., Henriksen K. Increasing the dry matter production in bulb onions (*Allium cepa* L.). *Denmark Department of Fruit, Vegetable and Food Science.* 2001;(2):147-152.
72. Randle W.M., Ketter C.A. Pungency assessment in onions. Proceedings of the 19-workshop conference of the Association for Biology Laboratory Education (ABLE) 1998; 177-96. <http://www.zoo.utoronto.ca/able/volumes/copyright.htm>
73. Schwimmer S., Weston W.J. Enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency. *J Agric Food Chem.* 1961;(9):301-304.
74. Shock C.C., Feibert B.G., Saunders L.D. Plant population and nitrogen fertilization for subsurface drip-irrigated onion. *HortScience.* 2004;39(7):1722-1727.
75. Woldetsadik K. Shallot (*Allium cepa* var. *ascalonicum*) Responses to plant nutrients and soil moisture in a subhumid tropical climate Doctoral dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp 2003; 1-28.
76. Coolong T.W., Kopsell D.A., Kopsell D.E., Randle W.M. Nitrogen and sulfur influence nutrient usage and accumulation in onion. *J Plant Nutr.* 2004;(27):1667-1686.
77. Shaheen A.M., Omer N., Fawzy Z.F. The effect of natural and / or chemical phosphorus fertilizer in combination with or without bio-phosphorus fertilizer on growth, yield and its quality of onion plants. *Middle East J Agric Res.* 2012;(1):47-51.
78. Moustafa Y. Onion quality and storage ability affected by potassium humate and NPK doses. *EC Agric.* 2019;5:227-235.
79. Biswas T.D., Mukherjee S.K. Text Book of Soil Science 5th ed. 1993; 170-197.
80. Acquaye T.M.A.J.M., Rie H.M. Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. *Soil Sci.* 1967;103:79-89.
81. Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D., Halvin J.L. Soil Fertility and Fertilizers 5th ed. 1995; 109-229.
82. El-Bassiony A.M. Effect of potassium fertilization on growth, yield and quality of onion plants. *J Appl Sci Res.* 2006;2:780-785.
83. Yaso I.A., Abdel-Razzak H.S. Effect of NPK fertilization on bulb yield and quality of onion under reclaimed calcareous soil conditions. *J Agric Egypt Env Sci Alex Univ.* 2007;6.
84. EL-Desuki M., Abdel-Mouty M.M., Ali A.H. Response of onion plants to additional dose of potassium application. *J Appl Sci Res.* 2006;2:592-597.
85. Bolandnazar S., Mollavali M., Tabatabaei S.J. Influence of NH₄NO₃ and K₂SO₄ on qualitative characteristics of onion. *Sci Hortic (Amsterdam).* 2012;136:24-28.
86. Boyhan G.E., Torrance R.L. Crop Reports *Vidalia Onions — Sweet Onion Production in Southeastern Georgia* 2002; 12.

87. Maisura M., Nurdin M., Muslina M. Effect of manure and NPK fertilizers on growth and production of onion (*Allium cepa* L.). *J Trop Hortic*. 2019;2:16.
88. Mohamed A., El-Damarany A., Marey R. Effect of planting dates and fertilization on yield and yield components of onion (*Allium cepa* L.) Grown from Sets. *J Plant Prod*. 2018;9:1031-1044.
89. Bekele M. Effects of different levels of potassium fertilization on yield, quality and storage life of onion (*Allium cepa* L.) at Jimma, Southwestern Ethiopia. 2018.
90. Aftab Samra Hamid. Impact of potassium on the growth and yield contributing attributes of onion (*Allium cepa* L.). *Asian Res J Agric*. 2017;7:1-4.
91. Riad G. Reducing Onion Bulbs Flaking and Increasing Bulb Yield and Quality by Potassium and Calcium Application. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2007;1(4):610-618.
92. Marschener P. Mineral Nutrition of Higher Plants Third Edit. 2012.
93. El-Morsy A., El-Kasas A., El-Tantawy A. Onion plant growth and yield as affected by nitrogen, potassium and sulphur combinations under el-arish region conditions. *Sinai J Appl Sci*. 2016;5:345-362.
94. Mozumder S., Moniruzzaman M., Halim G. Effect of N, K and S on the Yield and storability of transplanted onion (*Allium cepa* L.) in the Hilly Region. *J Agric Rural Dev*. 1970;5:58-63.
95. Singh S.P., Verma A.B. Response of onion (*Allium cepa*) to potassium application. *Indian J Agron*. 2001;46:182-185.
96. Greenwood D.J., Stone D.A. Prediction and measurement of the decline in the critical-K, the maximum K and total plant cation concentration during the growth of field vegetable crops. *Ann Bot*. 1998;82:871-881.
97. Mandal J., Acharyya P., Bera R., Mohanta S. Response of Onion to NPK, S and Micronutrients. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*. 2020;9:1137-1144.
98. Gamiely S., Randle W.M., Mills H.A., Smittle D.A., Banna G.I. Onion plant growth, bulb quality, and water uptake following ammonium and nitrate nutrition. *HortScience*. 2019;26:1061-1063.
99. Ali H., Taalab A.S. Effect of natural and / or chemical potassium fertilizers on growth, bulbs yield and some physical and chemical constituents of onion (*Allium cepa* L.). *J Agric Biol Sci*. 2008;4:228-237.
100. Liu S., He H., Feng G., Chen Q. Effect of nitrogen and sulfur interaction on growth and pungency of different pseudostem types of Chinese spring onion (*Allium fistulosum* L.). *Sci Hortic (Amsterdam)*. 2009;121:12-18.
101. Singh S.K., Kumar M.S., Singh P.K., Yadav L.M. Effect of sulphur sources and levels on growth, yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Curr J Appl Sci Technol*. 2020;21:1-4.
102. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов. [State catalog of pesticides and agrochemicals.] <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rasteniievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/?ysclid=In0an7v8z4567059384>
4. Borisov V.A., Razin A.F., Menshikh A.M., Bebris A.R. Productivity and quality of new hybrids of bulb onion when grown in annual crops with drip irrigation in the Moscow region. *Irrigated agriculture*. 2019;(2):50-53. DOI 10.35809/2618-8279-2019-2-14. EDN ZKONJF. (In Russ.)
5. Borisov V.A., Khovrin A.N., Bebris A.R., Fillrose N.A., Monahos G.F. The effect of fertilizers and growth regulators on yield and quality of hybrid onion, grown in annual crops under drip irrigation. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(4):89-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-89-93>. EDN XTXEST.
6. Satunkin I.V.1, Vasilyev I.V.1, Vankova M.O. Effect of estimated rates of mineral fertilizers on the fertility of southern chernozem soils with drip-irrigated onion. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2016;2(58):34-36. EDN VVRXZH. (In Russ.)
7. Kizyaev B.M., Borodychev V.V. Efficiency of mineral nutrition of vegetable crops under drip irrigation. *Plodorodie*. 2016;5(92):18-21. EDN WWRVXT. (In Russ.)
8. Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Sosnov V.S. Fertigation management for vegetable growing. *Potato and vegetables*. 2022;(11):14-18. DOI 10.25630/PAV.2022.71.18.002. – EDN ONZLUO. (In Russ.)
9. Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Ivanova M.I., Rubtsov A.A. Innovative technologies for irrigation of vegetable crops. M.: "Kim L.A.", 2021. 306 p. (In Russ.)
10. Zaitseva N.A., Klimova I.I., Yachmeneva E.V., Dyakov A.S., Zaitsev S.V. Effect of fertilizers on onion productivity on light chestnut soils in the Lower Volga region. *Theoretical and applied problems of agro-industry*. 2021;4(50):18-21. DOI 10.32935/2221-7312-2021-50-4-18-21. EDN WLYHQF. (In Russ.)
11. Filin V.I., Kazachenko. O.P. The effectiveness of different fertilizer application systems for drip irrigation of onions. *Proceedings of lower volga agro-university complex: science and higher education*. 2012;1(25):42-47. EDN OWIDRF. (In Russ.)
12. Lobankova O.Yu., Ismailov K.B., Selivanova M.V. The effect of mineral fertilizing on the productivity of onions under irrigation conditions in the arid zone. *Agricultural bulletin of Stavropol region*. 2021;4(44):32-36. DOI 10.31279/2222-9345-2021-10-43-32-36. EDN ZWLQXJ. (In Russ.)
13. Babichev A.N., Rubtsov A.A., Babenko A.A. The influence of mineral nutrition on the yield of onions. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture*. 2020;4(80):141-144. EDN MRQPO. (In Russ.)
14. Irkov I.I., Ibragimbekov M.G., Zaplatkin A.N., Bagrov R.A. Optimization of onion production technology under annual growing in non-chernozem zone. *Potato and vegetables*. 2021;(3):25-28. DOI 10.25630/PAV.2021.39.61.001. EDN BNPNEA. (In Russ.)
15. Yanchenko E.V., Bebris A.R. Periods of keeping quality and realization of onions depending on the nutrition system. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):83-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-83-93>. EDN FBMGUT.
16. Borisov V.A., Kolomiets A.A., Vasyuchkov I.Yu., Bebris A.R. Productivity and quality of onions when using mineral fertilizers, biocompost and growth regulators. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(5):39-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-39-43>. EDN ZRKCN.

• References

2. Deryugin I.P., Kulyukin A.N. Nutrition and fertilization of vegetable and fruit crops. M.: Publishing house MCHA, 1998. 326 p. (In Russ.)
3. Soldatenko A.V., Borisov V.A. Ecological vegetable growing. M. 2022. 504 p. ISBN 978-5-901695-88-3. EDN HBRGMW. (In Russ.)

Об авторах:

Ольга Николаевна Успенская – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-4843-2067>

Александр Юрьевич Федосов – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>

Александр Михайлович Менших – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, автор для переписки, soulsunnet@yandex.ru

Игорь Юрьевич Васючков – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-4143-3294>

About the Authors:

Olga N. Uspenskaya – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-4843-2067>

Alexander Yu. Fedosov – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>

Alexander M. Menshikh – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, Correspondence, soulsunnet@yandex.ru

Igor Yu. Vasyuchkov – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-4143-3294>

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-61-65>
УДК 635.621-02(089) (571.1)

Н.Г. Казыдуб*, Ю.А. Каштанова

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А.Столыпина»
644008, Россия, г. Омск, Институтская пл., д.1

*Автор для переписки: ng-kazydub@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в анализе материалов, написании текста статьи и формировании выводов.

Для цитирования: Казыдуб Н.Г., Каштанова Ю.А. Продуктивность и качественная оценка коллекционных образцов тыквы (*Cucurbita* L.) в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Овощи России*. 2023;(6):61-65.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-61-65>

Поступила в редакцию: 31.05.2023

Принята к печати: 10.10.2023

Опубликована: 04.12. 2023

Nina G. Kazydub*, Yuliya A. Kashtanova

Omsk State Agrarian University
named after P. A. Stolypin
644008, Russia, Omsk, Institutskaia square, 1

*Correspondence: ng-kazydub@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, writing the text of the article and forming conclusions.

For citation: Kazydub N.G., Kashtanova Yu.A. Productivity and quality of collection samples of pumpkin (*Cucurbita* L.) in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):61-65. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-61-65>

Received: 31.05.2023

Accepted for publication: 10.10.2023

Published: 04.12. 2023

Продуктивность и качественная оценка коллекционных образцов тыквы (*Cucurbita* L.) в условиях южной лесостепи Западной Сибири



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В настоящее время приоритетным направлением в развитии пищевой промышленности является использование местного сырья и производство продуктов, обладающих повышенной пищевой ценностью, т.е. с повышенным содержанием микронутриентов, к которым относятся витамины, минеральные вещества, макро и микроэлементы. Одним из таких продуктов растительного происхождения является культура тыква. Возделывание высокоурожайных, универсальных, богатых питательными веществами культур, таких как тыква, играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности. При выведении новых улучшенных сортов особое внимание уделяется адаптивности культуры к условиям выращивания, а также порционным плодам с высокими вкусовыми и технологическими качествами.

Цель. Подбор наиболее адаптированных, продуктивных, с высокими качественными показателями образцов тыквы для селекции и их возделывания в промышленном производстве и частном секторе в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

Материалы и методы. Полевые исследования проводились в 2021-2022 гг. на опытном участке селекционного (органического) севооборота, в учебно-опытном хозяйстве ФГБОУ ВО Омского ГАУ. Метеорологические условия в годы проведения опытов были различными, но достаточно типичными для климата южной лесостепи Омской области. Объектом исследований являются 5 сортов тыквы крупноплодной: Диетическая, Красный этамп, Крошка, Медовая крошка, Медовый десерт; и пять мускатной из них два образца селекции Омского ГАУ: 1/15, 2/15; три образца селекции ФГБОУ ВО РГАЗУ: 4/21, 5/21, 7/21. Наблюдения, учеты и анализ проводили по общепринятым методикам.

Результаты. Биологическая урожайность изучаемых сортообразцов варьируется от 10,3 до 42,2 т/га в 2021 году и от 18,2 до 35,8 т/га в 2022 году.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

тыква, урожайность, качество, каротин, сахара

Productivity and quality of collection samples of pumpkin (*Cucurbita* L.) in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia

ABSTRACT

Relevance. Currently, the priority direction in the development of the food industry is the use of local raw materials and the production of products with increased nutritional value, i.e. with an increased content of micronutrients, which include vitamins, minerals, macro and microelements. One of these products of plant origin is the pumpkin culture. The cultivation of high-yielding, versatile, nutrient-rich crops, such as pumpkin, plays an important role in ensuring food security. When breeding new improved varieties, special attention is paid to the adaptability of the crop to growing conditions, as well as to portion fruits with high taste and technological qualities.

Purpose. Selection of the most adapted, productive, high-quality pumpkin samples for breeding and their cultivation in industrial production and the private sector in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia.

Material and methods. Field research was conducted in 2021-2022 at the experimental site of the selection (organic) crop rotation, in the educational and experimental farm of the Omsk State Agrarian University. Meteorological conditions during the years of the experiments were different, but quite typical for the climate of the southern forest-steppe of the Omsk region. The object of research are 5 varieties of large-fruited pumpkin: Dietary, Red etamp, Crumb, Honey crumb, Honey dessert; two samples of selection of the Omsk State Agrarian University: 1/15, 2/15; three samples of selection of the FGBOU IN RGAZU: 4/21, 5/21, 7/21. Observations, accounting and analysis were carried out according to generally accepted methods.

Results. The biological yield of the studied cultivars varies from 10.3 to 42.2 t/ha in 2021 and from 18.2 to 35.8 t/ha in 2022.

KEYWORDS:

pumpkin, yield, quality, carotene, sugar

Введение

Тыква – это ценный продукт, отличающимся своим богатым химическим составом. Это перспективная культура, которая используется не только в качестве продукта питания, но и для кормовых целей, а также в фармацевтической промышленности. Гармоничное содержание белков, углеводов, сахаров, витаминов, органических кислот и ферментов, содержащихся в тыкве, оказывает благоприятное воздействие на организм человека [1]. В состав мякоти плодов тыквы входят: каротиноиды, пищевые волокна, полисахариды, витамины (Т, С, В1, В2, В3, В6, В9, Е, РР), микроэлементы (Fe, Zn, I, Cu, Mn, F, Co), макроэлементы (Ca, K, Mg, Na, P, Cl, S). В семенах содержится до 50% жирных масел, аминокислоты, смолистые вещества, витамины группы В, С, Е, органические кислоты, аскорбиновая кислота, а также белковые вещества [2]. Благодаря своему химическому составу тыква обладает широким спектром физиологической направленности (противодиабетическое, антиоксидантное, антиканцерогенное, гипотензивное, гипогликемическое, гипохолестеринемическое и противовоспалительное действие) [3].

Н.И. Вавилов отмечал: «Разнообразие тыкв удивительно велико ...» [4].

Род тыква (*Cucurbita* L.) включает около 30 видов, из которых 6 относятся к культурным. В Российской Федерации повсеместно распространены три вида: крупноплодная – *Cucurbita maxima* Duch; твердокорая – *Cucurbita pepo* L.; мускатная – *Cucurbita moschata* Duch. Указанные виды имеют явные различия по морфологическим признакам стеблей, листьев, плодов и семян. В каждом из них выделены сорта различного назначения: столовые, кормовые и универсальные [5].

Помимо потенциала по биохимическому составу, тыква обладает высоким технологическим потенциалом: возделывается в широком диапазоне агроклиматических условий; не предъявляет повышенных требований к уходу; имеет сохранность плодов более 6 месяцев [6].

Материалы и методы исследований

Полевые исследования проводили в 2021-2022 годах на опытном участке селекционного (органического) севооборота, в Учебно-опытном хозяйстве ФГБОУ ВО Омского ГАУ. Метеорологические условия в годы проведения опытов были различными, но достаточно типичными для климата южной лесостепи Омской области.

Объектом исследований являются 5 сортов тыквы крупноплодной: Диетическая, Красный этамп, Крошка, Медовая крошка, Медовый десерт и пять мускатной из них – два образца селекции Омского ГАУ: 1/15, 2/15; три образца селекции ФГБОУ ВО РГАУ: 4/21, 5/21, 7/21.

Опыты закладывались на однорядковых делянках в четырехкратной повторности по схеме: 2,5х1 м. Посев проводился вручную – 20 мая. Между рядами в качестве кулис высевали бобы. Уход заключался в регулярных рыхлениях почвы и формировке растений. Уборка коллекционных образцов проводилась однократно в конце сентября. Спелость тыквы определяется по одревеснению плодоножки, затвердению коры (у некоторых сортов) и изменению окраски [7]. Перед уборкой проводился осмотр растений на выявление сортовых примесей по апробационным признакам в соответствии с описанием сорта. Наблюдения, учеты и анализ проводили по обще-

принятым методикам: методика государственного сортоиспытания [8], методика полевого опыта в овощеводстве [9]. Математическая обработка данных проводилась по Б.А. Доспехову [10].

Результаты и их обсуждение

По данным ФАО за последние 15 лет мировое производство овощей и бахчевой продукции увеличилось. В 2021 году согласно данным Министерства сельского хозяйства в РФ бахчевыми культурами занято было около 33, 7 тыс. га. Валовый сбор находился в пределах 600–800 тыс. т. и урожайность в промышленном производстве в зависимости от климатической зоны варьирует от 18,0 до 19,0 т/га [11].

В процессе изучения коллекционных сортообразцов нами определены элементы продуктивности и биологическая урожайность культуры (табл. 1). Продуктивность растений определялась по количеству сформировавшихся плодов на каждом учетном растении и их массу.

Исходя из полученных данных, в среднем за два года проведенных опытов на одном растении тыквы созревало по 2 плода. Существенных различий по количеству плодов у исследуемых сортообразцов не выявлено. Наибольшая масса плода была отмечена в 2021 году у сорта Медовый десерт (стандарт) и составила 10,5 кг; в 2022 году у образца 1/15 – 8,4 кг.

Среднестатистическая урожайность тыквы составляет от 30 до 80 т/га [11]. Некоторые образцы были в пределах данного показателя, а некоторые не достигли желаемых результатов в виду климатических условий региона и видовых особенностей. Урожайность в опытах варьировала от 10,3 т/га (2/15) до 42,2 т/га (Медовый десерт).

Создание порционных сортов культуры – приоритетное направление в селекции [12], и по данному признаку в коллекции мы выделили сорт Крошка и образцы 2/15, 5/21, 7/21 с массой плода от 1,5 до 3-х кг. Выделенные новые источники рекомендованы для использования в современных направлениях селекции.

Как отмечалось, в качестве полезного продукта питания у культуры употребляется не только мякоть тыквы, но и семена. Значимость тыквенных семечек для организма человека определяется химическим составом. Основные признанные компоненты, являющиеся полезными для здоровья, входящие в состав семян являются омега-3, омега-6, жирные кислоты, клетчатка, антиоксиданты, витамины и минералы [13]. Таким образом, выход семян также является значимым показателем, значение которого в 2021 году достигло 328 кг/га у сорта Медовая крошка, в 2022 году данный показатель был значительно выше у сорта Красный этамп – 388 кг/га.

Гармоничное сочетание в мякоти тыквы углеводов, сахаров, витаминов и т.д., также оказывает благоприятное воздействие на организм человека. Простые сахара придают тыкве сладкий вкус, являются основным поставщиком энергии, обеспечивают высокую усвояемость. После уборки плодов, с помощью рефрактометра было определено содержание сахара в мякоти плодов (рис. 1).

Содержание сахара в исследуемых образцах в 2021 году варьировалось от 5,2% у сорта Красный этамп до 16,5% у сорта Медовая крошка; в 2022 году от 5,5% до 13,6 так же у сорта Медовая крошка. Наибольшие показатели данного признака отмечаются у сорта Крошка

Таблица 1. Элементы продуктивности и урожайность коллекционных образцов разных видов тыквы, 2021-2022 годы
Table 1. Elements of productivity and yield of collectible pumpkin samples, 2021-2022

№ п/п	Сорт/образец	Количество плодов шт./раст.	Средняя масса плода, кг	Продуктивность растения, кг	Урожайность, т/га	Выход семян, кг/га
2021 год						
1	Медовый десерт (стандарт)	1	10,5	10,5	42,2	108,2
2	Диетическая	2	2,6	5,2	20,7	104,1
3	Красный этамп	1	7,8	7,8	31,3	188,3
4	Крошка	2	1,8	3,6	14,6	232,0
5	Медовая крошка	2	3,6	7,2	28,7	328,3
6	Образец 1/15	1	5,4	5,4	21,7	100,5
7	Образец 2/15	2	1,3	2,6	10,3	132,4
8	Образец 4/21	2	3,7	7,4	29,6	76,7
9	Образец 5/21	2	2,5	5,0	19,8	52,6
10	Образец 7/21	2	2,9	5,8	23,1	64,8
	HCP _{0,5}	-	-	-	2,42	13,84
2022 год						
1	Медовый десерт (стандарт)	1	7,0	7,0	28,2	88,4
2	Диетическая	2	4,5	9,0	35,8	264,0
3	Красный этамп	1	7,8	7,8	31,3	388,2
4	Крошка	2	2,3	4,6	18,2	296,1
5	Медовая крошка	2	2,9	5,8	23,2	324,4
6	Образец 1/15	1	8,4	8,4	33,7	160,8
7	Образец 2/15	2	2,6	5,2	21,1	332,0
8	Образец 4/21	2	3,6	7,2	29,0	216,3
9	Образец 5/21	2	2,7	5,4	21,7	232,4
10	Образец 7/21	2	2,9	5,8	23,0	80,7
	HCP _{0,5}	-	-	-	2,65	23,8

11,5-13,5% и Диетическая 12,6-13,3%. По среднестатистическим данным содержание сахара в мякоти плодов тыквы в среднем отмечается на уровне от 10 до 14%. Результаты анализа показывают, что часть образцов оказалась в пределах данного показателя и выше.

Одним из значимых в составе плодов тыквы является каротин, который способствует укреплению иммунной

системы организма. Преобладающими среди каротиноидов являются в основном β -каротин, α -каротин и лютеин [14]. Образцы изучаемых коллекционных образцов тыквы были направлены в центральную учебно-научную лабораторию аграрно-технологических исследований ФГБОУ ВО Омского ГАУ. Полученные результаты представлены на рис. 2.



Рис. 1. Содержание сахара в мякоти коллекционных образцов разных видов тыквы, 2021-2022 годы
Fig. 1. Sugar content in the pulp of pumpkin collection samples, 2021-2022

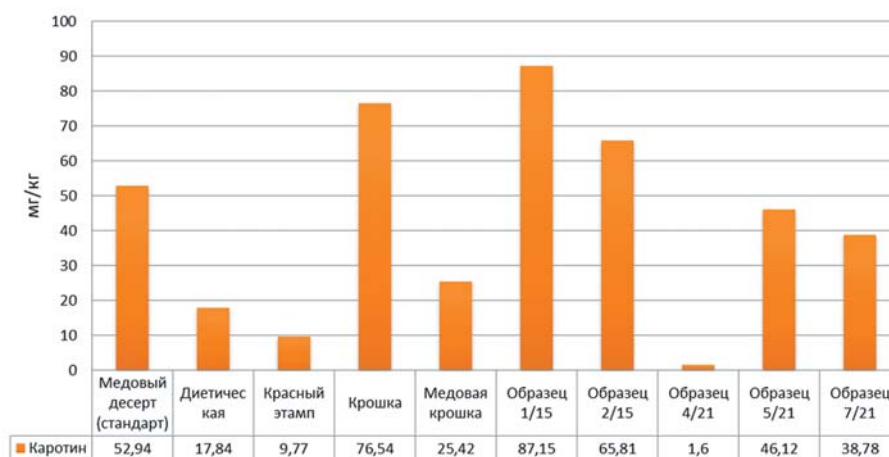


Рис. 2. Содержание каротина в мякоти коллекционных образцов разных видов тыквы, 2022 год
Fig. 2. The content of carotene in the pulp of collection samples of pumpkin, 2022

Таблица 2. Органолептические показатели коллекционных образцов разных видов тыквы, 2022 год
Table 2. Organoleptic indicators of pumpkin collection samples, 2022

№ п/п	Сорт/образец	Окраска мякоти	Аромат в свежем виде	Консистенция мякоти	Вкус, балл
1	Медовый десерт (стандарт)	ярко-оранжевая	яркий (приятный)	грубая, мучнистая	4,5
2	Диетическая	желто-оранжевая	средний (приятный)	очень нежная, волокнистая	4,0
3	Красный этамп	светло-оранжевая	слабый	очень нежная, волокнистая	4,0
4	Крошка	светло-оранжевая	яркий	нежная	4,2
5	Медовая крошка	оранжевая	яркий (приятный)	грубая, мучнистая	4,0
6	Образец 1/15	ярко-оранжевая	яркий	грубая, мучнистая	4,0
7	Образец 2/15	оранжевая	средний	грубая	4,2
8	Образец 4/21	светло-оранжевая	слабый	нежная	4,5
9	Образец 5/21	оранжевая	слабый	грубая	4,2
10	Образец 7/21	ярко-оранжевая	яркий (приятный)	нежная	4,5

По результатам исследований содержание каротина в изучаемых образцах варьировало от 1,6 до 87,15 мг/кг за исключением образца 4/21 (1,6 мг/кг). Следует выделить по данному признаку образец 1/15 (87,15 мг/кг) и сорт Крошка (75,2 мг/кг).

Питание является основополагающим фактором обеспечения здоровья человека. Пищевая ценность тыквы местного производства является актуальным при разработке продуктов здорового питания [15]. При этом вкусовые качества должны соответствовать определенному типу переработки. В связи с этим неотъемлемой частью проведения исследований является органолептическая оценка. Дегустацию мякоти плодов тыквы проводили после уборки (табл. 2).

Мякоть исследуемых образцов дегустировали после кулинарной обработки. Оценивался аромат плодов в свежем виде, консистенция мякоти, запах и вкус.

Вкус, аромат и консистенция мякоти плодов тыквы являются определяющими показателями пищевых свойств сортов. Плоды сортов: Крошка, Медовая крошка, Медовый десерт и образцов: 2/15 и 7/15 обладают сладким вкусом и выраженным ароматом и могут быть рекомендованы для приготовления кондитерских изделий. Остальные сорта образцы обладают слабым или нейтральным вкусом и могут использоваться для приготовления основных блюд и закусок.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенных полевых и лабораторных опытов выделены перспективные формы для селекции в условиях южной лесостепи Западной Сибири. По урожайности плодов выделяются сортобразцы: Медовый десерт – 42,2 т/га; Диетическая – 35,8 т/га; образцы 1/15 – 33,7 т/га; Красный этамп – 31,3 т/га. По урожайности семян наибольшие показатели отмечаются у сортов: Красный этамп – 388 кг/га и Медовая крошка – 328 кг/га, у образца 2/15 – 332 кг/га.

Наибольший интерес по органолептическим показателям представляют сортобразцы – Крошка, Медовая крошка, Медовый десерт, образцы 2/15 и 7/15. Они характеризуются сочной мякотью и отличными вкусовыми качествами.

Высокая продуктивность, в сочетании с хорошими качествами и вкусом (4,5 балла) отмечена в образце Медовый десерт.

Внедрение новых сортов тыквы в промышленное производство региона и использование в качестве сырья в пищевой промышленности будет способствовать реализации задач политики Российской Федерации в области здорового питания населения.

• Литература

1. Казыдуб Н.Г., Каштанова Ю.А., Фалалеева Е.В., Гончаров А.А., Гаспарян И.Н. Агроэкономическая оценка перспективных образцов тыквы в органическом земледелии в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Тенденции развития науки и образования*. 2022;84(1):145-152. doi: 10.18411/trnio-04-2022-38. EDN BTPGLZ.
2. Завьялова Т.И., Костко И.Г. Биологическая ценность тыквы и продуктов ее переработки. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2015;(39):45-49. EDN UXWLUN.
3. Школьников М.Н., Аббазова В.Н. Исследование химического состава мякоти тыквы как основы для безалкогольных напитков. *Вестник МГТУ*. 2021;24(4):441-449. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-4-441-449>. EDN PLWYDY.
4. Вавилов Н.И. Полевые культуры Юго-Востока. М.: Издательство АН СССР. 1960;2:319-329.
5. Лудилов В.А., Быковский Ю.А. Аprobация бахчевых культур. Справочное пособие. М.: РАСХН, ВНИИО. 2007. 184 с.
6. Ahmad G., Khan A.A. Pumpkin: Horticultural Importance and Its Roles in Various Forms; a Review. *Int J Hort Agric*. 2019;4(1):1-6. DOI: 10.15226/2572-3154/4/1/00124
7. Коломейченко В.В. Полевые и огородные культуры России. Корнеплоды: монография. Санкт-Петербург: Лань. 2019. 500 с.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: Колос. 1975. 182 с.
9. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. Москва: ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства. 2011. 650 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат. 1985. 351 с.
11. Медведев Г.А., Цепляев А.Н. Бахчеводство: учебник для вузов. Санкт-Петербург: Лань. 2021. 192 с.
12. Быковский Ю.А., Колебошина Т.Г., Варивода Е.А. Роль интродукции и первичного семеноводства в получении качественного, конкурентоспособного семенного материала арбуза, дыни и тыквы. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;4(55):19-23. EDN SWQWBR.
13. Arora A., Sharma L., Sharma D., Ghangale G., Bidkar J., Tare H. The Nutraceutical Role of Pumpkin Seed and its Health Effect: A Review. *International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*. 2023;14(1):233-238.
14. Кулякина Н.В., Кузьмицкая Г.А., Шестопалова Г.Е., Базилевич Л.В., Селезнева Н.Н. Оценка тыквы столовой по биохимическим показателям как перспективного сырья для продуктов функционального назначения в Дальневосточном регионе. *Овощи России*. 2019;(2):63-69. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-63-69>. EDN FNCUHH.
15. Химич Г.А., Кушнерова В.П. В мире тыкв. *Овощи России*. 2009;(1):46-49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2009-1-46-49>. EDN OYCLHV.

• References

1. Kazydub N.G., Kashtanova Yu.A., Falaleeva E.V., Goncharov A.A., Gasparyan I.N. [Agroeconomical assessment of promising pumpkin samples in organic farming in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia]. *Trends in the development of science and education*. 2022;84(1):145-152. doi: 10.18411/trnio-04-2022-38. EDN BTPGLZ. (In Russ).
2. Zavylova T.I., Kostko I.G. The biological value of fresh and processed pumpkin fruit. *Izvesniya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2015;(39):45-49. EDN UXWLUN. (In Russ).
3. Shkolnikova M.N., Abbazova V.N. Investigation of the chemical composition of pumpkin pulp as a basis for soft drinks. *Bulletin of the Moscow State Technical University*. 2021;24(4):441-449. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-4-441-449>. EDN PLWYDY. (In Russ).
4. Vavilov N.I. [Field cultures of the South-East]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 1960;2:319-329. (In Russ).
5. Ludilov V.A. Bykovsky Yu.A. [Approbation of melon crops. Reference manual]. M.: RASKHN, VNIIO. 2007. 184 p. (In Russ).
6. Ahmad G., Khan A.A. Pumpkin: Horticultural Importance and Its Roles in Various Forms; a Review. *Int J Hort Agric*. 2019;4(1):1-6. DOI: 10.15226/2572-3154/4/1/00124
7. Kolomeychenko V.V. Field and garden crops of Russia. Root crops: a monograph. St. Petersburg: Lan. 2019. 500 p. (In Russ).
8. [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. Moscow: Kolos. 1975. 182 p. (In Russ).
9. Litvinov S.S. Methodology of field experience in vegetable growing. Moscow: GNU All-Russian Research Institute of Vegetable Growing. 2011. 650 p. (In Russ).
10. Dospheov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). M.: Agropromizdat. 1985. 351 p. (In Russ).
11. Medvedev G.A. Ceplyaev A.N. Melon growing: textbook for universities. St. Petersburg: Lan. 2021. 192 p. (In Russ).
12. Bykovsky Yu.A., Kobileshina T.G., Varivoda E.A. The role of introduction and primary seed production in obtaining high-quality, competitive seed material of watermelon, melon and pumpkin. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015;4(55):19-23. EDN SWQWBR. (In Russ).
13. Arora A., Sharma L., Sharma D., Ghangale G., Bidkar J., Tare H. The Nutraceutical Role of Pumpkin Seed and its Health Effect: A Review. *International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*. 2023;14(1):233-238.
14. Kuluakina N.V., Kuzmitskaya G.A., Shestopalova G.E., Bazilevich L.V., Selezneva N.N. Evaluation of biochemical characteristics of pumpkin in production of functional food products in the Far-Eastern Region. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(2):63-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-63-69>. EDN FNCUHH.
15. Khimich G.A., Kushnereva V.P. The world of pumpkins. *Vegetable crops of Russia*. 2009;(1):46-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2009-1-46-49>. EDN OYCLHV.

Об авторах:

Нина Григорьевна Казыдуб – доктор с.-х. наук, профессор кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений, <https://orcid.org/0000-0002-2234-9647>, Scopus ID571962559502, автор для переписки, ng-kazydub@yandex.ru

Юлия Андреевна Каштанова – аспирант кафедры агрономии, селекции и семеноводства, <https://orcid.org/0009-0003-9992-5440>, yua.mikhaylova35.06.01z@omgau.org

About the Authors:

Nina G. Kazydub – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of Horticulture, Forestry and Plant Protection Department, <https://orcid.org/0000-0002-2234-9647>, Scopus ID571962559502, Correspondence Author, ng-kazydub@yandex.ru

Yuliya A. Kashtanova – Postgraduate Student of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, <https://orcid.org/0009-0003-9992-5440>, yua.mikhaylova35.06.01z@omgau.org

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-66-70>
УДК 633.811:581.543
ГРНТИ 68.35.43

Т.А. Кроль*,
В.И. Осипов, Д.Н. Балеев

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Всероссийский Институт
Лекарственных и Ароматических Растений»
(ФГБНУ ВИЛАР)
117216, Россия, г. Москва, ул. Грина, д. 7

*Автор для переписки:
tatianakroll1@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы подтверждают
отсутствие конфликта интересов при написа-
нии данной работы.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в ана-
лизе материалов, написании текста статьи и
формировании выводов.

Для цитирования: Кроль Т.А., Осипов В.И.,
Балеев Д.Н. Фенольные соединения листьев
Tanacetum balsamita L. Овощи России.
2023;(6):66-70. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-66-70>

Поступила в редакцию: 16.08.2023
Принята к печати: 07.09.2023
Опубликована: 04.12.2023

Tatiana A. Krol*,
Vladimir I. Ossipov, Dmitry N. Baleev

All-Russian scientific research Institute
of medicinal and aromatic plants
7, Grina street, Moscow, Russia, 117216

*Correspondence: tatianakroll1@gmail.com

Conflict of interest. The authors declare that there
are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in
the analysis of materials, writing the text of the
article and forming conclusions.

For citation: Krol T.A., Ossipov V.I., Baleev D.N.
Phenolic compounds in leaves of *Tanacetum bal-*
samita L. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):66-
70. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-66-70>

Received: 16.08.2023
Accepted for publication: 07.09.2023
Published: 04.12.2023

Фенольные соединения листьев *Tanacetum balsamita* L.

РЕЗЮМЕ

Tanacetum balsamita L., многолетнее корневищное растение семейства Asteraceae, относится к пищевым, лекарственным и пряно-ароматическим растениям. Экстракты *T. balsamita* обладают гепатопротекторным, антисептическим и антигельминтным действием. Надземные части *T. balsamita* содержат эфирное масло и фенольные соединения. Изучаемый вид входит в состав «Биоколлекции видов лекарственных и ароматических растений открытого и защищенного грунта» Ботанического сада лекарственных растений ФГБНУ ВИЛАР. Цель исследования – изучение качественного состава листьев *T. balsamita* методом ультра-эффективной жидкостной хроматографии с диодно-матричным детектированием в сочетании с масс-спектрометрией. Объектом исследования были листья *T. balsamita*, собранные в период цветения. Проводили трехкратную экстракцию 80% ацетоном. Для проведения качественного анализа фенольных соединений использовали ультра-эффективную жидкостную хроматографическую систему, включающую фотодиодный детектор и тройной квадрупольный масс-спектрометр. Идентификация соединений была основана на интерпретации спектральных данных УФ- и МС-спектров, поиске в доступных базах масс-спектрометрических данных химических соединений и сравнении с литературными данными.

Результаты. В результате проведенного анализа в *T. balsamita* было обнаружено 17 фенольных соединений, 13 из которых были идентифицированы. Фенольные кислоты были представлены пятью соединениями: кофеилхиновой, ферулоилхиновой и тремя изомерами дикофеилхиновой кислоты. Было обнаружено два соединения, относящихся к производным фенольных кислот (изомеры гексозида феруловой кислоты). Листья *T. balsamita* содержали пять производных лютеолина, два производных хризозериола и спинацетин/аксилларин. Кофеилхиновая и дикофеилхиновая кислоты являются основными соединениями листьев *T. balsamita*.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лекарственные растения, *Tanacetum balsamita* L., ультра-эффективная жидкостная хроматография, фенольные соединения, кофеилхиновые кислоты, флавоноиды



Phenolic compounds in leaves of *Tanacetum balsamita* L.

ABSTRACT

Tanacetum balsamita L. is a perennial rhizomatous plant of the Asteraceae family. *T. balsamita* is cultivated as medicinal, aromatic plants and food plant. Extract of costmary exhibits hepatoprotective, antiseptic and anthelmintic properties. The herb of *T. balsamita* contains essential oils and phenolic compounds. This species included in the "Biocollection of medicinal and aromatic plants of open and protected ground", Botanical garden of the VILAR. The main aim was to study the composition of phenolic compounds in the leaves of *T. balsamita* with application of ultra-performance liquid chromatography coupled with diode array detection and mass spectrometry. The object of the study was the leaves of *T. balsamita*. Samples were extracted with 1 ml of 80% aqueous acetone. An ultra-performance liquid chromatographic system with a photodiode detector and a triple quadrupole mass spectrometer was used for analysis of phenolic compounds. The UV and MS data of phenolic compounds were used for their identification or tentative characterization with application of mass spectrometry databases and data published in the literature.

Results. The results obtained showed the presence in the leaves of 17 phenolic compounds. Five compounds were identified as caffeoylquinic, feruloylquinic and three dicaffeoylquinic acid isomers, and two compounds as ferulic acid hexoside isomers. The leaves of *T. balsamita* contained also five luteolin derivatives, two chrysoeriol derivatives, and spinacetin/axillarin. Four compounds were not identified.

KEYWORDS:

medicinal plants, *Tanacetum balsamita* L., ultra-performance liquid chromatography, phenolic compounds, caffeoylquinic acids, flavonoids

Введение

Род *Tanacetum* (Asteraceae), включающий порядка 160 видов, широко распространён в странах с умеренным климатом северного полушария [1, 2]. Многие виды данного рода содержат биологически активные вещества, обладающие антикоагулянтной, противомикробной и цитотоксической активностью [3, 4, 5]. Некоторые виды обладают антигельминтным, гепатопротекторным, спазмолитическим и вяжущим действием [6, 7]. Один из представителей данного рода, пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.), включен в государственную фармакопею РФ (ФС.2.5.0031.15) [8]. На основе экстракта ее цветков разработан и выпускается препарат Танацехол [9]. Другой вид, пижма бальзамическая (*Tanacetum balsamita* L.), используется с древних времен в народной медицине многих стран [2, 10]. Ее культивируют в качестве пищевого, лекарственного и пряно-ароматического растения [11]. Свежие и сушеные листья используются при приготовлении салатов и в качестве приправы благодаря лимонно-мятному аромату и сладковато-вяжущему вкусу [10].

Tanacetum balsamita L. (syn. *Chrysanthemum balsamita* (L.) Baill, *Balsamita major* (L.) Desf) – многолетнее корневищное растение высотой 30-120 см [12, 13]. Листья серовато-зелёного цвета, цельные, овальные или эллиптические, по краю зубчатые. Молодые листья покрыты серебристыми волосками. Нижние листья черешковые, верхние – сидячие. Полушаровидные мелкие корзинки собраны в рыхлое щитковидное соцветие. Плод – семянка [12, 13]. Родина этого растения – Малая Азия. В природе произрастает в Западном и Южном Закавказье, в Армении, на севере Ирана [10].

Надземные части *T. balsamita* содержат до 1,2% эфирного масла [14]. Эфирное масло включает α -туйон, β -туйон, камфору, транс-хризантенилацетат, 1,8-цинеол и карвон [2, 15]. В настоящее время у *T. balsamita* выделяют четыре хемотипа: карвоновый, камфорный, камфорно-туйоновый и карвон- α -туйоновый [13]. В листьях присутствуют полифенольные соединения, содержание которых составляет порядка 64,50 мг/100 г [16]. В *T. balsamita* идентифицировано более 100 вторичных метаболитов [10]. Фенольные соединения представлены гидроксикоричными кислотами (производные кофеилхинной кислоты) и флавоноидами (гликозиды апигенина, лютеолина, диосметина, акацетина и кверцетина) [2, 16].

На базе Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений имеются коллекции лекарственных и эфирномасличных растений, обладающие уникальным генетическим потенциалом, на основе которых создаются новые адаптированные сорта с высоким содержанием биологически активных соединений [17]. Семейство Asteraceae широко представлено в «Биоколлекции видов лекарственных и ароматических растений открытого и защищенного грунта». Изучение химического состава растений, представленных в биоколлекции, является важной и актуальной задачей. Целью нашего исследования было изучение качественного состава листьев *T. balsamita*, произрастающей в Ботаническом саду лекарственных растений ФГБНУ ВИЛАР, методом ультра-эффективной жидкостной хроматографии с диодно-матричным детектированием в сочетании с масс-спектрометрией (УЭЖХ-ДД-МС).

Материалы и методы

Объект исследований. Объектом исследования были листья *T. balsamita*, собранные в период цветения в 2019 году. Растения произрастали на территории Ботанического сада лекарственных растений ФГБНУ ВИЛАР. Исследования проводились с использованием биообъектов Уникальной научной установки «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР».

Подготовка образцов. Охлажденные листья замораживали, лиофильно высушивали (Labconco FreeZone 2.5 L, США) и измельчали (MM 400, Retsch, Германия). Образец сухих листьев массой 15 мг (CPA 225D, Sartorius, Германия) экстрагировали 1 мл 80% ацетона (для хроматографии, Компонент-Реактив, Россия) в течение 60 минут при комнатной температуре и постоянном перемешивании (VORTEX Genie 2, Scientific Industries, США). Экстракт центрифугировали в течение 20 минут при 14000 об/мин (Eppendorf 5430R, Германия) и упаривали досуха при 45°C (концентратор CentriVap, Labconco, США). Экстракция образца трехкратная. Полученный сухой экстракт растворяли в 1 мл деионизованной воды в течение 60 минут, центрифугировали в течение 20 минут при 14000 об/мин, разбавляли в 5 раз деионизованной водой (Direct-Q3, Merck, Германия) и фильтровали (PTFE filter Clean 2, 0,45 μ m, Thermo Fisher Scientific, США).

УЭЖХ анализ. Для УЭЖХ-ДД-МС анализа использовали ультра-эффективную жидкостную хроматографическую систему (УЭЖХ, Acquity UPLC® 2.9.0, Waters Corporation, Милфорд, США), которая включала фотодиодный детектор (190-500 нм) и тройной квадрупольный масс-спектрометр Xevo TQ (Waters Corporation, Милфорд, США). В градиентной программе использовали 0,1% муравьиную кислоту (А) и ацетонитрил (Б): 0-0,5 мин, 0,1% Б в А; 0,5-5,0 мин, 0,1-30,0% Б в А (линейный градиент); 5,0-6,0 мин, 30-35% Б в А (линейный градиент). Скорость потока элюента составляла 0,5 мл/мин, объем введенного образца – 5 мкл [18]. Использовали регистрацию отрицательных ионов. Масс-спектрометрические данные анализировали с использованием программы DataAnalysis 4.0.

Идентификация фенольных соединений. Идентификация соединений была основана на интерпретации спектральных данных УФ- и МС-спектров, поиске в доступных базах масс-спектрометрических данных химических соединений (HMDB) [19] и сравнении с литературными данными [10].

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного анализа фенольный профиль экстракта из листьев *T. balsamita* (рис. 1) был представлен 17 соединениями (фенольные кислоты и флавоноиды). Четыре соединения не были идентифицированы (табл.).

Соединения 1, 3, 8, 9 и 11 имели УФ-спектр, характерный для кофейной кислоты с максимумами поглощения в области 244, 297 нм, 325 нм (рис. 2). В масс-спектре соединения 1 присутствовали депротонированный ион [М-Н]⁻ m/z 353 и его димер m/z 707 [2М-Н]⁻, а также характерный фрагмент с m/z 191, соответствующий иону [Хинная кислота-Н]⁻. Это позволило идентифицировать данное соединение как кофеилхинную кислоту. Соединение 3 имело ион [М-Н]⁻ с m/z 367 и [2М-Н]⁻ с m/z 734, что соответствует ферулоилхинной кислоте.

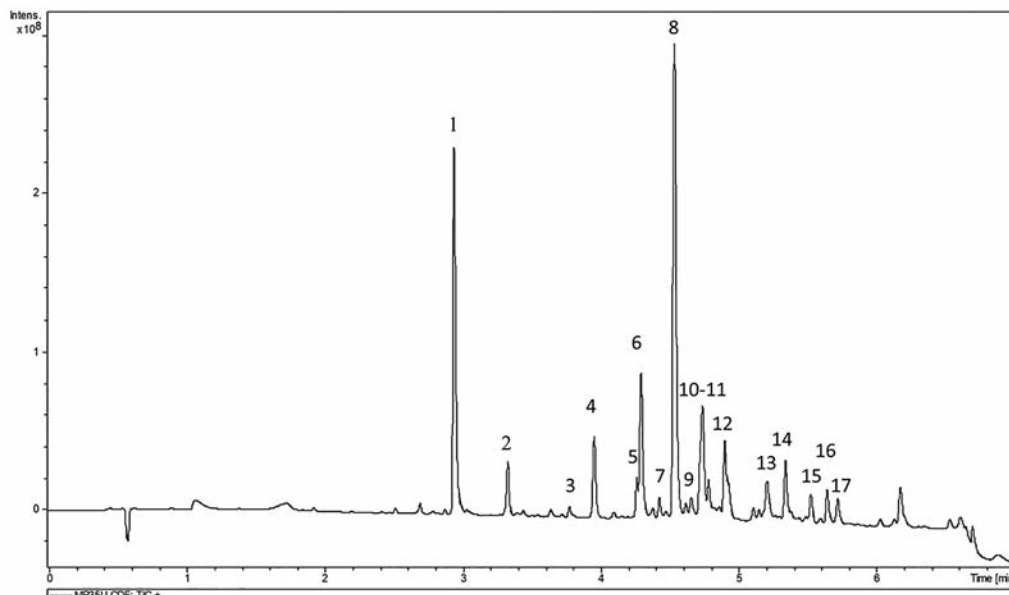


Рис. 1. УЭЖХ-УФ (280 нм) профиль фенольных соединений листьев *T. balsamita*. Обозначения: 1 – кофеилхинная кислота; 2 – гексозид феруловой кислоты, изомер 1; 3 – ферулоилхинная кислота; 4 – гексозид феруловой кислоты, изомер 2; 5 – лутеолин-7-глюкозид; 6 – лутеолин-гексуронид; 7 – лутеолин-О-гексозид-О-ацетилгексозид; 8 – дикофеилхинная кислота, изомер 1; 9 – дикофеилхинная кислота, изомер 2; 10 – лутеолин-7-О-(6''-ацетилглюкозид); 11 – дикофеилхинная кислота, изомер 3; 12 – хризозериол-гексуронид; 13 – неизвестное соединение; 14 – производное хризозериола; 15 – неизвестное соединение; 16 – производное лутеолина, 17 – спинацетин/аксилларин
Fig. 1. UPLC-UV (280 nm) profile of phenolic compounds of leaves *T. balsamita*. Number compounds from Table 1: 1 – caffeoylquinic acid; 2 – ferulic acid hexoside, isomer 1; 3 – feruloylquinic acid; 4 – ferulic acid hexoside, isomer 2; 5 – luteolin-7-glucoside; 6 – luteolin-hexuronide; 7 – luteolin-O-hexoside-O-acetylhexoside; 8 – dicaffeoylquinic acid, isomer 1; 9 – dicaffeoylquinic acid, isomer 2; 10 – luteolin-7-O-(6''-acetylglucoside); 11 – dicaffeoylquinic acid, isomer 3; 12 – chrysoeriol-hexuronide; 13 – unknown compound; 14 – chrysoeriol derivative; 15 – unknown compound; 16 – luteolin derivative, 17 – spinacetin/axillarin

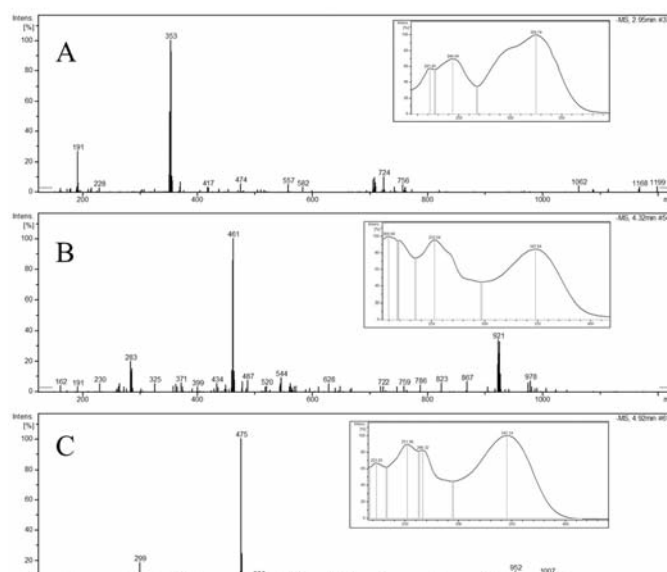


Рис. 2. Примеры МС- и УФ-спектров соединений листьев *T. balsamita*: А – кофеилхинная кислота; В – лутеолин-гексуронид; С – хризозериол-гексуронид
Fig. 2. Examples of MS spectra and UV spectra compounds of leaves *T. balsamita*: А – caffeoylquinic acid; В – luteolin-hexuronide; С – chrysoeriol-hexuronide

Идентификация подтверждается наличием m/z фрагментов 191 и 193, соответствующих хинной и феруловой кислотам.

Анализ масс-спектров соединений 8, 9 и 11 показал наличие основного депротонированного иона $[M-H]^-$ m/z 515, иона $[2M-H]^-$ m/z 1031 и фрагментов исходного иона с m/z 353 и 191, соответствующих кофеилхинной и хинной кислотам. Данные соединения были идентифицированы как изомеры дикофеилхинной кислоты. Для установления их точной структуры необходимы дополнительные исследования. Кофеилхинные и дикофеилхинные кислоты обладают широким спектром фармакологиче-

ских свойств. Они проявляют противовоспалительную, противоопухолевую, гепатопротекторную, антимикробную и антиоксидантную активность, оказывают нейропротекторное действие [20].

УФ-спектр соединений 2 и 4 имел максимумы поглощения при 243, 301 и 325 нм. Основными ионами в масс-спектре этих соединений были ионы с m/z 355 и 711, соответствующие $[M-H]^-$ и $[2M-H]^-$. Соединения 2 и 4 были идентифицированы как изомеры гексозида феруловой кислоты, что подтверждается присутствием в масс-спектрах m/z фрагмента 193, который соответствует иону [Феруловая кислота-H].

Таблица. Результаты УЭЖХ-УФ-МС идентификации фенольных соединений листьев *T. balsamita*
Table. Results of UPLC-UV-MS identification of phenolic compounds in leaves of *T. balsamita*

№	Соединение (молекулярная формула)	Rt, мин.	УФ макс., нм	Значение <i>m/z</i> аддукта или фрагмента		
				[M-H] ⁻	[2M-H] ⁻	фрагменты
1	Кофеилхинная кислота (C ₁₆ H ₁₈ O ₉)	2.93	244; 297пл; 325	353	707	191
2	Гексозид феруловой кислоты (изомер 1) (C ₁₆ H ₂₀ O ₉)	3.32	229; 302	355	711	193
3	Ферулоилхинная кислота (C ₁₇ H ₂₀ O ₉)	3.77	243; 301; 325	367	734	173; 191; 193; 297
4	Гексозид феруловой кислоты (изомер 2) (C ₁₆ H ₂₀ O ₉)	3.95	237; 294; 319	355	711	193
5	Лютеолин-7-глюкозид (C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁)	4.25	253; 348	447	895	283; 285
6	Лютеолин-гексуронид (C ₂₁ H ₁₈ O ₁₂)	4.28	253; 348	461	923	283; 285
7	Лютеолин-О-гексозид-О-ацетилгексозид (C ₂₉ H ₃₂ O ₁₇)	4.41	254; 264; 348	651	-	173; 191; 263; 285
8	Дикофеилхинная кислота (изомер 1) (C ₂₅ H ₂₄ O ₁₂)	4.52	244; 304; 325	515	1031	177; 191; 353
9	Дикофеилхинная кислота (изомер 2) (C ₂₅ H ₂₄ O ₁₂)	4.65	243; 324	515	1032	191; 353
10	Лютеолин-7-О-(6"-ацетилглюкозид) (C ₂₃ H ₂₂ O ₁₂)	4.71	254; 344	489	-	175; 246; 283; 285; 325
11	Дикофеилхинная кислота (изомер 3) (C ₂₅ H ₂₄ O ₁₂)	4.75	251; 329	515	1031	191; 353
12	Хризозеириол-гексуронид (C ₂₂ H ₂₀ O ₁₂)	4.89	252; 266; 345	475	951	161; 299
13	Неизвестное соединение	5.19	266; 336	487	975	269; 283; 299;
14	Производное хризозеириола	5.33	252; 266; 345	517	-	161; 199; 299
15	Неизвестное соединение	5.51	229; 283; 326	519	-	301
16	Производное лютеолина	5.63	253; 348	531	-	193; 283
17	Спинацетин/аксилларин (C ₁₇ H ₁₄ O ₈)	5.70	257; 293; 351	345	-	300; 315; 330

Соединения 5, 6, 7 и 10 имели характерный для лютеолина УФ-спектр с максимумами поглощения в области 253-254 и 344-348 нм (рис. 2). При изучении масс-спектров данных соединений было установлено присутствие одинакового *m/z* фрагмента 285, который соответствует *m/z* агликаона лютеолина. В масс-спектре соединения 5 обнаружен ион [M-H]⁻ с *m/z* значением 447 и его димер с *m/z* значением 895 [2M-H]⁻. Данный флавоноид идентифицирован как лютеолин-7-глюкозид, что подтверждается также анализом литературных данных [10]. Соединение 6 идентифицировано как лютеолин-гексуронид по наличию в масс-спектре ионов 461 [M-H]⁻ и 923 [2M-H]⁻. Соединения 7 и 10 идентифицированы как лютеолин-О-гексозид-О-ацетилгексозид (*m/z* 651) и лютеолин-7-О-(6"-ацетилглюкозид) (*m/z* 489) соответственно. Соединение 16 дало основной ион с *m/z* 531. УФ-спектр данного соединения соответствует лютеолину. Точно идентифицировать данное соединение не удалось, возможно это может быть лютеолин-7-[6-О-(2-метилбутирил)-глюкозид]. Однако для более точной идентификации необходимо проведение дальнейших исследований.

Лютеолин является природным флавоном растений, который чаще всего присутствует в гликозилированной форме. Он обладает антиоксидантными, противоопухолевыми, противовоспалительными, противомикробными, кардиопротекторными, антидиабетическими, нейропротекторными и противоаллергическими свойствами [21; 22]. Лютеолин-7-О-глюкозид проявляет противовоспалительную активность и противоопухолевую активность (в отношении клеточной линии MCF-7). Он может служить для разработки препаратов при лечении воспалительных заболеваний кожи, а также сердечно-сосудистых заболеваний [22].

УФ-спектр соединений 12 и 14 имел максимумы поглощений в области 252, 266 и 345 нм, что характерно для

хризозеириола (рис. 2). Анализ масс-спектра показал присутствие одинакового фрагмента с *m/z* 299, что соответствует хризозеириолу. Соединение 12 идентифицировано как хризозеириол-гексуронид (*m/z* 475). Соединение 14 (*m/z* 517) не удалось идентифицировать, однако, на основании полученных данных, можно предположить, что это производное хризозеириола. Хризозеириол представляет собой флавоон, являющийся 3'-метоксипроизводным лютеолина. Обладает широким спектром фармакологической активности: противоопухолевой, противовоспалительной, антибактериальной, противогрибковой и антиостеопорозной [23].

Соединение 17 имело характерный для флавоноидов УФ-спектр с максимумами поглощения в области 257, 293 и 351 нм. Анализ масс-спектра соединения 17 показал наличие основного депротонированного иона с *m/z* 345. Данное соединение можно идентифицировать как спинацетин или аксилларин, которые ранее были обнаружены в *T. balsamita* [10]. Спинацетин представляет собой О-метилированный флавонол.

Заключение

В результате проведенного УЭЖХ-ДД-МС анализа в листьях *T. balsamita* было обнаружено 17 фенольных соединений, 13 из которых были идентифицированы. Флавоноиды были представлены пятью производными лютеолина, двумя производными хризозеириола и спинацетином/аксилларином. Фенольные кислоты – кофеилхинной, ферулоилхинной и тремя изомерами дикофеилхинной кислоты. Были идентифицированы два изомера гексозида феруловой кислоты. В листьях *T. balsamita* основными соединениями были кофеилхинная и дикофеилхинная кислоты. Исходя из полученных результатов в дальнейших исследованиях можно продолжить изучение противовоспалительной активности.

• Литература

1. Khatib S., Sobeh M., Faraloni C., Bouissane L. *Tanacetum* species: Bridging empirical knowledge, phytochemistry, nutritional value, health benefits and clinical evidence. *Frontiers in Pharmacology*. 2023;(14):1169629. DOI: 10.3389/fphar.2023.1169629.
2. Bączek K.B., Kosakowska O., Przybył J.L., Pióro-Jabrucka E., Costa R., Mondello L., Gniewosz M., Synowiec A., Węglarz Z. Antibacterial and antioxidant activity of essential oils and extracts from costmary (*Tanacetum balsamita* L.) and tansy (*Tanacetum vulgare* L.). *Industrial Crops and Products*. 2017;(102):154-163. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.03.009.
3. Ivănescu B., Tuchiluş C., Corciovă A., Lungu C., Mihai C. T., Gheldiu A. M., Vlase L. Antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activity of *Tanacetum vulgare*, *Tanacetum corymbosum* and *Tanacetum macrophyllum* extracts. *Farmacia*. 2018;66(2):282-288.
4. Yapıcı İ., Altay A., Öztürk Sarıkaya B., Korkmaz M., Atila A., Gülçin İ., Köksal E. In vitro Antioxidant and Cytotoxic Activities of Extracts of Endemic *Tanacetum erzincanense* Together with Phenolic Content by LC ESI QTOF MS. *Chemistry & Biodiversity*. 2021;18(3):e2000812. DOI: 10.1002/cbdv.202000812.
5. Vukic M.D., Vukovic N.L., Obradovic A.D., Galovičová L., Čmiková N., Kačániová M., Matic M. M. Chemical Composition and Biological Activity of *Tanacetum balsamita* Essential Oils Obtained from Different Plant Organs. *Plants*. 2022;11(24):3474. DOI: 10.3390/plants11243474.
6. Babich O., Larina V., Krol O., Ulrikh E., Sukhikh S., Gureev M. A., Prosekov A., Ivanova S. In Vitro Study of Biological Activity of *Tanacetum vulgare* Extracts. *Pharmaceutics*. 2023;15(2):616. DOI: 10.3390/pharmaceutics15020616.
7. Ak G., Gevrenova R., Sinan K.I., Zengin G., Zheleva D., Mahomoodally M.F., Senkardes I., Brunetti L., Leone S., Di Simone S.C., Recinella L., Chiavaroli A., Menghini L., Orlando G., Ferrante C. *Tanacetum vulgare* L. (Tansy) as an effective bioresource with promising pharmacological effects from natural arsenal. *Food and Chemical Toxicology*. 2021;153:112268. DOI: 10.1016/j.fct.2021.112268.
8. Государственная Фармакопея Российской Федерации XIV изд. - М., 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-14-izdaniya> (дата обращения: 15.05.2023).
9. Карабаева В.В., Вичканова С.А., Сидельникова Г.Ф., Джумаян А.Р., Терентьева Т.Л. Новый взгляд на результаты применения танахеоло в условиях поликлиники. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2015;(7):26-29. EDN WAIPYP.
10. Gevrenova R., Zengin G., Sinan K.I. Zheleva-Dimitrova D., Balabanova V., Kolmayer M., Voynikov Y., Joubert O. An In-Depth Study of Metabolite Profile and Biological Potential of *Tanacetum balsamita* L. (Costmary). *Plants*. 2023;12(1):22. DOI: 10.3390/plants12010022.
11. Sharif M., Najafzadeh P., Asgarpanah J., Mousavi Z. In vivo analgesic and anti-inflammatory effects of the essential oil from *Tanacetum balsamita* L. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020; 56. DOI: 10.1590/s2175-97902019000418357.
12. Грязнов М.Ю., Тоцкая С.А. Биологические особенности *Tanacetum balsamita* L. в Нечерноземной зоне России. «Биологические особенности лекарственных и ароматических растений и их роль в медицине». Сборник трудов конференции. М: Щербинская типография; 2016. С. 206-207. EDN WEGURP.
13. Hassanpouraghdam M.B., Tabatabaie S.J., Nazemiyeh H., Vojodi L., Azami M.A., Shoja A.M. *Chrysanthemum balsamita* (L.) Baill.: a forgotten medicinal plant. *Facta Universitatis. Series: Medicine and*

Biology. 2008; 15(3):119-24.

14. Venskutonis P.R. Costmary (*Chrysanthemum balsamita*) Oils. *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. Academic Press. 2016. P. 365-375. DOI:10.1016/b978-0-12-416641-7.00041-9
15. Jaimand K. Rezaee M.B. Chemical constituents of essential oils from *Tanacetum balsamita* L. ssp. *balsamitoides* (Schultz-Bip.) Grierson. from Iran. *Journal of Essential Oil Research*. 2005;17(5):565-566. DOI: 10.1080/10412905.2005.9698996.
16. Varga E., Domokos E., Orbán K., Kursinszki L., Imre B., Tóth G. Antioxidant activity and phenolic composition of costmary (*Chrysanthemum balsamita* L.) flower. *Planta Medica*. 2019;(18):P-129. DOI: 10.1055/s-0039-3399854.
17. Коротких И.Н., Балеев Д.Н., Морозов А.И., Мизина П.Г., Сидельников Н.И. Селекция лекарственных и ароматических растений в ВИЛАР: достижения и перспективы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(4):433-441. DOI: 10.18699/VJ21.048. EDN IPVCM.
18. Engstrom M.T., Palijarvi M., Salminen J.P. Rapid fingerprint analysis of plant extracts for ellagitannins, gallic acid, and quinic acid derivatives and quercetin-, kaempferol- and myricetin-based flavonol glycosides by UPLC-QqQ-MS/MS. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2015;63(16):4068-4079. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b00595.
19. Wishart D.S., Feunang Y.D., Marcu A., Guo A. C., Liang K., Vázquez-Fresno R., Scalbert A. HMDB 4.0: the human metabolome database for 2018. *Nucleic acids research*. 2018;46(D1):D608-D617. DOI: 10.1093/nar/gkx1089.
20. Alcázar Magaña A., Kamimura N., Soumyanath A., Stevens J.F., Maier C.S. Caffeoylquinic acids: Chemistry, biosynthesis, occurrence, analytical challenges, and bioactivity. *The plant journal*. 2021;107(5):1299-1319. DOI: 10.1111/tpj.15390.
21. Aziz N., Kim M. Y., Cho J. Y. Anti-inflammatory effects of luteolin: A review of *in vitro*, *in vivo*, and *in silico* studies. *Journal of ethnopharmacology*. 2018;225:342-358. DOI: 10.1016/j.jep.2018.05.019.
22. De Stefano A., Caporali S., Di Daniele N., Rovella V., Cardillo C., Schinzari F., Minieri M., Pieri M., Candi E., Bernardini S., Tesaro M., Terrinoni A. Anti-inflammatory and proliferative properties of luteolin-7-O-glucoside. *International journal of molecular sciences*. 2021;22(3):1321. DOI: 10.3390/ijms22031321.
23. Aboulaghra S., Sahib N., Bakrim S., Benali T., Charfi S., Guaougaou F., El Omari E. N., Gallo M., Montesano D., Zengin G., Taghzouti K., Bouyahya A. Health benefits and pharmacological aspects of chrysoeriol. *Pharmaceutics*. 2022;15(8):973. DOI: 10.3390/ph15080973.

• References

8. State Pharmacopoeia of the Russian Federation. 14 ed. M., 2018. [Electronic resource] URL: <https://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-14-izdaniya> (Accessed 15.05.2023) (in Russ.)
9. Karabaeva V.V., Vichkanjva S.A., Sidelnikova G.F., Dgumayan A.R., Terentyeva T.L. A new look of the results research of using tanatsehol in the conditions of district clinic. *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2015;(7):26-29. EDN WAIPYP. (in Russ.)
12. Grjaznov M.U., Totskaya S.A. Biological features *Tanacetum balsamita* L. *Biological characteristics of medicinal and aromatic plants and their role in medicine*. (collection of conference proceedings. 2016. P.206-207. EDN WEGURP. (in Russ.)
17. Korotkikh I.N., Baleev D.N., Morozov A.I., Mizina P.G., Sidelnikov N.I. Breeding of medicinal and essential oil crops in VILAR: achievements and prospects. *vavilov journal of genetics and breeding*. 2021;25(4):433-441. DOI: 10.18699/VJ21.048. EDN IPVCM. (in Russ.)

Об авторах:

Татьяна Анатольевна Кроль – кандидат с.-х. наук, в.н.с., <https://orcid.org/0000-0003-4642-651X>, автор для переписки, tatianakroll1@gmail.com

Владимир Ионович Осипов – доктор биол. наук, г.н.с., <https://orcid.org/0000-0002-8383-9965>, ossipov@utu.fi

Дмитрий Николаевич Балеев – кандидат с.-х. наук, зав. лаб., <https://orcid.org/0000-0002-1228-0594>, dbaleev@gmail.com

About the Authors:

Tatiana A. Krol – Cand. Sci. (Agriculture), <https://orcid.org/0000-0003-4642-651X>, Correspondence Author, tatianakroll1@gmail.com

Vladimir I. Ossipov – Dr. Sc. (Biology), <https://orcid.org/0000-0002-8383-9965>, ossipov@utu.fi

Dmitriy N. Baleev – Cand. Sci. (Agriculture), <https://orcid.org/0000-0002-1228-0594>, dbaleev@gmail.com

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-71-77>
УДК 633.88:631.531.01:631.811.98(470.62)

Н.С. Тропина^{1*}, Р.Р. Тхаганов¹,
В.Р. Тхаганов¹, Н.И. Сидельников²

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» (Северо-Кавказский филиал) 353225, Россия, Краснодарский край, Динской район, ст. Васюринская, пос. ЗОС ВНИИЛР

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» 117216, Россия, г. Москва, ул. Грина, д. 7

*Автор для переписки:
krasnodarvilar@gmail.com

Финансирование. Работа проводилась согласно гос. задания по теме: «Роль экзогенных регуляторов роста и микроудобрений в повышении продуктивности и устойчивости к абиотическим и биотическим факторам среды лекарственных растений при их культивировании в Северо-Кавказском регионе (№ FGUU-2022-0009)».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в анализе материалов, написании текста статьи и формировании выводов.

Для цитирования: Тропина Н.С., Тхаганов Р.Р., Тхаганов В.Р., Сидельников Н.И. Влияние регуляторов роста на семенную продуктивность лекарственных трав, выращиваемых в Краснодарском крае. *Овощи России*. 2023;(6):71-77. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-71-77>

Поступила в редакцию: 25.09.2023

Принята к печати: 13.10.2023

Опубликована: 04.12.2023

Nina S. Tropina^{1*}, Ruslan R.Thaganov¹,
Vitaly R. Thaganov¹, Nikolay I. Sidelnikov²

¹ All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (North Caucasus branch) village ZOS VNIILR, Vasyurinskaya station, Dinskoy district, Krasnodar Territory, Russia, 353225

² All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants 7, Grina str., Moscow, Russia, 117216

*Corresponding Author:
krasnodarvilar@gmail.com

Funding. The work was carried out in accordance with the state regulations. assignments on the topic: "The role of exogenous growth regulators and microfertilizers in increasing productivity and resistance to abiotic and biotic environmental factors of medicinal plants during their cultivation in the North Caucasus region (No. FGUU-2022-0009).".

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, writing the text of the article and forming conclusions.

For citation: Tropina N.S., Thaganov R.R., Thaganov V.R., Sidelnikov N.I. Influence of growth regulators on the seed productivity of medicinal crops grown in the Krasnodar region. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):71-77. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-71-77>

Received: 25.09.2023

Accepted for publication: 13.10.2023

Published: 04.12.2023

Влияние регуляторов роста на семенную продуктивность лекарственных трав, выращиваемых в Краснодарском крае



РЕЗЮМЕ

Лекарственные растения и препараты из них широко применяются при лечении и профилактике многих заболеваний. Потребность фармацевтической промышленности в растительном лекарственном сырье удовлетворяется за счет культивирования данных растений. Обеспечение фармацевтических фабрик лекарственным сырьем в полном объеме может осуществляться как за счет расширения площадей, так и путем повышения урожайности возделываемых культур, что достигается использованием при посеве высококачественных семян перспективных сортов в необходимом количестве. В последние годы в условиях Западного Предкавказья в лекарственном севообороте Северо-Кавказского филиала ВИЛАР проводили исследования по изучению возможности повышения семенной продуктивности эхинацеи пурпурной, ромашки аптечной, подорожника большого и шалфея лекарственного, которые занимают важное место в современном ассортименте лекарственных препаратов, применяемых в официальной и народной медицине. С этой целью закладывали опыты по комплексному испытанию гуминовых удобрений (Лигногумат, Нормат Л) с регуляторами роста (Циркон, Агат, Гибберсиб) и хелатными микроудобрениями (Силиплант и Цитовит). В результате проведенных исследований на эхинацее установлено повышение урожайности семян и улучшение их качества в варианте Лигногумат + Агат-25 (на 31%), а на шалфее и ромашке – Лигногумат + Циркон (на 28% и 39%, соответственно), масса 1000 семян превышала контроль на 8-15%. Некорневые подкормки эхинацеи и подорожника Лигногуматом и Нормат Л с кремнийсодержащим микроудобрением Силиплант обеспечили повышение семенной продуктивности на 14-16%, масса 1000 семян увеличивалась на 8-10%. Таким образом, используя комплексы гуминовых препаратов с регуляторами роста и кремнийсодержащим микроудобрением Силиплант в качестве эффективных средств регулирования роста и развития лекарственных культур, активизации процессов цветения и образования семян, можно обеспечить высокую урожайность и наилучшее качество получаемого семенного материала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лекарственный севооборот, эхинацея пурпурная, ромашка аптечная, подорожник большой, шалфей лекарственный, гуминовые удобрения

Influence of growth regulators on the seed productivity of medicinal crops grown in the Krasnodar region

ABSTRACT

Medicinal plants and preparations thereof are widely used in the treatment and prevention of many diseases. The demand of the pharmaceutical industry for herbal medicinal raw materials is met by culturing these plants. Pharmaceutical factories can be fully supplied with medicinal raw materials both by expanding the area and by increasing the yield of cultivated crops, which is achieved by using high-quality seeds of promising varieties in the required amount. In recent years, in the conditions of the Western Ciscaucasia in the medicinal crop rotation of the North Caucasus branch of VILAR, studies have been conducted to study the possibility of increasing the seed productivity of *Echinacea purpurea* L., *Chamomilla recutita* L., *Plantago major* L. and *Salvia officinalis* L., which occupy an important place in the modern range of medicines used in official and traditional medicine. To this end, experiments were laid on the complex test of humic fertilizers (Lignogumat, Normat L) with growth regulators (Zircon, Agat, Gibbersib) and chelated micro-fertilizers (Siliplant and Cytovit). As a result of the studies carried out on echinacea, an increase in the yield of seeds and an improvement in their quality was established on the Lignogumat + Agate variant (by 31%), and on sage and chamomile – Lignogumat + Zircon (by 28% and 39%, respectively), the weight of 1000 seeds exceeded the control by 8-15%. Non-root feeding of echinacea and plantain with Lignogumat and Normat L with silicon-containing microfertilization Siliplant ensured increase of seed productivity by 14-16%, mass of 100 seeds increased by 8-10%. Thus, by using complexes of humic preparations with growth regulators and silicon-containing microfertilization Siliplant as effective means of regulating the growth and development of medicinal cultures, activating flowering and seed formation processes, it is possible to ensure high yield and the best quality of the resulting seed material.

KEYWORDS:

medicinal crop rotation, *Echinacea purpurea* L., *Chamomilla recutita* L., *Plantago major* L., *Salvia officinalis* L., humic fertilizers

Введение**Introduction**

Во всем мире лекарственные растения и препараты из них, несмотря на успехи в создании биотехнологических и лечебных химических средств, находят широкое применение при лечении и профилактике многих заболеваний. Наибольший интерес вызывают фитопрепараты, обладающие иммуномодулирующими, адаптогенными, тонизирующими, гепатопротекторными и антиоксидантными свойствами [1].

Потребность фармацевтической промышленности в растительном лекарственном сырье в основном осуществляется за счет выращивания растений, что способствует сохранению природных ресурсов и дает возможность получать сырье более высокого качества, по сравнению с дикорастущими растениями. Кроме того, некоторые виды лекарственных растений не произрастают на территории РФ и введение их в культуру позволяет иметь свое отечественное сырье и отказаться от закупок за рубежом.

В условиях Западного Предкавказья возделываются такие важные лекарственные культуры, как эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* L.), ромашка аптечная (*Chamomilla recutita* L.), подорожник большой (*Plantago major* L.), шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.), которые занимают достойное место в современном производстве лекарственных препаратов, применяемых в официальной и народной медицине.

Эхинацея пурпурная является эффективным иммунокорректором, доказана ее противовирусная, антибактериальная, противовоспалительная и антиоксидантная активность. Препараты эхинацеи могут назначаться после курса химиотерапии и антибактериальной терапии [2]. На основе сырья эхинацеи в России созданы препараты иммуномодулирующего действия «Эстифан» и «Эхинацея-ВИЛАР» [3].

Листья подорожника большого применяются в качестве отхаркивающего, обволакивающего и кровоостанавливающего средства. Сок подорожника, получаемый из свежей травы, эффективен при лечении гастритов, колитов, также обладает противомикробным действием по отношению многих патогенных микробов и применяется для лечения гнойных ран и нарывов. Основное фармакологическое действие подорожника большого обусловлено содержанием полисахаридов, на основе которых создан препарат Плантаглюцид, стимулирующий секреторную и моторную функции желудочно-кишечного тракта и бронхов [4, 3].

Ромашка аптечная издавна применяется в качестве лечебного средства антисептического, противовоспалительного, спазмолитического характера. На основе соцветий ромашки были созданы комбинированные препараты Ромазулам, Ротокан, Камадол. Цветки растения входят в состав диабетического сбора Арфазетин, грудного, желудочно-кишечного и многих других сборов. [5, 3].

Шалфей лекарственный обладает широким спектром биологической активности, его листья используются в виде настоя в качестве вяжущего, бактерицидного и противовоспалительного средства при катарах верхних дыхательных путей и стоматитах, хроническом бронхите, они входят в состав грудного и других сборов. Наружно шалфей лекарственный применяется при

воспалении кожи, гнойных язвах и ранах, ожогах и обморожениях. В настоящее время в России на основе сырья шалфея лекарственного зарегистрирован препарат Сальвин, являющийся антисептическим средством и оказывающий бактерицидное действие на грамположительные бактерии [6, 3].

Обеспечение фармацевтической промышленности лекарственным сырьем в полном объеме может осуществляться за счет повышения урожайности лекарственных культур и расширения площадей, что достигается использованием при посеве высококачественных семян перспективных сортов в достаточном количестве. В связи с этим изучение приемов повышения семенной продуктивности лекарственных культур является актуальной задачей лекарственного растениеводства.

Из литературных источников известно, что для повышения урожайности семян в сельском хозяйстве широко используются регуляторы роста. Так, применение Альбита на кормовых культурах (кострец безостый) обеспечивает дополнительно с каждого гектара 2,24 ц семян [7]. Применение Эпина-экстра и Циркона на декоративных культурах (циния) обеспечивает повышение семенной продуктивности на 15-36 % [8].

Проведенные испытания регуляторов роста Циркон, Эпин-экстра и Альбит на лекарственных культурах (копеечник альпийский, белладонна, ноготки) показали увеличение урожайности семян на 24-45 % и массы 1000 штук семян – на 12-16 % [9, 10].

В последние годы большое внимание в растениеводстве уделяется применению гуминовых удобрений, обладающих высокой биологической активностью и являющихся экологически безопасными, что может подтверждаться исследованиями по использованию фармакотерапевтических препаратов на основе гуминовых кислот, обладающих противовоспалительными и биостимулирующими свойствами, в косметологии и грязелечении [11]. Внекорневые подкормки данными препаратами сельскохозяйственных, в том числе и лекарственных культур, оказывают стимулирующее действие на рост и развитие растений, способствуют увеличению урожайности и улучшению качества получаемой продукции [12, 13]. Наиболее эффективно применение гуматов совместно с микроудобрениями, что показано не только в случае повышения урожайности надземной массы, но и семенной продуктивности ряда культур [7, 14].

В связи с вышесказанным, цель наших исследований заключалась в разработке инновационных технологий выращивания семян лекарственных культур, в основу которых положено экзогенное применение регуляторов роста, микроудобрений и гуминовых препаратов.

Материалы и методы**Materials and methods**

Изучение применения регуляторов роста в комплексе с микроудобрениями и гуминовыми препаратами проводили в севообороте Северо - Кавказского филиала ВИЛАР (Краснодарский край) в 2021-2022 годах. Объекты исследования - эхинацея пурпурная, подорожник большой, шалфей лекарственный и ромашка аптечная.

Почва опытного участка представлена выщелоченными черноземами, имеет нейтральную реакцию, pH водной вытяжки около 7. Содержание общего азота – 0,22-0,30%, фосфора (P_2O_5) – 9,17-10,22%, калия (K_2O) – 1,7-2,1%.

Опыты закладывали в соответствии с общепринятыми методиками [15], при рендомизированном расположении делянок. Повторность опытов 4-х кратная, площадь опытной делянки 24 м².

В качестве регуляторов роста использовали препараты из разных классов: Циркон (д.в. гидроксикоричные кислоты и их производные) (0,04 л/га), Гибберсиб (д.в. гиббереллиновые кислоты, натриевые соли) (0,03 кг/га), Агат-25 (д.в. штаммы бактерий *Pseudomonas aureofaciens* H16 и *Bacillus megaterium*) (0,04 л/га).

Изучали влияние системного применения гуминовых удобрений [Лигногумат (0,5 л/га), Нормат Л (0,3 кг/га)] с хелатными микроудобрениями [Силиплант (0,75 л/га) и Цитовит (0,5 л/га)] на рост и развитие лекарственных растений, урожайность семян и их качество. Лигногумат – это органическое соединение, представляющее собой комплексное соединение калийных и натриевых солей гуминовых кислот. Наличие в составе низкомолекулярных фульвокислот и микроэлементов обеспечивает высокую биологическую активность препаратов. Нормат Л – адаптогенный препарат растительного происхождения усиленный фитогормонами цитокининовой, ауксиновой, гиббереллиновой природы. Микроудобрение Силиплант представляет собой биоактивный кремний и микроэлементы в хелатной форме (Cu, Fe, Mn, Zn, Mg, Co), микроудобрение Цитовит – питательный раствор, в состав которого входят такие микроэлементы, как марганец, железо, цинк, азот и др.

Обработку препаратами проводили: гуминовыми удобрениями на ромашке и шалфее в фазу начала вегетации, на эхинацее и подорожнике – в фазу 3-4-х настоящих листьев; регуляторами роста – в фазу бутонизации. Некорневые подкормки микроудобрениями на эхинацее и подорожнике осуществляли через 25 дней после обработки гуматами. Контрольные растения обрабатывали водой. Расход рабочего раствора – 300 л/га.

Семена ромашки аптечной убирали в третьей декаде июня, эхинацеи и подорожника – во второй декаде сентября, а шалфея – третьей декаде июля.

Всхожесть семян определяли по ГОСТ 34221-2017 [16]. В чашки Петри на влажную фильтровальную бумагу закладывали по 100 штук семян из разных вариантов опыта и проращивали при комнатной температуре. Повторность опыта 6-кратная.

Экспериментальные данные обрабатывали по Б.А. Доспехову с применением пакета статистического анализа Excel.

Результаты и их обсуждение Results and discussion

Получение высоких урожаев лекарственного сырья обеспечивается за счет использования при посеве высококачественных семян перспективных сортов. Поэтому в наших исследованиях использовали сорта лекарственных культур, которые в настоящее время внедряются в производство: эхинацея пурпурная «Танюша», ромашка аптечная «Настенька», шалфей лекарственный «Фиолетовый аромат».

Обработка вышеназванных лекарственных культур в фазу бутонизации регуляторами роста способствовала значительному повышению урожайности семян, на эхинацее пурпурной наибольшее влияние на семенную продуктивность оказал Агат-25, на ромашке аптечной и шалфее лекарственном – Циркон.

В дальнейшем проводилось изучение системного применения гуминовых удобрений с вышеназванными регуляторами роста. Некорневые подкормки лекарственных культур Лигногуматом в начальные фазы роста растений обеспечили усиление ростовых процессов: высота растений повышалась к моменту начала бутонизации на 10-12 %, число листьев – на 10-14 %, сухая биомасса растения (надземная часть растений) – на 14-16 % (рис. 1).

Увеличение сухой биомассы растений под влиянием гуматов дает возможность косвенно судить о повышении интенсивности процесса фотосинтеза, тем более что в литературе есть указания об увеличении фотосинтетического потенциала при применении гуминовых удобрений [17].

Активизация биометрических показателей под влиянием Лигногумата позволяет лекарственным растениям в более ранние, чем в контроле, сроки (на 1-2 дня) перейти к фазе бутонизации и провести обра-

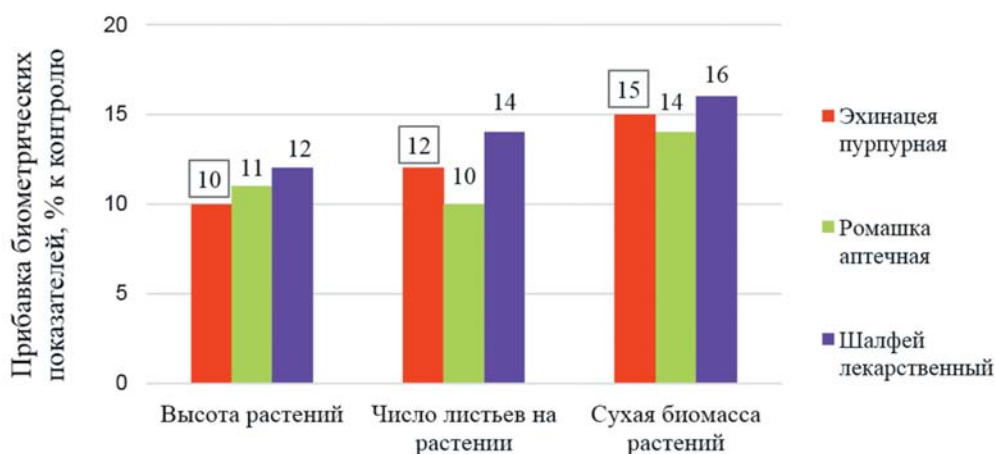


Рис. 1. Влияние Лигногумата на рост и развитие лекарственных культур
Fig. 1. Effect of Lignohumate on the growth and development of medicinal crops

Таблица 1. Влияние системного применения Лигногумата и регуляторов роста на число соцветий у лекарственных культур
Table 1. Effect of Systemic use of Lignogumat and growth regulators on inflorescence in medicinal cultures

Вариант опыта	Эхинацея пурпурная		Ромашка аптечная		Шалфей лекарственный	
	шт./растение	% к контролю	шт./растение	% к контролю	шт./растение	% к контролю
Контроль, вода	12,9±0,65	100	10,8±0,53	100	5,2±0,25	100
Циркон 0,04 л/га	14,4±0,71	112	12,4±0,64	115	6,3±0,32	121
Лигногумат 0,5 л/га + Циркон 0,04 л/га	14,9±0,75	116	13,0±0,81	120	6,7±0,34	129
Агат 0,04 л/га	15,2±0,78	118	11,9±0,61	110	5,7±0,29	110
Лигногумат 0,5 л/га+Агат 0,04 л/га	16,0±0,81	124	12,3±0,62	114	6,0±0,31	116
Гибберсиб 0,03 кг/га	14,0±0,72	109	12,0±0,62	111	5,8±0,30	111
Лигногумат 0,5 л/га + Гибберсиб 0,03 кг/га	14,5±0,74	112	12,4±0,64	116	6,2±0,32	119

ботку регуляторами роста. Дальнейшие наблюдения за лекарственными культурами показали, что комплексные обработки гуматами и регуляторами роста привели к более дружному цветению растений и обеспечили сокращение времени созревания семян (на 2-3 дня). Перед уборкой семян лекарственных культур на всех вариантах опыта проводили подсчет числа соцветий. У эхинацеи пурпурной и ромашки аптечной соцветия представляют собой корзинки, расположенные на длинных цветоносах, цветки шалфея лекарственного собраны в ложные мутовки, образующие рыхлое колосовидное соцветие.

Согласно данным таблицы 1, на всех вариантах опыта с лекарственными культурами наблюдалось увеличение числа соцветий на 9-29%. Наибольшее

увеличение числа соцветий на эхинацее пурпурной отмечено на варианте Лигногумат + Агат (на 24%), на ромашке аптечной и шалфее лекарственном в варианте Лигногумат + Циркон – на 20 и 29%, соответственно.

На этих же вариантах определяли и самое значительное повышение урожайности семян по сравнению с контролем: на эхинацее пурпурной – на 31%, на ромашке аптечной – на 28% и шалфее лекарственном – на 39 %, с применением только регуляторов роста – на 7, 12 и 13%, соответственно. Масса 1000 семян при системном применении увеличивалась на эхинацее на 9%, на ромашке – на 13%, на шалфее – на 15%. На всхожесть семян испытанные препараты не оказали существенного влияния (табл.2).

Таблица 2. Комплексное влияние Лигногумата и регуляторов роста на семенную продуктивность лекарственных культур
Table 2. Complex effect of Lignogumat and growth regulators on seed production of medicinal cultures

Вариант опыта	Урожайность семян		Масса 1000 семян,		Всхожесть семян	
	т/га	% к контролю	г	% к контролю	%	прибавка, %
Эхинацея пурпурная (сорт Танюша)						
Контроль, вода	0,78	100	3,86±0,195	100	83±4,16	-
Циркон 0,04 л/га	0,89	114	3,97±0,198	103	84±4,21	1
Лигногумат 0,5л/га + Циркон 0,04 л/га	0,93	119	4,06±0,205	105	85±4,24	2
Агат 0,04 кг/га	0,97	124	4,05±0,211	105	84±4,23	1
Лигногумат 0,5 л/га+Агат 0,04 кг/га	1,02	131	4,18±0,208	108	85±4,27	2
Гибберсиб 0,03 кг/га	0,87	112	4,13±0,198	107	85±4,20	2
Лигногумат 0,5 л/га + Гибберсиб 0,03 кг/га	0,91	117	4,28±0,212	111	87±4,37	4
НСР ₀₅	0,079					
Ромашка аптечная (сорт Настенька)						
Контроль, вода	0,345	100	0,062±0,0033	100	83±4,12	-
Циркон 0,04 л/га	0,400	116	0,069±0,0035	111	85±4,21	2
Лигногумат 0,5л/га + Циркон 0,04 л/га	0,440	128	0,070±0,0034	113	88±4,37	5
Гибберсиб, 0,03 кг/га	0,385	112	0,066±0,0033	106	85±4,23	2
Лигногумат 0,5кг/га+Гибберсиб 0,03 кг/га	0,420	120	0,068±0,0036	110	86±4,32	3
Агат 0,04 л/га	0,383	111	0,064±0,0035	103	84±4,18	1
Лигногумат 0,5 л/га+Агат 0,04 кг/га	0,410	119	0,065±0,0034	105	85±4,19	2
НСР ₀₅	0,0291					
Шалфей лекарственный (сорт Фиолетовый аромат)						
Контроль, вода	0,350	100	1,28±0,066	100	81±4,09	-
Циркон 0,04 л/га	0,440	126	1,39±0,063	109	83±4,17	2
Лигногумат 0,5л/га + Циркон 0,04 л/га	0,485	139	1,47±0,072	115	86±4,29	5
Гибберсиб, 0,03 кг/га	0,405	116	1,38±0,062	108	83±4,13	2
Лигногумат 0,5кг/га+Гибберсиб 0,03 кг/га	0,44	126	1,42±0,070	111	85±4,28	4
Агат 0,04 кг/га	0,400	114	1,35±0,061	105	81±4,08	0
Лигногумат 0,5 л/га+Агат 0,04 л/га	0,425	121	1,37±0,063	107	83±4,19	2
НСР ₀₅	0,0382					

Таблица 3. Влияние комплексного применения гуминовых удобрений и микроудобрений на морфометрические показатели растений эхинацеи пурпурной и подорожника большого (фаза бутонизации)
 Table 3. Effect of complex application of humic fertilizers and micro-fertilizers on morphometric parameters of purple echinacea and large plantain plants (budding phase)

Вариант опыта	Число листьев на растении		Площадь ассимиляционной поверхности		Сухая биомасса растений	
	шт.	% к контролю	см ²	% к контролю	г	% к контролю
Эхинацея пурпурная						
Контроль, вода	25,8±1,36	100	781,3±39,09	100	48,9±2,48	100
Лигногумат 0,5л/га+ Силиплант 0,7 л/га	29,5±1,47	110	875,1±43,80	112	55,7±2,81	114
Нормат Л 0,3 кг/га + Силиплант 0,7 л/га	29,7±1,49	111	890,7±44,5	114	56,7±2,86	116
Подорожник большой						
Контроль, вода	15,6±0,79	100	554,3±27,78	100	34,2±1,73	100
Лигногумат 0,5л/га+ Силиплант 0,7 л/га	17,8±0,92	114	620,8±31,11	112	40,0±2,03	117
Лигногумат 0,5 л/га+ Цитовит 0,5 л/га	17,2±0,88	110	604,2±30,25	109	38,3±1,94	112
Нормат Л 0,3 кг/га+ Силиплант 0,7 л/га	17,5±0,89	112	626,4±31,38	113	39,7±1,99	116
Нормат Л 0,3 кг/га+ Цитовит 0,5 л/га	17,1±0,86	110	598,6±29,98	108	37,6±1,89	110

Как указывалось выше, на ряде сельскохозяйственных культур показана высокая эффективность комплексного применения гуминовых удобрений и хелатных микроудобрений. В связи с этим на эхинацее пурпурной и подорожнике большом были заложены опыты по некорневым подкормкам в активные фазы роста растений комплексами гуминовых удобрений (Лигногумат и Нормат Л) с микроудобрениями Силиплант и Цитовит.

Необходимо отметить, что фаза бутонизации наступала через 7-10 дней после обработки микроудобрениями или на 2-3 дня раньше, чем в контроле.

Как показывают данные таблицы 3, наблюдаемая высокая отзывчивость эхинацеи пурпурной и подорожника большого на некорневые обработки комплексом Лигногумата и Нормат Л с микроудобрением Силиплант проявляется в достоверном увеличении количества листьев на растении на 10-14%, площади их ассимиляционной поверхности – на 12-14% и сухой биомассы – на 14-17%. При применении комплекса гуминовых удобрений с микроудобрением Цитовит на подорожнике большим прибавка по всем морфометрическим показателям была ниже, чем в других опытных вариантах.

Активизация ростовых процессов, увеличение накопления сухой биомассы под действием изучаемых комплексов позволило лекарственным культурам в полной мере реализовать свой потенциал для завязываемости полноценных семян и получения их высоких урожаев.

Как видно из данных таблицы 4, наибольшее число соцветий на эхинацее пурпурной и подорожнике большом было установлено на вариантах с баковой смесью Лигногумата и Нормат Л с Силиплантом, по сравнению

с контролем оно увеличилось на эхинацее пурпурной – на 10-12%, на подорожнике большом – на 16-18%. В этих же вариантах наблюдалось и самое высокое повышение урожайности семян (на 14-16%), масса 1000 семян также увеличивалась на 8-10%. На всхожесть семян испытанные препараты не оказали существенного влияния (табл.4).

Испытание комплекса Лигногумата и Нормат Л с Цитовитом на подорожнике большом показало, что его применение способствовало повышению урожайности семян лишь на 10-11% и увеличению массы 1000 семян на 4-6% (табл. 4).

Полученные данные по высокой эффективности применения комплекса гуминовых удобрений с микроудобрением Силиплант позволяют высказать предположение об аддитивности действия данных соединений. Так, применение гуматов позволяет растениям накопить значительное количество пластических веществ, что способствует активному переходу растений в генеративную фазу. Силиплант, являющийся кремнийсодержащим препаратом, может оказывать положительное влияние на содержание ауксинов, необходимых для завязывания семян, тем более что рядом исследователей установлено влияние кремния на повышение содержания данного фитогормона [18].

Таким образом, используя комплексы гуминовых препаратов с регуляторами роста растений и кремнийсодержащим микроудобрением Силиплант в качестве эффективных средств регулирования роста и развития лекарственных культур, активизации процессов цветения и образования семян, можно обеспечить высокую урожайность и улучшение качества получаемого семенного материала.

Таблица 4. Влияние комплексного применения гуминовых удобрений и микроудобрений на урожайность и качество семян эхинацеи пурпурной и подорожника большого
Table 4. Effect of complex application of humic fertilizers and micro-fertilizers on the yield and quality of seeds of purple echinacea and large plantain

Варианты опыта	Число соцветий		Урожайность		Масса 1000 семян		Всхожесть, %
	шт.	% к контролю	т/га	% к контролю	г	% контролю	
Эхинацея пурпурная							
Контроль, вода	12,61±0,631	100	0,78	100	3,86±0,198	100	83±4,21
Лигногумат 0,5л/га + Силиплант 0,7 л/га	14,12±0,706	112	0,90	115	4,21±0,212	109	84±4,19
НорматЛ 0,3кг/га +Силиплант 0,75 л/га	13,89±0,696	110	0,89	114	4,16±0,209	108	85±4,28
НСР ₀₅			0,0 82				
Подорожник большой							
Контроль, вода	4,12±0,223	100	0,253	100	0,116±0,0054	100	85±4,29
Лигногумат 0,5л/га + Силиплант 0,7 л/га	4,86±0,243	118	0,293	116	0,132±0,0067	110	87±4,38
Лигногумат 0,5 л/г + Цитовит 0,5 л/га	4,51±0,228	109	0,280	111	0,123±0,0061	106	86±4,26
Нормат Л 0,3 кг/га + Силиплант 0,7 л/га	4,77±0,241	116	0,288	114	0,129±0,0063	109	87±4,35
Нормат Л 0,3 кг/га + Цитовит 0,5 л/га	4,45±0,225	108	0,278	110	0,121±0,0063	104	85±4,23
НСР ₀₅			0,016				

Закключение Conclusion

В результате проведенных исследований показана специфичность действия регуляторов роста на семенную продуктивность лекарственных культур. Для эхинацеи пурпурной более высокие показатели урожайности семян установлены при применении Агата, на ромашке аптечной и шалфее лекарственном – Циркона.

Наибольшее увеличение семенной продуктивности достигается при обработке лекарственных культур гуматом в начальные фазы их роста и регуляторами роста – в фазу бутонизации. На эхинацее это Лигногумат + Агат, прибавка составила 31%, на ромашке и шалфее – Лигногумат + Циркон, 28 и 39%, соответственно. При этом улучшалось качество семян, масса 1000 штук увеличивалась на 8-15%.

Некорневые подкормки эхинацеи и подорожника гуминовыми препаратами и микроудобрениями также обеспечили повышение урожайности семян. Наилучшие результаты получены при комплексном применении Лигногумата и Нормата Л с кремний-содержащим микроудобрением Силиплант, где урожайность семян эхинацеи составила 0,89-0,90 т/га, подорожника – 0,288-0,293 т/га, что превышало контроль на 14-16%.

Несмотря на то, что показатели урожайности семян на вариантах с гуминовыми препаратами и микроудобрением были несколько ниже, чем при их комплексе с регуляторами роста, этот метод повышения урожайности при семеноводстве лекарственных культур также может быть перспективным.

• Литература

- Карасев М.М. Лекарственное растительное сырье - перспективы использования в современной клинической практике. *Современные наукоемкие технологии*. 2014;(6):8-52.
- Куркин В.А., Вельямкина Е.И., Рыжов В.М., Тарасенко Л.В. Новые подходы к диагностике лекарственного растительного сырья эхинацеи пурпурной. *Традиционная медицина*. 2012;(1):42-46. EDN OZAGEF.
- Машковский М.Д. Лекарственные средства. 16-е издание. «Новая волна». М. 2021. 1216 с.
- Самылина И.Л., Сорокина Л.А., Горская Н.В. Подорожник большой (*Plantago major* L.). *Фарматека*. 2010;2(196):100-101. EDN LKREXT.
- Кароматов И.Д., Бадрутдинова М.Н., Язмуратов Ф.А. Ромашка аптечная известное лекарственное растение. *Биология и интегративная медицина*. 2018;7(24):4-26. EDN DODIQT.
- Рябинина Е.И., Шихалиева К.Д., Зотова Е.Е., Пономарева Н.И., Зотова А.И., Селиванова Ю.А. Антимикробная и антиоксидантная активность водных экстрактов *Hypericum perforatum* L., *Salvia officinalis*

- L., *Achillea millefolium* L. и зеленого чая. *Прикладные информационные аспекты медицины*. 2016;19(3):119-123. EDN WVIFQH.
- Кшникаткина А.Н., Аленин П.Г., Аленушкин К.В. Приемы повышения семенной продуктивности кострца безостого. *Нива Поволжья*. 2014;3(32):26-30. EDN SNJJEV.
- Смолин Н.В., Потапова Н.В., Волгин В. В. и др. Действие регуляторов роста и минеральных удобрений на семенную продуктивность и декоративные качества циннии. *Аграрный научный журнал*. 2021;(1):38-42. DOI 10.28983/asj.y2021i1pp38-42. EDN QAFWXL.
- Ромашкина С.И., Хазиева Ф.М. Перспективы выращивания *Hedysarum alpinum* L. в Нечерноземной зоне Российской Федерации. *Вестник КрасГМУ*. 2020;(12):63-68. DOI 10.36718/1819-4036-2020-12-63-68. EDN VCBKMQ.
- Гущина В.А., Тимошкин О.А., Вельмисева Л.Е. Урожайность и качество семян календулы лекарственной в зависимости от приемов возделывания в лесостепи Среднего Поволжья. *Земледелие*. 2016;(6):35-38. EDN WWRGZR.
- Бузлама А.В., Чернов Ю.Н. Анализ фармакологических

свойств, механизмов действия и перспектив применения гуминовых веществ в медицине. *Экспериментальная и клиническая фармакология*. 2010;73(9):43-48. EDN TNKBAB.

12. Лебедева Н.В., Левченкова А.Н. Оценка влияния некорневой обработки сельскохозяйственных культур гуминовыми препаратами в условиях Северо-Запада России. // *Агрохимический вестник*. 2014;(3):23-26. EDN SGNLTR.

13. Сидельников Н.И., Быкова О.А., Тхаганов Р.Р., Аникина А.Ю. Приемы повышения урожайности маклеи в условиях Западного Предкавказья. *Труды Кубанского аграрного университета*, 2022;3(96):207-211. DOI 10.21515/1999-1703-96-207-211. EDN AAPXSQ.

14. Новиков Н.Н., Никитин В.С. Эффективность использования микроудобрений и гуминовых препаратов при обработке посевов гороха посевного. *Вестник Рязанского государственного агро-технологического университета им. П. А. Костычева*. 2018;3(39):37- 42. EDN YBJJRR.

15. Методика регистрационных испытаний и регистрации гербицидов, фунгицидов и регуляторов роста в Российской Федерации. СПб. 2009.

16. ГОСТ 34221-2017 «Семена лекарственных и ароматических культур. Сортовые и посевные качества. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2020. 23 с.

17. Богомазов С.В., Мимонян М.А., Ткачук О.А., Павликова Е.В. Фотосинтетический потенциал и урожайность агроценозов яровой пшеницы в зависимости от систем основной обработки почвы и гуминовых удобрений. *Нива Поволжья*. 2017;4(45):23-27. EDN ZTIEHV.

18. Ложникова В.Н., Слостя И.В. Рост растений ярового ячменя и активность эндогенных фитогормонов под действием кремния. *Сельскохозяйственная биология*. 2010;(3):102-107. EDN MTHCZJ.

References

1. Karasev M.M. Medicinal plant raw materials - prospects for use in modern clinical practice. *Modern high technology*. 2014;2014;(6):8-52. (In Russ.)

2. Kurkin V.A., Velmyaykina E.I., Ryzhov V.M., Tarasenko L.V. New approaches to the diagnostics of medicinal plant drugs of *Echinacea purpurea*. *Tradicionnaya medicina*. 2012;(1):42-46. EDN OZAGEF. (In Russ.)

3. Mashkovsky M.D. Medicines. "New wave". M. 2021. 1216 p. (In Russ.)

4. Samylin I.L., Sorokina L.A., Gorskaya N.V. *Plantago major* L. *Farmateka*. 2010;2(196):100-101. EDN LKREXT. (In Russ.)

5. Karomatov I.D., Badrutdinova M.N., Yazmuradov F.A. Camomile pharmaceutical known herb. *Biology and integrative medicine*. 2018;7(24):4-26. EDN DODIQT. (In Russ.)

6. Ryabinina E.I., Shikhalieva K.D., Zotova E.E., Ponomareva N.I., Zotova A.I., Selivanova Y.A. Antimicrobial and antioxidant activity of *Hypericum perforatum* L., *Achillea millefolium* L. and green tea aqueous extracts. *Applied and it research in medicine*. 2016;19(3):119-123. EDN WVIFQH. (In Russ.)

7. Kshnikatkina A.N., Alyonin P.G., Alyonushkin K.V. Methods of raising seed productivity of awnless brome. *Niva Povolzhya*. 2014;3(32):26-30. EDN SNJJEV. (In Russ.)

8. Smolin N.V., Potapova N.V., Volgin V.V., Zashimova A.A., Kuznetsov A.V. Effect of growth regulators and mineral fertilizers on seed productivity and decorative qualities of zinnia. *THE Agrarian scientific journal*. 2021;(1):38-42. DOI 10.28983/asj.y2021i1pp38-42. EDN QAFWXL. (In Russ.)

9. Romashkina S.I., Khazieva F.M. The prospects of cultivation of *hedysarum alpinum* L. in non-chernozemzone of the Russian Federation. *Bulletin of KSAU*. 2020;(12):63-68. DOI 10.36718/1819-4036-2020-12-63-68. EDN VCBKMQ. (In Russ.)

10. Gushchina V.A., Timoshkin O.A., Velmiseva L.E., Ostroborodova N.I. Productivity And Seed Quality Of *Calendula Officinalis* Depending On Cultivation Techniques In Forest-Steppe Of The Middle Volga Region. *Zemledelie*. 2016;(6):35-38. EDN WWRGZR. (In Russ.)

11. Buzlama A.V., Chernov U.N. Humic substances: pharmacological properties, mechanisms of action, and prospects for use in medicine. *Experimental and clinical pharmacology*. 2010;73(9):43-48. EDN TNKBAB. (In Russ.)

12. Lebedeva N.V., Levchenkova A.N. Estimation of not root top-dressing of agricultural crops influence of by humate preparations of the northwest of Russia. *Agrochemical herald*. 2014;(3):23-26. EDN SGNLTR. (In Russ.)

13. Sidelnikov N.I., Bykova O.A., Thaganov R.R., Anikina A.Yu. Methods of increasing the maclea yield in the conditions of Western Caucasus. *Proceedings of the Kuban State Agricultural University*. 2022;3(96):207-211. DOI 10.21515/1999-1703-96-207-211. EDN AAPXSQ. (In Russ.)

14. Mitrofanov S.V., Novikov N.N., Nikitin V.S., Blagov D.A. Effectiveness of using micronutrient fertilizers and humic preparations in treatment of *Pisum sativum* seedlings. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*. 2018;3(39):37- 42. EDN YBJJRR. (In Russ.)

15. Methodology for registration testing and registration of herbicides, fungicides and growth regulators in the Russian Federation. SPb. 2009. (In Russ.)

16. GOST 34221-2017 «Seeds of medicinal and aromatic crops. Varietal and sowing qualities. Specifications». M.: Standartinform, 2020. - 23s. (In Russ.)

17. Bogomazov S.V., Simonyan M.A., Tkachuk O.A., Pavlikova Ye.V. Photosynthetic potential and yield productivity of agroecosis of spring wheat depending on system of the primary soil tillage and humic fertilizers. *Niva Povolzhya*. 2017;4(45):23-27. EDN ZTIEHV. (In Russ.)

18. Lozhnikova V.N., Slasya I.V. Growth of spring barley plants and activity of endogenous phytohormones under the influence of silicon. *Agricultural biology*. 2010;(3):102-107. EDN MTHCZJ. (In Russ.)

About the Authors:

Нина Сергеевна Тропина – старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-2457-0609>, Spin-КОД-3892-3520, AuthorID: 781429, автор для переписки, krasnodarvilar@gmail.com

Руслан Рамазанович Тхаганов – старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-2834-3131>, SPIN-код: 2150-4710, AuthorID: 648697

Виталий Рамазанович Тхаганов – старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-0518-354X>, SPIN-код: 5906-6646, AuthorID: 1136621

Николай Иванович Сидельников – академик РАН, доктор с-х наук, директор ФГБНУ ВИАР, SPIN-код: 2569-5980, AuthorID: 761157, Scopus ID 57190126607

About the Authors:

Nina S. Tropina – Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-2457-0609>, Spin: 3892-3520, AuthorID: 781429, Correspondence Author, krasnodarvilar@gmail.com

Ruslan R. Thaganov – Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-2834-3131>, SPIN: 2150-4710, AuthorID: 648697

Vitaly R. Thaganov – Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-0518-354X>, SPIN: 5906-6646, AuthorID: 1136621

Nikolay I. Sidelnikov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Agr.), director of FSBSI VILAR, SPIN: 2569-5980, AuthorID: 761157, Scopus ID 57190126607

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-78-83>
УДК 635.342:631.816.12 (470.31)

С.М. Надежкин^{1,2*}, М.Ю. Маркарова¹,
М.С. Антошкина¹, А.В. Молчанова¹,
И.Е. Осокин³, О.А. Разин⁴, А.Э. Маркарова¹

¹ Федеральное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, пос. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14

² Учебно-опытный почвенно-экологический центр МГУ имени М.В. Ломоносова (УО ПЭЦ МГУ имени М.В. Ломоносова) 141592, Россия, Московская область, г.о. Солнечногорск, дер. Чашниково

³ Филиал ФГБУ «Россельхозцентр» по Тверской области Россия, г. Тверь, ул. Озерная, 9

⁴ ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» 141055, Россия, Московская обл., г. Лобня, ул. Научный городок

*Автор для переписки: nadegs@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в анализе материалов, написании текста статьи и формировании выводов.

Для цитирования: Надежкин С.М., Маркарова М.Ю., Антошкина М.С., Молчанова А.В., Осокин И.Е., Разин О.А., Маркарова А.Э. Эффективность некорневых подкормок при выращивании капусты белокачанной в Нечерноземной зоне. *Овощи России*. 2023;(6):78-83. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-78-83>

Поступила в редакцию: 07.11.2023

Принята к печати: 27.11.2023

Опубликована: 04.12.2023

Sergey M. Nadezhkin^{1,2*},
Maria Yu. Markarova¹, Marina S. Antoshkina¹,
Anna V. Molchanova¹, Ivan E. Osokin³,
Oleg A. Razin⁴, Anna E. Markarova¹

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Selectionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, 143072, Russia

² Educational and experimental soil-ecological center of Lomonosov Moscow State University village Chashnikovo, Solnechnogorsk district, Moscow region, Russia, 141592

³ The branch of the Federal State Budgetary Institution "Rosselkhoztsentr" in the Tver region st. Ozeraya, 9, Tver, Russia

⁴ Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology st. Nauchny gorodok, Lobnya, Moscow region, 141055, Russia

*Corresponding Author: nadegs@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, writing the text of the article and forming conclusions.

For citation: Nadezhkin S.M., Markarova M.Yu., Antoshkina M.S., Molchanova A.V., Osokin I.E., Razin O.A., Markarova A.E. The effectiveness of non-root fertilizers during cultivation white cabbage in the Non-Chernozem zone. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):78-83. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-78-83>

Received: 07.11.2023

Accepted for publication: 27.11.2023

Published: 04.12.2023

Эффективность некорневых подкормок при выращивании капусты белокачанной в Нечерноземной зоне



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Листовая подкормка при выращивании овощей обусловлена ее положительным влиянием на показатели качества и урожайности. Применение микроудобрений для некорневой подкормки позволяет оптимизировать усвоение питательных веществ растениями, что может не только снизить экономические затраты, но и регулировать накопление биологически-активных веществ. Выявление оптимальной системы подкормок для разных сортов и гибридов овощей особенно актуально в зонах рискованного земледелия, где главным фактором, регулирующим показатели урожайности, является погодный.

Материал и методы. Цель работы – провести сравнительную оценку эффективности листовых подкормок капусты белокачанной сорта Зимовка 1474 различными агрохимикатами. В полевом опыте в течение трех лет (2018-2020) изучали действие микроудобрений, гумата, хелатов и биостимулятора на урожайность, биохимический и микроэлементный состав капусты белокачанной сорта Зимовка 1434 (оригинатор ФГБНУ ФНЦО).

Результаты. Показано, что на биометрические характеристики капусты наилучшим образом влияет некорневая подкормка микроудобрением Акварин и биостимулятором БИС-65, на общую и товарную урожайность – микроудобрение в хелатной форме Хелатон. Наибольшее накопление сухого вещества, сахаров, витамина С было характерно для вариантов с применением биопрепарата БИС-65 и хелатных удобрений (Тиатон, Хелатон). Хелатные удобрения способствовали также увеличению накопления в кочанах таких элементов, как калий, кальций, железо, цинк и марганец.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

микроудобрения, хелаты, биостимуляторы, урожайность, биохимические показатели

The effectiveness of non-root fertilizers during cultivation white cabbage in the Non-Chernozem zone

ABSTRACT

Relevance. Foliar feeding when growing vegetables is due to its positive effect on quality and yield indicators. The use of microfertilizers for foliar feeding allows optimizing the absorption of nutrients by plants, which can not only reduce economic costs, but also regulate the accumulation of biologically active substances. Identifying the optimal fertilizing system for different varieties and hybrids of vegetables is especially important in risky farming areas, where the main factor regulating yield indicators is weather.

Methodology. The purpose of the work is to conduct a comparative assessment of the effectiveness of foliar feeding of the white cabbage variety Zimovka 1474 different agrochemicals. In a field experiment for three years (2018-2020), the effect of microfertilizers, humate, chelates and a biostimulator on the yield, biochemical and microelement composition of white cabbage variety Zimovka 1434 was studied.

Results. It has been shown that the biometric characteristics of cabbage are best influenced by foliar fertilization with microfertilizer Aquarin and the biostimulator BIS-65, and the total and marketable yield is influenced by microfertilizer in chelate form Helaton. The greatest accumulation of dry matter, sugars, and vitamin C was typical for variants using the biological product BIS-65 and chelated fertilizers (Tiaton, Helaton). Chelated fertilizers also contributed to an increase in the accumulation of elements such as potassium, calcium, iron, zinc and manganese in cabbage heads.

KEYWORDS:

microfertilizers, chelates, biostimulators, productivity, biochemical parameters

Введение

В настоящее время проблема повышения биодоступности элементов питания для растений является одной из ключевых в растениеводстве. При определенных условиях листья растений по усваивающей способности значительно превосходят корневую систему. Элементы питания после попадания на листовую поверхность способны поглощаться за несколько часов, в то время как при корневом питании этот процесс протекает значительно дольше. Листьями растений может потребляться более 90 % микроэлементов, нанесенных на их поверхность, а корневая система способна извлечь около 3 % доступных форм микроэлементов из почвы. Несмотря на низкие дозы, проведение некорневых подкормок микроудобрениями позволяет оперативно регулировать минеральное питание растений [1].

Обработка растений по листу микроэлементами в сочетании с регуляторами роста способствует активизации гормональной системы растений, повышается устойчивость к абиотическим факторам окружающей среды, раскрывается генетический потенциал сельскохозяйственных культур, улучшается фосфорный, углеводный обмен, повышается продуктивность фотосинтеза, что, в совокупности способствует повышению урожайности и качества продукции растениеводства [2]. Фолиарная обработка может усиливать метаболические процессы за счет увеличения фотосинтетической активности культур, прямого усвоения ряда микроудобрений и микроэлементов непосредственно поверхностью листьев [3]. Применение комплексных препаратов на основе микроэлементов и регуляторов роста, несомненно, представляет значительный научно-практический интерес.

Считается доказанным, что для нормального роста и развития микроэлементы должны вводиться в растения в активной форме. К наиболее перспективным биологически активным соединениям относятся комплексоны металлов, которые также называют хелатами. Действие их состоит в том, что они активизируют деятельность ферментов, воздействуют на биохимические процессы, происходящие в клетках, стимулируют рост и развитие растений [4, 5].

При изучении влияния некорневой подкормки комплексными удобрениями гибридов капусты белокочанной в условиях Центрального Нечерноземья России (Тверская область) установлено, что их применение экономически выгодно. Наиболее выгодно возделывание капусты белокочанной при применении некорневой подкормки препаратом Акварин 5, которая повышала условно чистый доход на 145,5-166,9 тыс. руб./га за счет роста урожайности на 9,5-10,6 т/га [6].

В условиях центральной части Курганской области наиболее существенное влияние на формирование кочанов и продуктивность капусты оказывала обработка «Акварином 5» в дозе 1 кг/га и 2 кг/га. В этих вариантах масса кочана составила 3,6 и 3,1 кг, а товарная урожайность, соответственно, 62,5 т/га и 56,7 т/га [7].

В Ленинградской области двукратная некорневая обработка Аквадон-Микро способствовала более эффективному использованию минеральных удобрений, что позволяло снизить дозу их внесения на 25-50% без ущерба для урожая. Применение удобрения приводило к существенному увеличению урожайности капусты по сравнению с контрольным вариантом. Наибольший урожай капусты был получен при применении удобрения Аквадон-Микро в дозе 3 л/га, величина которого составила 803,2 ц/га, что на 194,0 ц/га, или 31,8% выше контроля. Двукратная внекорневая обработка капусты микроэлементным удобрением в дозе 1,5 л/га была менее эффективной и позволила получить только 706,0 ц/га, или 15,9% [8].

В полевых опытах на орошаемых террасовых темно-каштановых почвах Саратовского Заволжья изучено влияние хелатных удобрений на продуктивность основных овощных культур. Прибавка урожая от Реасила микро гидромикс составила: 35,8% плодов огурца,

28,3% корнеплодов свеклы столовой, 22,6% плодов томата, 20,9% кочанов капусты белокочанной поздней, 9,1% лука репчатого, 6,8% корнеплодов моркови столовой. Наибольшая урожайность капусты белокочанной поздней формировалась при использовании 1 л/га Реасила микро гидромикс после высадки рассады и 1 л/га одного из хелатных микроудобрений (реасил Mg или реасил Mn) в начале завязывания кочанов [9].

Ранее в наших исследованиях изучение применения гуминовых удобрений (гуматы калия и натрия – энергена) показало, что наибольшая их эффективность проявляется при выращивании разновидностей капусты – белокочанной, цветной и брокколи. В среднем по трем сортам капусты белокочанной наибольшую прибавку продуктивности к фону (N60P90K90) обеспечивало использование энергена – рост урожайности составлял 14-18%. Меньшая эффективность была характерна для гумата калия, а наименьшая – для гумата натрия (9-13%) [10].

Использование регуляторов роста Новосип и Циркон при выращивании капусты белокочанной на черноземе выщелоченном в условиях Западной Сибири способствовало улучшению биохимического состава капусты белокочанной сорта Слава, увеличению содержания в кочанах сухого вещества, витамина С, сахаров [11].

Ростстимулирующие свойства некоторых микроорганизмов объясняют их способностью к синтезу ряда физиологически-активных веществ, что позволяет применять их или их продуценты при листовых подкормках овощных культур [12, 13, 14]. Так, эффективность биостимуляторов, на основе бактерий и дрожжей, продуцирующих аминокислоты, была показана на гибридах капусты белокочанной F1 Зарница и F1 Мечта на дерново-подзолистой почве в Нечерноземной зоне в Подмосковье [15].

Цель работы – провести сравнительную оценку эффективности листовых подкормок капусты белокочанной сорта Зимовка 1474 различными агрохимикатами.

Условия и методы проведения исследований

Все исследования проведены на опытном поле ФГБНУ ФНЦО. Почвы опытного поля дерново-подзолистые тяжелосуглинистые. Агрохимическая характеристика пахотного (0-20 см) слоя почвы перед высадкой рассады: содержание гумуса по Тюрину – 1,62%, реакция среды pH_{KCl} 6,1, гидролитическая кислотность 1,32 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований 19,2 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями 93,6%, содержание подвижного фосфора в среднем 472 мг/кг почвы, обменного калия 167 мг/кг почвы, минерального азота 9 мг/кг.

Погодные условия

В период 2018-2020 годов погодные условия отличались как от среднееголетних, так и по годам (рис. 1, 2). Температура воздуха за все месяцы вегетации 2018 года была немного выше среднееголетних значений, особенно в мае и сентябре на 4,1 и 3,8°C соответственно, при этом максимум наблюдался в июле – 19,9°C. В июне-августе 2018 г., количество выпавших осадков составило 179 мм, что на 35,5 меньше (214,5 мм) среднееголетних значений. Наиболее негативное влияние на вегетационный период 2018 года оказал август, где наряду с повышенной температурой отмечалось более чем двукратное снижение выпавших осадков.

Погодные условия 2019 года характеризовались повышенными среднемесячными температурами (за исключением июля) относительно многолетних, а также значительно сниженным количеством осадков – на 37% относительно среднееголетних значений по периоду.

Температура воздуха за вегетацию в 2020 году составила в среднем +15,8°C, что на 1,0°C выше среднееголетних данных. При этом большое влияние на рост и развитие капустных культур оказа-

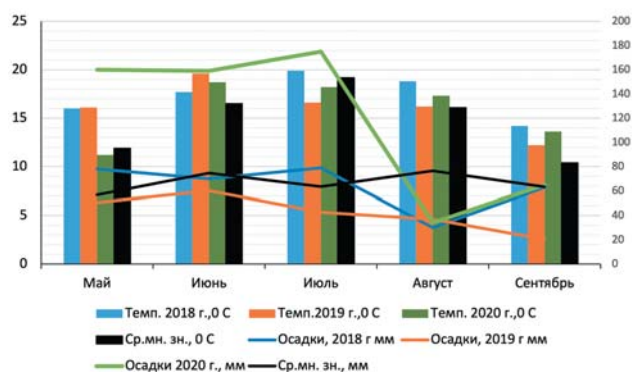


Рис. 1. Температура воздуха и количество осадков за вегетационный период 2018-2020 годов
Fig. 1. Air temperature and precipitation for the growing season 2018-2020

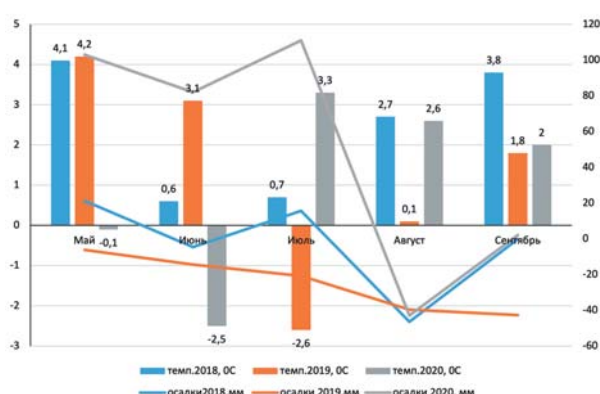


Рис. 2. Отклонение от среднееголетних значений температуры и количества осадков (2018-2020 годы)
Fig. 2. Deviation from the long-term average values of temperature and precipitation (2018-2020)

ло значительное количество осадков в период с мая по июль – 494 мм, что в 2,5 выше среднееголетних значений (+296 мм). В августе количество осадков было в 2 раза меньше среднееголетних значений, что в сочетании с более высокой температурой затормозило набор вегетативной массы капусты.

Объекты исследования

Капуста белокачанная сорт Зимовка 1474. Сорт позднеспелый, от всходов до технической спелости – 130-150 дней. Высадка рассады в грунт в возрасте 40-45 дней, в фазе пяти-шести настоящих листьев. Кочаны округло-плоские, очень плотные, массой 2,0-3,6 кг. Урожайность – 50-60 т/га. Отличается высокой лежкостью при зимнем хранении. Товарность за 6 месяцев хранения – 80-90%. При благоприятных условиях кочаны сохраняются до июня. По мере хранения вкусовые качества кочанов улучшаются. Используется в свежем виде во второй половине зимы.

Исследовано влияние на показатели роста и качества капусты белокачанной сорта Зимовка 1474 следующих агрохимикатов:

Акварин овощной – удобрение с оптимальным набором макро- и микроэлементов для питания растений через полив и листовые подкормки. Микроэлементы в его составе содержатся в виде сложных органических солей – хелатов. Состав: N (%): 19, P₂O₅(%): 6, K₂O (%): 20, MgO (%): 1.5, S (%): 1.4. Микроэлементы: Fe (ДТПА) – 0,054; Zn (ЭДТА) – 0,014; Cu (ЭДТА) – 0,01; Mn (ЭДТА) – 0,042; Mo – 0,004; B – 0,02

Гумат Экорост – жидкость на основе гуминовых кислот, pH нейтральный(6,5-7,5), содержание действующего вещества (гуминовых кислот) – 70 г/л.

Хелатон Экстра: комплексное водорастворимое удобрение, состав: Fe – 0,58%; Mn – 0,77%; Co – 0,57%; Mo – 0,58%; Cu – 0,53%; Zn – 0,58%; B – 0,16%; аммиачный азот – 3,78%.

Тиатон представляет собой органо-минеральное удобрение, включающее в состав 4% S в органической форме.

Экспериментальный микробный комплекс (МБК) БИС-65 разработан на основе природных почвенных коринеформных бактерий рода *Rhodococcus* и дрожжей *Rhodotorula*, способных вырабатывать физиологически-активные вещества и оказывать на растения стимулирующий рост, иммуномодулирующий и антистрессовый эффект.

Биохимические анализы проведены в лабораторно-аналитическом отделе ФГБНУ ФНЦО. Анализ проводили по общепринятым методикам: содержание сухого вещества – термogravиметрически; нитратного азота – потенциометрически), содержание аскорбиновой кислоты определяли методом визуального титрования в 6% трихлоруксусной кислоте 2,6-дихлорфенол индофенолятом натрия (реактив Тилманса). Определение содержания сахаров проводили цианидным методом [16]. Статистическую обработку результатов опытов проводили методом однофакторного дисперсионного анализа с применением MS Excel.

Схема опыта: 1. Фон N90P90K120 (контроль), 2. Фон + БИС-65, 3. Фон + Акварин 0,6%, 4. Фон + Гумат ТорЭкс, 0,6%, 5. Фон + Хелатон. Повторность опыта трехкратная. Количество учетных растений в повторностях 12-14 шт.

Рассаду капусты готовили путем посева семян в кассеты, куда предварительно набивали увлажненный торф Агробалт. Использованы кассеты 8X8 ячеек. Подготовка рассады проводилась в теплице с конца апреля по начало июня. Схема посадки в поле 70X50 см. Густота стояния 28,0 тыс./га. Обработку испытуемыми регуляторами роста и препаратами осуществляли фолиарно с применением пневматического ручного опрыскивателя. Периодичность обработки – через 2 и 4 недели после высадки растений в поле.

Результаты исследований и их обсуждение

Оценка влияния листовых обработок проведена по показателям урожайности, биохимическому и микроэлементному составу капусты.

Учет массы кочанов показал, что в среднем за три года исследований максимальный прирост был после обработки растений препаратами Акварин и Хелатон, где при массе 2,99 и 3,10 кг соответственно прибавка к контролю составила 15 и 19% (рис.3). Самое слабое из изученных регуляторов роста влияние оказал гуминовый препарат Экорост, где масса кочана в среднем была 2,76 кг (прибавка к контролю 6%).

Максимальная товарная урожайность отмечена для вариантов обработок препаратами МБК БИС (73 т/га, или 16% от контроля),

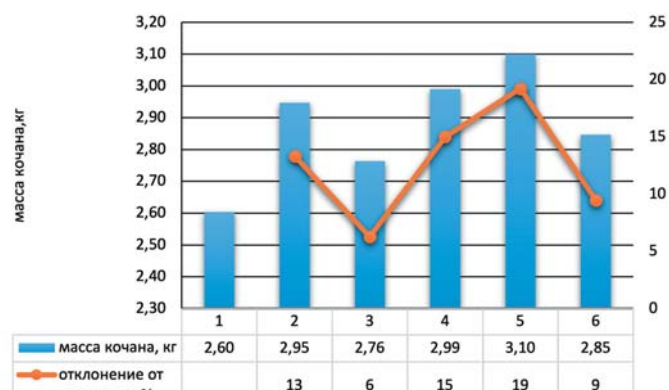


Рис. 3. Влияние фолиарной обработки регуляторами роста на массу кочана, среднее за 3 года (1. Контроль. 2. БИС-65. 3. Экорост. 4. Акварин. 5. Хелатон. 6. Тиатон)
Fig.3. The effect of foliar treatment with growth regulators on the weight of the head, average for 3 years (1. Control; 2. BIS-65; 3. Ecorost; 4. Aquarin; 5. Helaton; 6. Tiaton)

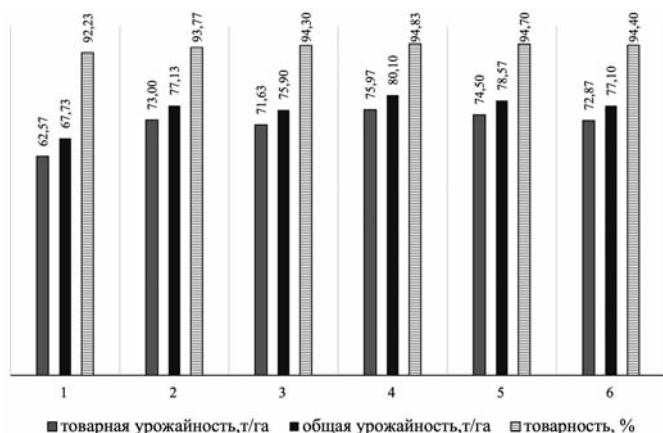


Рис. 4. Влияние обработок на показатели урожайности капусты белокочанной сорт Зимовка 1474, среднее за 3 года (1. Контроль. 2. БИС-65. 3. Экорост. 4. Акварин. 5. Хелатон. 6. Тиатон)
Fig. 4. The influence of treatments on the yield indicators of white cabbage variety Zimovka 1474, average for 3 years (1. Control. 2. BIS-65. 3. Ecorost. 4. Aquarin. 5. Helaton. 6. Tiaton)

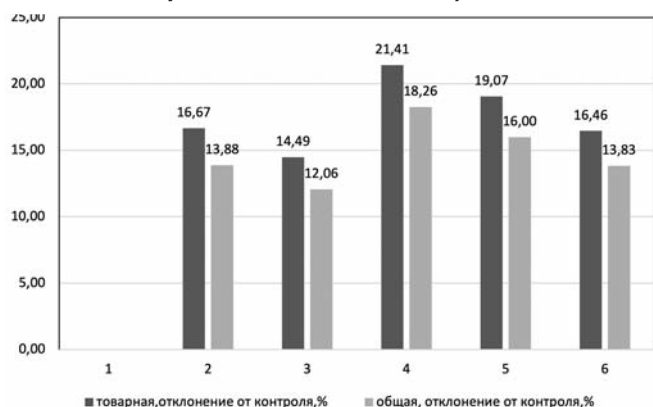


Рис. 5. Влияние обработок на прибавку товарной и общей продукции капусты белокочанной сорт Зимовка 1474, среднее за 3 года (1. Контроль. 2. БИС-65. 3. Экорост. 4. Акварин. 5. Хелатон. 6. Тиатон)
Fig. 5. The influence of treatments on the increase in marketable and total production of white cabbage variety Zimovka 1474, average for 3 years (1. Control. 2. BIS-65. 3. Ecorost. 4. Aquarin. 5. Helaton. 6. Tiaton)

Хелатон (74,5 т/га или 19% от контроля) и Акварин – наибольшая прибавка (75,97 т/га или 21,4%) (рис.4, 5). Показатели общего урожая капусты несколько отличались от товарного урожая. Наибольшие показатели отмечены после обработки капусты препаратом Акварин – 80,1 т/га (+18,26% от контроля), далее по убывающей влияли препараты Хелатон (78,57 т/га), Тиатон и БИС-65 (77,1 т/га), Экорост (75,9 т/га).

В различных почвенно-климатических условиях России ранее была установлена высокая эффективность использования хелатных комплексных удобрений [6-10]. В опытах на серой лесной почве использование биопрепарата азотобактерин способствовало росту урожайности капусты сорта Подарок с 42 до 64 т/га, или на 52,4% [14].

Товарность в целом была высокой во всех вариантах: 92% на контроле и около 94% на вариантах с foliarными обработками (рис. 4). Самая высокая отмечена после обработки капусты Акварином (94,83%).

По годам максимальной товарной урожайностью капусты отличался 2018 год, где даже на контроле значения были до 70 т/га (табл. 1). При обработке Хелатоном товарной капусты собрали 83,6 т/га, МБК БИС – 81,8, Тиатон – 81,2 и Акварином – 80 т/га. Самой низкой урожайностью характеризовался 2020 год – 55 т/га на контроле. В этом же году с наибольшей товарной урожайностью был вариант при обработке капусты Акварином. Другими словами погодные условия влияют на эффективность испытанных агрохимикатов – при достаточном количестве осадков более эффективными оказываются биостимулятор МБК БИС и хелатные удобрения Хелатон и Тиатон, при недостатке осадков в период налива кочана (в августе и сентябре), как в 2020 году – наиболее эффективно применение Акварина.

Оценка биохимического состава капусты по годам показала, что погодные условия оказывали влияние на накопление сухого веще-

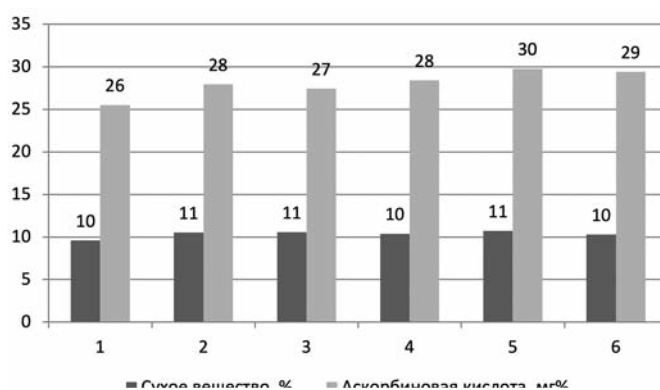


Рис. 6. Влияние обработок на содержание сухого вещества (%) и витамина С (мг%) в кочанах капусты белокочанной сорта Зимовка 1474, среднее за 3 года (1. Контроль. 2. БИС-65. 3. Экорост. 4. Акварин. 5. Хелатон. 6. Тиатон)
Fig. 6. Effect of treatments on the content of dry matter (%) and vitamin C (mg%) in heads of white cabbage variety Zimovka 1474, average for 3 years (1. Control. 2. BIS-65. 3. Ecorost. 4. Aquarin. 5. Helaton. 6. Tiaton)

Таблица 1. Урожайность капусты белокочанной за период 2018-2020 годов
Table 1. White cabbage yield for the period 2018-2020

Варианты	Товарная урожайность, т/га				Общая урожайность, т/га			
	2018	2019	2020	среднее за 3 года	2018	2019	2020	среднее за 3 года
Контроль	70,3	62,3	55,1	62,57	74,4	67,5	61,3	67,73
МБК БИС	81,8	71,3	65,9	73,00	85	75,9	70,5	77,13
Гумат Экорост	79,5	70,1	65,3	71,63	83,1	74,7	69,9	75,90
Акварин	80,0	72,6	75,3	75,97	83,4	77,1	79,8	80,10
Хелатон	83,6	71,7	68,2	74,50	86,6	76	73,1	78,57
Тиатон	81,2	70,7	66,7	72,87	84,1	75,1	72,1	77,10
НСР ₀₅	4,2	3,2	4,1		4,4	3,5	4,2	

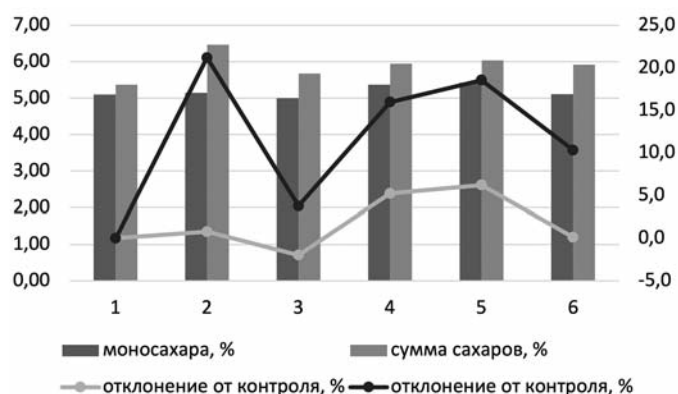


Рис. 7. Влияние обработок на накопление сахаров (%) в кочанах капусты белокочанной сорта Зимовка 1474, среднее за 3 года (1. Контроль. 2. БИС-65. 3. Экорост. 4. Акварин. 5. Хелатон. 6. Тиатон)
Fig. 7. The effect of treatments on the accumulation of sugars (%) in heads of white cabbage variety Zimovka 1474, average for 3 years (1. Control. 2. BIS-65. 3. Ecorost. 4. Aquarin. 5. Helaton. 6. Tiaton)

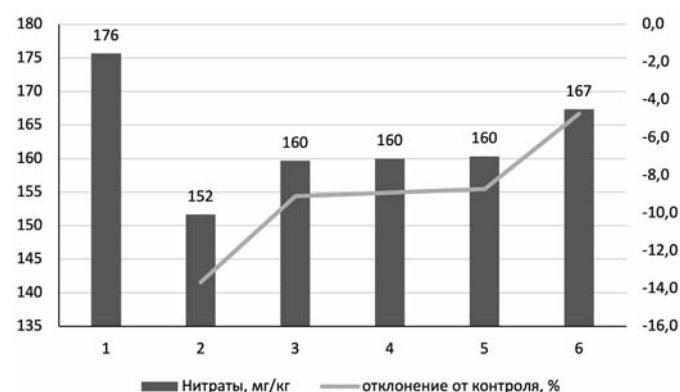


Рис. 8. Влияние обработок на накопление нитратов (мг/кг) в кочанах капусты белокочанной сорта Зимовка 1474, среднее за 3 года (1. Контроль. 2. БИС-65. 3. Экорост. 4. Акварин. 5. Хелатон. 6. Тиатон)
Fig. 8. The effect of treatments on the accumulation of nitrates (mg/kg) in heads of white cabbage variety Zimovka 1474, average for 3 years (1. Control. 2. BIS-65. 3. Ecorost. 4. Aquarin. 5. Chelaton. 6. Tiaton)

ства, сахаров, витамина С и нитратов в кочанах. Наибольшие показатели по накоплению сухого вещества отмечены для условий 2019 года; значительный разброс по вариантам содержания моносахаров характерен для условий 2019 и 2020 годов, по сумме сахаров – 2020 год, в этом же году было отмечено максимальное накопление витамина С. Самое большое количество нитратов отмечено в 2018 году. С учетом того, что 2018 год отличался наиболее сухим и жарким летом повышение концентрации нитратов было закономерным. Самое большое количество осадков выпало летом 2020 года, температурный режим был умеренно теплым. На этом фоне отмечен и рост содержания витамина С по всем вариантам, в том числе и в контрольном.

Сравнение трехлетних данных по влиянию разных препаратов на биохимический состав капусты показало, что применение всех агрохимикатов повышало содержание сухого вещества и аскорбиновой кислоты во всех вариантах, относительно контроля (рис. 6). Для наибольшего увеличения концентрации сухого вещества благоприятны обработки препаратами Хелатон (+11,7% относительно контроля), Экорост и БИС-65 (+10,0 и 9,7% соответственно). Содержание витамина С наибольшее было при обработке Хелатоном и Тиатоном, незначительно – Акварином и МБК-БИС. Увеличение по аскорбиновой кислоте от 9,42 до 13,4 относительных процента.

Сумма сахаров также увеличивалась относительно контроля во всех вариантах с листовыми подкормками, но наибольшее отмечены после обработки капусты МБК-БИС (6,47%, что на 20% выше конт-

рольных значений) и хелатоном (6,13% – на 12,3% выше контроля).

Накопление нитратов при использовании изучаемых агрохимикатов снижалось относительно контроля и сильнее всего после обработки растений МБК БИС (рис. 8). Превышения ПДК по нитратам для капусты не выявлено ни в одном из вариантов.

Анализ элементного состава кочанов капусты белокочанной позволил выявить, что использование микроэлементов в активной форме способствовало большему накоплению отдельных элементов. Наибольшие изменения характерны для серы – под влиянием Тиатона его количество увеличивалось с 5081 до 8050 мг/кг сухого вещества, или на 58,4% в сравнении с контролем (табл. 2). Содержание калия и магния под влиянием изучаемых приемов изменялось незначительно, а кальция – возрастало при использовании Тиатона и особенно Хелатона. Содержание железа также возрастало с 21,8 до 23,9-31,2 мг/кг сухого вещества в зависимости от применяемых видов микроудобрений. Наибольший прирост данного микроэлемента (на 43,1%) под влиянием Тиатона на наш взгляд обусловлен тем, что ферменты, в состав которых входит сера, способствуют большему усвоению Fe из почвы.

Что касается остальных микроэлементов, то можно отметить повышение содержания цинка и меди под влиянием всех изучаемых препаратов.

Заключение

Изучение действия микроудобрений, гумата, хелатов и биостимулятора на урожайность, биохимический и микроэлементный состав капусты белокочанной сорта Зимовка 1434 за три года показало, что на биометрические характеристики капусты наилучшим образом влияет некорневая подкормка микроудобрением Акварин и биостимулятором БИС-65, на общую и товарную урожайность – микроудобрение в хелатной форме Хелатон. Погодные условия оказывают влияние на эффективность испытанных агрохимикатов – при достаточном количестве осадков более эффективными оказываются биостимулятор МБК БИС и хелатные удобрения Хелатон и Тиатон, при недостатке осадков в период налива кочана (в августе и сентябре), как в 2020 году, наиболее эффективно применение для листовой подкормки Акварина.

Наибольшее накопление сухого вещества, сахаров, витамина С было характерно для вариантов с применением биопрепарата БИС-65 и хелатных удобрений (Тиатон, Хелатон). Хелатные удобрения способствовали увеличению накопления в кочанах таких элементов, как калий, кальций, железо, цинк и марганец.

Таблица 2. Содержание химических элементов в кочанах капусты сорта Зимовка 1474, мг/кг сухого вещества (среднее за три года)
Table 2. Content of chemical elements in heads of cabbage variety Zimovka 1474, mg/kg of dry matter (average for three years)

Элемент	Варианты			
	Контроль	Акварин	Хелатон	Тиатон
K	19829	19495	20440	20265
Ca	3723	3867	5435	4927
Mg	1340	1177	1348	1331
S	5081	4772	5202	8050
Fe	21,8	23,9	25,3	31,2
Zn	9,05	10,1	9,93	10,1
Mn	10,5	12,5	15,2	14,6
Cu	1,60	1,83	1,70	1,71
Mo	0,51	0,45	0,77	0,47
Co	0,16	0,10	0,12	0,16
Cd	0,00	0,00	0,01	0,02

• Литература

1. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П. и др. Агрохимия: учебник. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
2. Russell A.E., Laird D.A., Mallarino A.P. Nitrogen Fertilization and Cropping System Impacts on Soil Quality in Midwestern Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*. 2006;(1):249-255. DOI 10.2136/sssaj2005.0058
3. Вознесенская Т.Ю., Вережкина Т.М. Влияние инновационных форм удобрений на нарастание листового аппарата и его фотосинтетическую деятельность. *Плодородие*. 2018;6(105):9-12. DOI 10.25680/S19948603.2018.105.03. EDN PJSVZL.
4. Матевосян Г.Л., Шишов А.Д. Регуляция роста и продуктивности основных овощных культур и картофеля: монография. Федеральное агентство по образованию, Новгородский гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород: Новгородский гос. ун-т, 2007. 138 с.
5. Haydon M.J., Cobbett C.S. Transporters of ligands for essential metal ions in plants. *New Phytol.* 2007;174(3):499-506. DOI:10.1111/j.1469-8137.2007.02051.x
6. Дроздова И.А., Фаринюк Ю.Т., Павлов М.Н. Экономическая эффективность возделывания капусты белокачанной при использовании различных комплексных удобрений в условиях Верхневолжья. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2023;8(102):150-154. DOI 10.33938/238-150. EDN VFIUFU.
7. Иванюшин Е.А., Хачукаев Р.С. Эффективность использования водорастворимых удобрений при выращивании овощных культур в условиях Курганской области. *Вестник Курганской ГСХА*. 2012;1(1):21-24. EDN PYJKNN.
8. Осипов А.И., Шкрабак Е.С. Влияние некорневого питания на урожай и качество овощных культур. *Известия Санкт-Петербургского ГАУ*. 2018;(51):35-41. EDN XUEGHB.
9. Пронько Н.А., Корсаков К.В., Пронько В.В., Степанченко Д.А. Применение хелатных удобрений на орошаемых овощных культурах в Саратовском Заволжье. *Аграрный научный журнал*. 2021;(5):41-45. DOI 10.28983/asj.y2021i5pp41-45. EDN LVZZNZ.
10. Пивоваров В.Ф., Надежкин С.М. Основные пути совершенствования систем удобрения в овощеводстве. *Плодородие*. 2016;5(92):16-18. EDN WWRVXJ.
11. Галеев Р.Р., Езепчу Л.Н. Влияние регуляторов роста на урожайность и качество капусты белокачанной в разных природных зонах западной Сибири. *Вестник Алтайского государственного университета*. 2011;5(79):9-13. EDN NQUCIP.
12. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ПАХН, 2005. 301 с.
13. Соколова М.Г., Акимова Г.П., Вайшла О. Б. Влияние на растения фитогормонов, синтезируемых ризосферными бактериями. *Прикладная биохимия и микробиология*, 2011;47(3):302-307. EDN NWDAXD.
14. Соколова М.Г., Акимова Г.П., Хуснидинов Ш.К. Эффективность применения биопрепаратов ассоциативных бактерий на различных овощных культурах. *Агрохимия*. 2009;(7):54-59. EDN KPTIPH.
15. Маркарова А.Э., Маркарова М.Ю., Разин О.А., Надежкин С.М. Совершенствование элементов технологии выращивания капусты белокачанной в Нечерноземной зоне России. *Известия ФНЦО*. 2021;(3-4):84-88. DOI 10.18619/2658-4832-2021-3-4-84-88. EDN VEWVDP.
16. Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Молчанова А.В., Антошкина М.С., Надежкин С.М., Солдатенко А.В. Антиоксиданты растений и методы их определения. М.: ФГБНУ ФНЦО, 2018. 181 с. ISBN 978-5-901695-76-0. EDN VLNAUJ.

• References

1. Mineev V.G., Sychev V.G., Gamzikov G.P. and others. *Agrochemistry*. M., 2017. 854 p. (In Russ.)
2. Russell A.E., Laird D.A., Mallarino A.P. Nitrogen Fertilization and Cropping System Impacts on Soil Quality in Midwestern Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*. 2006;(1):249-255. DOI 10.2136/sssaj2005.0058
3. Voznesenskaya T.Yu., Vervovkina T.M. Influence of innovative forms of fertilizers on growth of leaf apparatus and its photosynthetic activity. *Plodородие*. 2018;6(105):9-12. DOI 10.25680/S19948603.2018.105.03. EDN PJSVZL. (In Russ.)
4. Matevosyan G.L., Shishov A.D. Regulation of growth and productivity of main vegetable crops and potatoes: monograph. Novgorod, 2007. 138 p. (In Russ.)
5. Haydon M.J., Cobbett C.S. Transporters of ligands for essential metal ions in plants. *New Phytol.* 2007;174(3):499-506. DOI:10.1111/j.1469-8137.2007.02051.x
6. Drozdov I.A., Farinyuk Yu.T., Pavlov M.N. Economic efficiency of white cabbage cultivation when using various complex fertilizers in the conditions of the Upper Volga Region. *Economics, labor, management in agriculture*. 2023;8(102):150-154. DOI 10.33938/238-150. EDN VFIUFU. (In Russ.)
7. Ivanushin E.A., Hachukaev R.S. Efficient use of water-soluble fertilizers for growing vegetables in the Kurgan region. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2012;1(1):21-24. EDN PYJKNN. (In Russ.)
8. Osipov A.I., Shkrabak E.S. The influence of foliar nutrition on the yield and quality of vegetable crops. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2018;(51):35-41. EDN XUEGHB. (In Russ.)
9. Pron'ko N.A., Korsakov C.V., Pron'ko V.V., Stepanchenko D.A. Application of chelated fertilizers on irrigated vegetable crops in the Saratov Zavolzhye. *The agrarian scientific journal*. 2021;(5):41-45. DOI 10.28983/asj.y2021i5pp41-45. EDN LVZZNZ. (In Russ.)
10. Nadezhkin S.M., Pivovarov V.F. Main methods of improving fertilization systems in vegetable breeding. *Plodородие*. 2016;5(92):16-18. EDN WWRVXJ. (In Russ.)
11. Galeev R.R., Ezepechu L.N.) The influence of growth regulators on the yield and quality of white cabbage in different natural zones of Western Siberia. *Bulletin of Altai State University*, 2011;5(79):9-13. EDN NQUCIP. (In Russ.)
12. Zavalin A.A. Biological products, fertilizers and crops. M.: RASHN, 2005. 301 p. (In Russ.)
13. Sokolova M.G., Akimova G.P., Vaishlya O.B. Effect of phytohormones synthesized by rhizosphere bacteria on plants. *Applied biochemistry and microbiology*. 2011;47(3):302-307. EDN NWDAXD. (In Russ.)
14. Sokolova M.G., Akimova G.P., Khusnidinov Sh.K. Efficiency of using biological products of associative bacteria on various vegetable crops. *Agrochimia*. 2009;(7):54-59. EDN KPTIPH. (In Russ.)
15. Markarova A.E., Markarova M.Yu., Razin O.A., Nadezhkin S.M. The white cabbage cultivation technology elements improvement in the Russia Non-Chernozem zone. *News of FSVC*. 2021;(3-4):84-88. DOI 10.18619/2658-4832-2021-3-4-84-88. EDN VEWVDP. (In Russ.)
16. Golubkina N.A., Kekina E.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Plant antioxidants and methods for their determination. M.: FGBNU FNTSO, 2018. 181 p. ISBN 978-5-901695-76-0. EDN VLNAUJ. (In Russ.)

Об авторах:

Сергей Михайлович Надежкин – доктор биол. наук, профессор, зав. Лабораторно-аналитическим отделом, <https://orcid.org/0000-0001-5786-3454>, автор для переписки, nadegs@yandex.ru
Мария Юрьевна Маркарова – канд. биол. наук, в.н.с., <https://orcid.org/0000-0002-7951-2222>, myriam@mail.ru
Марина Сергеевна Антошкина – канд. с.-х. наук, с.н.с., <https://orcid.org/0000-0002-5510-4873>, limont@mail.ru
Анна Владимировна Молчанова – канд. с.-х. наук, с.н.с., <https://orcid.org/0000-0002-7795-7463>, vovka.ks@rambler.ru
Иван Евгеньевич Осокин – руководитель филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по Тверской области, ivoc@yandex.ru
Олег Анатольевич Разин – кандидат с.-х. наук, и.о. директора, <https://orcid.org/0000-0002-4844-938X>, oleg.rasin@gmail.com
Анна Эдуардовна Маркарова – м.н.с., <https://orcid.org/0000-0001-5131-8180> doctorviss@gmail.com

About the Authors:

Sergey M. Nadezhkin – Dr. Sci. (Biology), Professor, Head. Laboratory and Analytical Department, <https://orcid.org/0000-0001-5786-3454>, Correspondence Author, nadegs@yandex.ru
Maria Yu. Markarova – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-7951-2222>, myriam@mail.ru
Marina S. Antoshkina – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5510-4873>, limont@mail.ru
Anna V. Molchanova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-7795-7463>, vovka.ks@rambler.ru
Ivan E. Osokin – Head of the branch of the Federal State Budgetary Institution "Rosselkhozcentr" in the Tver region, ivoc@yandex.ru
Oleg A. Razin – Cand. Sci. (Agriculture), Acting Director, <https://orcid.org/0000-0002-4844-938X>, oleg.rasin@gmail.com
Anna E. Markarova – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-5131-8180> doctorviss@gmail.com

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-84-89>
УДК 635.341:581.192.7

А.М. Артемьева*,
А.Е. Соловьева

ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт
генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова (ВИР)
190000, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 42-44

*Автор для переписки: akme11@yandex.ru

Благодарности. Исследование выполнено в рамках проекта «Национальная сетевая коллекция генетических ресурсов растений для эффективного научно-технологического развития РФ в сфере генетических технологий» по задаче «Раскрытие закономерностей изменчивости и генетического контроля содержания метаболитов овощных и бахчевых культур для формирования системы здорового питания». Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по договору № 075-15-2021-1050 от 28.09.2021.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в анализе материалов, написании текста статьи и формировании выводов.

Для цитирования: Артемьева А.М., Соловьева А.Е. Питательные и биологически активные соединения капусты краснокочанной. *Овощи России*. 2023;(6):84-89.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-84-89>

Поступила в редакцию: 20.11.2023

Принята к печати: 28.11.2023

Опубликована: 04.12.2023

Anna M. Artemyeva*,
Alla E. Solovyeva

Federal State Budgetary Scientific Organization
Federal Research Centre All-Russian Institute
Of Plant Genetic Resources named on N.I.Vavilov
(VIR); 190000 Saint-Petersburg,
Bolshaya Morskaya str., 42-44;

*Corresponding Author: akme11@yandex.ru

Acknowledgments. The study was carried out within the framework of the project "National Network Collection of Plant Genetic Resources for Effective Scientific and Technological Development of the Russian Federation in the Field of Genetic Technologies" for the task "Disclosure of patterns of variability and genetic control of the content of metabolites of vegetable and melon crops for the formation of a healthy nutrition system." The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under contract No. 075-15-2021-1050 dated September 28, 2021.

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, writing the text of the article and forming conclusions.

For citation: Artemyeva A.M., Solovyeva A.E. Nutrients and bioactive compounds of red cabbage. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):84-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-84-89>

Received: 20.11.2023

Accepted for publication: 28.11.2023

Published: 04.12.2023

Питательные и биологически активные соединения капусты краснокочанной



РЕЗЮМЕ

Цель настоящего исследования – оценка биохимических компонентов в кочанах некоторых сортов капусты краснокочанной (русский сорт Михневская, русский гибрид фирмы Седек Прометей F₁, турецкий сорт Mohrenkopf, гибриды из Нидерландов Zomiro F₁, Pecky F₁, Ремала F₁, японский гибрид Pretino F₁), при выращивании в условиях Ленинградской области. Определили содержание сухого вещества, питательных соединений белка и сахаров, биологически активных пигментов антоцианов, хлорофиллов, каротиноидов, фенольных кислот, выраженных в эквивалентах галловой кислоты, а также уровень антиоксидантной активности с использованием DPPH. Установлено, что содержание большинства химических компонентов сильно варьировало между образцами, особенно сахаров, пигментов, фенольных соединений. В результате метаболомного профилирования выявлены девять моносахаров (84% от суммы) и два дисахара, в том числе пять сахаров, общих для всех исследованных образцов, преобладающий из них фруктоза. Содержание суммы хлорофиллов в кочанах было в пределах 0,48-50,43 мг/100 г (хлорофилл а составил 70%), каротиноидов в пределах 0,95-15,58 мг/100 г. Каротиноиды включали каротины, представленные в основном β-каротином, лютеины, виоллаксантины, ксантофиллы. Основным антоцианом у образцов капусты краснокочанной является цианидин. Всего идентифицировано 19 компонентов профиля антоцианов; из них основных шесть компонентов, на которые приходится 80% общего количества. Идентифицировали 11 фенольных соединений различной природы, при этом все образцы капусты краснокочанной содержали хинную, феруловую, синаповую кислоты. Найдены источники ценных биохимических признаков для селекции на качество для здорового питания: высоким содержанием сухого вещества выделился сорт капусты краснокочанной Mohrenkopf; сахаров – гибрид Zomiro F₁; антоцианов – гибрид Pecky F₁; фенольных соединений – Pecky F₁ и Mohrenkopf; высокой антиоксидантной активностью – Михневская, Mohrenkopf и Pecky F₁.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

капуста краснокочанная, питательные соединения, биологически активные вещества

Nutrients and bioactive compounds of red cabbage

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the biochemical components in the heads of some red cabbage accessions (Russian cultivar Mikhnevskaya, Russian hybrid from Co Sedek Promethey F₁, Turkish variety Mohrenkopf, hybrids from the Netherlands Zomiro F₁, Pecky F₁, Remala F₁, Japanese hybrid Pretino F₁), during cultivation in the conditions of the Leningrad region. The content of dry matter, nutritional compounds of protein and sugars, biologically active pigments anthocyanins, chlorophylls, carotenoids, phenolic acids expressed in gallic acid equivalents, as well as the level of antioxidant activity using DPPH were determined. It was found that the content of most chemical components varied greatly between accessions, especially sugars, pigments, and phenolic compounds. As a result of metabolomic profiling, nine monosaccharides (84% of the total) and two disaccharides were identified, including five sugars common to all studied accessions, the predominant of which was fructose. The content of total chlorophylls in heads of cabbage was in the range of 0.48-50.43 mg/100 g (chlorophyll a was 70%), carotenoids in the range of 0.95-15.58 mg/100 g. Carotenoids included carotenes, represented mainly by β-carotene, luteins, violaxanthins, xanthophylls. The main anthocyanin in red cabbage accessions is cyanidin. A total of 19 components of the anthocyanin profile were identified; of which there are six main components, that account for 80% of the total. 11 phenolic compounds of various nature were identified, and all studied accessions contained quinic, ferulic, and sinapic acids. Sources of valuable biochemical traits have been found for breeding on quality for healthy nutrition: the cultivar Mohrenkopf stood out for its high content of dry substances; sugars – hybrid Zomiro F₁; anthocyanins – hybrid Pecky F₁; phenolic compounds – Pecky F₁ and Mohrenkopf; high antioxidant activity - Mikhnevskaya, Mohrenkopf and Pecky F₁.

KEYWORDS:

red cabbage; nutrients compounds; biologically active compounds

Введение

В XXI веке на фоне увеличивающегося загрязнения окружающей среды, стало актуальной проблемой включение в рацион питания населения большего количества овощной продукции. Население России потребляет в среднем по стране всего 105-109 кг овощей в год, что значительно ниже медицинской нормы (140 кг на человека в год). Улучшить существующее положение можно не только за счет селекции новых сортов, но и за счет более полной реализации генетического потенциала культур. Овощи больше, чем какой-либо другой сельскохозяйственный продукт, нуждаются в улучшении качества, так как используются как диетологическая и лечебная пища. Функциональное питание – это пища, которой придается дополнительная функция, часто связанная с укреплением здоровья или профилактикой заболеваний, путем добавления новых ингредиентов или большего количества существующих ингредиентов [1].

Капуста краснокочанная *Brassica oleracea* L. convar. *capitata* var. *rubra* (DC.) возникла в результате мутации капусты белокочанной в Малой Азии; она широко распространена в мире, прежде всего в Европе [2].

Капуста краснокочанная обладает ценным биохимическим составом кочана и заслуживает расширения использования в Российской Федерации для здорового питания населения. Углеводные соединения в капусте краснокочанной представлены пищевыми волокнами и натуральными сахарами. Употребление продуктов с высоким содержанием клетчатки, таких как капуста краснокочанная, рекомендуется для предотвращения рака толстой кишки, высокого уровня холестерина, диабета и ожирения. Капуста краснокочанная является богатым источником микроэлементов, витаминов и провитаминов, таких как аскорбиновая кислота, токоферолы и каротиноиды, в том числе лупеол, минералов, глюкозинолатов, таких как синигрин и сульфорафан, которые стимулируют активность ферментов и подавляют рост опухолей [3].

Капуста краснокочанная выделяется широким спектром фенольных веществ [4]. Фенольные вещества относятся к категории фитонутриентов, обладающих сильными антиоксидантными свойствами. Их можно классифицировать на простые фенолы, фенольные кислоты, производные гидрохлоричной кислоты и флавоноиды. Сообщалось о способности некоторых фенольных веществ действовать как мощные антиоксидантные компоненты. Возникновение окислительного повреждения может быть значительным фактором развития многих хронических заболеваний, таких как рак и сердечно-сосудистые заболевания [5, 6]. Считается, что капуста краснокочанная содержит одну из самых высоких концентраций антиоксидантов среди всех овощей [3].

Капуста краснокочанная уникальна среди овощей семейства капустные тем, что является одним из съедобных источников натуральных пигментов, в том числе высоким содержанием антоцианов – более 10 г/кг сухого вещества [7], наличие которых обуславливает красно-фиолетовую окраску растений. Антоцианы представляют собой группу флавоноидов, которые в последнее время вновь привлекают все большее внимание к экстракции природных пигментов из-за обще-

ственного беспокойства по поводу безопасности синтетических красителей. Капуста краснокочанная используется в коммерческих целях как один из основных источников пищевых красителей антоцианов [8]. Антоцианы относятся к антиоксидантным [9, 10], антидиабетическим и противовоспалительным питательным веществам [5, 11, 12, 13], участвуют в профилактике рака [3]. Количество их сильно зависит от сорта, методов ведения сельского хозяйства и времени созревания капусты краснокочанной [14].

Антоцианы широко распространены в природе, обладают полезными для здоровья свойствами, высокой совместимостью с биологическими системами и нетоксичностью, и их можно рассматривать как лучшие натуральные красители для использования в пищевой промышленности [15]. Окраска во многом определяет потребительскую привлекательность и существенно влияет на рыночную стоимость продукта. Антоцианы демонстрируют обратимые цветовые свойства, изменяющиеся в зависимости от значения pH. Четыре различные формы антоцианов находятся в равновесии друг с другом в водных растворах: катион флавилия (красный), хиноноидальная (от фиолетового до синего) и бесцветные формы (псевдооснование карбинола и халкон). Таким образом, изменение цвета раствора является следствием одной или нескольких конфигураций антоцианов, полученных при изменении pH среды [16]. В отличие от других культур, капуста краснокочанная является ценным красителем при любых pH среды.

Цель исследований – изучение особенностей накопления питательных и биологически активных соединений в различных сортах капусты краснокочанной.

Материалы и методы

Для наших исследований выбраны 7 образцов капусты краснокочанной, различных по географическому происхождению, агробиологической принадлежности, времени создания сорта/гибрида: российский сорт Михневская (к-175), российский гибрид фирмы Седек Прометей F₁ (вр.к-202), турецкий сорт Mohrenkopf (вр.к-201), гибриды из Нидерландов Zomiro F₁ (к-250), Pecky F₁ (вр.к-198), Ремала F₁ (вр.к-201), японский гибрид Pretino F₁ (вр.к-200).

Растения выращивали в поле овощного севооборота НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» с использованием общепринятой в Северо-западной зоне РФ агротехники.

Образцы были обработаны и проанализированы, как описано ранее: Содержание сухого вещества муки определяли методом, основанном на взвешивании части измельченной средней пробы до и после высушивания при температуре 100–105°C, до постоянной массы [17]. Сахара определяли по Бертрону, перманганатным методом, который основан на способности редуцирующих сахаров, обладающих свободной карбоксильной группой, восстанавливать в щелочном растворе окисненную медь в закисненную [17]. Общую (титруемую) кислотность – титрованием экстракта 0,1 н щелочью, с пересчетом на яблочную кислоту [17]. Аскорбиновую кислоту – методом прямого извлечения из растений 1% соляной кислотой, с последующим титрованием с помощью 2,6-дихлориндофинола (реактив Тильманса) [17].

Пигменты были выделены с помощью 100% ацетона, и их абсорбция была измерена на спектрофотометре Ultrospec II при различных длинах волн (нм): 645, 662 для хлорофиллов а и в, 440 – для каротиноидов, 454 – для каротинов (суммарное содержание каротинов определяли методом бумажной хроматографии), 454 – для β -каротина, 447 – лютеина, 440 – виолксантина и 443 – ксантофилла [17].

Антоцианы извлечены экстракцией раствором 1% соляной кислоты, с последующим спектрофотометрированием при длине волны 510 нм, в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид (453). Для внесения поправки на содержание зеленых пигментов одновременно определяли оптическую плотность полученных экстрактов при 657 нм [18].

Содержание белка определяли по методу Кьельдаля [17]: образец высушивали при температуре 60°C, размалывали, навеску муки минерализовали при нагревании с концентрированной серной кислотой при 420°C в течение полутора часов. Определение азота проводили, используя полуавтоматический анализатор Kjeltac 2200 (FOSS, Швеция) с последующим титрованием 0,1 н раствором серной кислоты. Общее содержание белка рассчитывали по азоту с коэффициентом 6,25 (для овощных культур).

Содержание полифенолов было определено с помощью колориметрического метода Фолина-Чикальтеу (поглощение, измеряемое при 765 нм) на спектрофотометре Ultrospec II [19]. В качестве калибровочного стандарта использовали галловую кислоту, результаты выражены в эквиваленте галловой кислоты.

Антиоксидантную активность изучали с помощью анализа на поглощение свободных радикалов DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил) на спектрофотометре Ultrospec II [18]. Модифицированный метод для количественной оценки антиоксидантного потенциала основан на способности стабильного свободного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl – DPPH•) реагировать с донорами протонов, включая фенолы. Поскольку это соединение обладает очень интенсивным светопоглощением в видимой области спектра (с пиком в диапазоне 515 нм), его концентрация в растворе может быть количественно определена на спектрофотометре. После стадии нейтрализации свободных радикалов в стандартных условиях проводится измерение уровня и скорости окисления радикала DPPH•.

Для исследования антоцианового комплекса листья гомогенизировали под слоем 10% водного раствора муравьиной кислоты [20]. Смесь выдерживали 0,5 ч – 3 ч, экстракт отделяли фильтрованием через бумажный фильтр, добавляя новую порцию экстрагента до обесцвечивания массы (двух последовательных экстракций обычно было достаточно), фильтраты объединяли и доводили до метки экстрагентом. Для ВЭЖХ определения индивидуального состава антоцианового комплекса экстракт очищали методом твердофазной экстракции на концентрирующих патронах ДИАПАК C18. Патроны активировали пропусканием 5 мл ацетона, кондиционировали пропусканием 15-20 мл 0.1М водного раствора HCl. Затем на патроне концентрировали экстракт (10-20 мл). Патрон промывали 2 мл 0.1М водного раствора HCl. Реэкстракцию антоцианов с патро-

на проводили пропусканием раствора, содержащего по 20 об.% муравьиной кислоты и ацетонитрила в воде. Все операции проводили со скоростью 1-2 капли в секунду.

Условия ВЭЖХ определения: в работе использовали хроматограф Agilent 1260 Infinity Infinity II LC (США), включающий 4-х каналный насос, вакуумный дегазатор, автосамплер, термостат колонок, спектрофотометрический детектор, с записью хроматограмм при 520 нм; колонка 100×3 мм Zorbax SB-C18, 1.8 мкм; подвижная фаза: элюент А – 10 об.% раствор муравьиной кислоты, элюент В – 10 об.% раствор муравьиной кислоты, содержащий 50 об.% ацетонитрила (для ВЭЖХ).

Для получения профилей углеводов и фенольных соединений брали 10 г образца, взвешивали, заливали адекватным количеством этанола, пробу настаивали в течение 30 дней при 2...4°C. Экстракт (200 мкл) выпаривали досуха на установке Centri Vap Concentrator фирмы «Labconco» (США). Сухой остаток силилировали с помощью бис(триметилсилил)трифторацетамида. Разделение силилированных соединений проводили на капиллярной колонке HP-5MS5% фенилметилполисилоксан (30,0 м, 250,00 мкм, 0,25мкм) на хроматографе «Agilent 6850» с квадрупольным масс-селективным детектором Agilent 5975B VL MSD фирмы «AgilentTechnologi» (США). Условия проведения хроматографического исследования: скорость потока гелия через колонку 1,5 мл/мин. Программа нагревания колонки: от +70°C до +320°C, скорость нагревания 4°C в минуту. Температура детектора масс спектрометра – +250°C, температура инжектора – +300°C, объем пробы – 1 мкл. Внутренним стандартом служил раствор трикозана в пиридине (1 мкг/мкл). Программное обеспечение: UniChrom; AMDIS (Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System); «NIST/EPA/NIH08» Mass Spectral Library [21].

Статистическая обработка полученных результатов проведена с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

По сравнению с капустой белокочанной краснокочанная характеризуется более высоким содержанием питательных и биологически активных компонентов, которые определяют ее высокие диетические свойства [22].

Изучен диапазон изменчивости питательных и биологически активных соединений. Содержание сухого вещества в среднем составляло для капусты краснокочанной 9,04%, и значительно варьировало в зависимости от сорта – от 7,84 до 10,04%. Наибольшее количество сухого вещества было отмечено у сорта Mohrenkopf (вр.к.-201) – 10,04%, наименьшее у гибрида Zomiro F₁ (к-250) – 7,8%. Согласно исследованиям, содержание сухого вещества капусты может значительно изменяться в зависимости от сорта, региона и способа выращивания и послеуборочной обработки [22].

Около 80% белка из растительных источников усваивается организмом. Уровень сырого протеина в капусте краснокочанной составил в среднем 1,44% на сырое вещество и изменялся от 1,22 до 2,02%. Наименьшее количество сырого белка отмечено у гиб-

рида Zomiro F₁ (к-250) – 1,22%, больше всего белка накапливал сорт Михневская (к-175) – 2,02%.

В Северо-западном регионе России капуста краснокочанная в среднем накапливала 4,43% сахаров (3,60-5,28%), при этом благоприятные для питания моносахара составляли к сумме сахаров 84%. Всего нами было обнаружено 11 сахаров. Все исследованные образцы капусты краснокочанной содержали фруктозу. Из девяти выделенных моносахаров фруктоза являлась преобладающей и в среднем исследованные образцы накапливали 2,15% (0,71-3,86%), далее были выявлены по убывающей: глюкоза (1,45%; 0,47-2,10%), моноза (0,61%; 0,10-1,44%), галактоза (0,16%; 0,03-0,36%). В отдельных образцах было найдено незначительное количество рибозы, ксилозы, сорбозы, ликсозы и глицероальдегида: четыре образца капусты краснокочанной содержали рибозу (0,003%; 0,001-0,005%); три – содержали ксилозу (0,60%; 0,32-1,09%) и сорбозу (0,06%; 0,016-0,13%); один образец – ликсозу (0,003%) и два образца содержали глицеральдегид (0,19 мкг/100 г; 0,08-0,31 мкг/100 г).

Все образцы капусты краснокочанной содержали дисахарид сахарозы (0,69%; 0,11-1,72%), четыре

образца содержали раффинозу, причем российский гибрид Прометей F₁ (вр.к-202) в очень значительных количествах (0,27%; 0,005-1,03%).

Максимальное содержание моносахаров и соответственно суммы сахаров выявлено у гибрида капусты краснокочанной Реску F₁ (вр.к-198, Нидерланды), включая самое большое количество всех общих для капустных культур моносахаров.

Известно, что капуста краснокочанная накапливает большое количество биологически активных соединений. Содержание аскорбиновой кислоты и общей кислотности в наших исследованиях было близким у всех изученных образцов, соответственно 28,15-37,5 мг/100 г и 0,38-0,81% в пересчете на яблочную кислоту.

Большой интерес представляет пигментный комплекс капусты краснокочанной. Содержание суммы фотосинтетических пигментов хлорофиллов в кочанах значительно различалось между образцами – 0,48-50,43 мг/100 г, составляя в среднем 19,51 мг/100 г; содержание хлорофилла а составило 70%. Содержание каротиноидов также значительно варьировало: 0,95-15,58 мг/100 г, в среднем 6,88 мг/100 г. Каротиноиды включали каротины в количестве 0,2-2,59

Таблица. Компоненты антоцианового комплекса капусты краснокочанной, в % к сумме антоцианов (данные приведены на сырое вещество)
Table. Components of the anthocyanin complex of red cabbage, in% of the total anthocyanins (data are based on raw material)

Компоненты	Pretino F ₁ , вр.к-200	Ремала F ₁ , вр.к-199	Прометей F ₁ , вр.к-202	Михневская, к-175	Реску F ₁ , вр.к-198	Mohren kopf, вр.к-201	Zomiro F ₁ , к-250	Среднее ± стандартное отклонение
cy-a-3-diglu-5-glu	15,96 ^c	14,65 ^c	12,67 ^b	19,44 ^d	9,00 ^a	19,54 ^d	13,52 ^b	14,96±3,76
cy-a-3-diglu	2,46 ^b	3,06 ^b	1,00 ^a	2,11 ^a	1,86 ^a	3,43 ^c	2,78 ^b	2,38±0,81
Cya-3-(glycopyranosyl-sin)-diglu-5-glu	0,17 ^b	0,14 ^b	0,05 ^a	0,21 ^c	0,20 ^c	0,19 ^c	0,20 ^c	0,16±0,05
Cya-3-(sin)-diglu-5-glu	3,91 ^a	9,24 ^c	4,97 ^a	6,23 ^b	5,50 ^b	10,68 ^c	4,07 ^a	6,37±2,61
Cya-3-(fer)(fer)-triglu-5-glu	1,15 ^a	1,07 ^a	1,52 ^a	2,81 ^a	3,27 ^c	1,95 ^a	1,05 ^a	1,83±0,89
Cya-3-(fer)-triglu-5-glu	1,79 ^b	1,91 ^b	1,26 ^b	2,14 ^c	1,58 ^b	2,71 ^c	0,79 ^a	1,74±0,61
Cyanidin-3-(sinapoyl)-triglucoside-5-glucoside	2,36 ^c	1,40 ^a	1,73 ^b	1,82 ^b	1,49 ^a	1,60 ^a	1,89 ^b	1,75±0,32
Cya-3-(caff)(p-coum)-diglu-5-glu	0,32 ^c	0,30 ^c	0,09 ^a	0,19 ^b	0,25 ^b	0,33 ^c	0,38 ^c	0,26±0,09
Cya-3-(glycopyranosyl-fer)-diglu-5-glu	0,54 ^a	0,95 ^b	2,25 ^c	1,25 ^b	3,96 ^d	2,10 ^c	0,51 ^a	1,65±1,23
cy-a-3-(p-coum)(sin)-triglu-5-glu	1,34 ^b	2,52 ^c	1,89 ^b	1,50 ^b	3,07 ^c	4,41 ^d	0,80 ^a	2,22±1,22
Cya-3-(fer)(sin)-triglu-5-glu	0,90 ^b	0,57 ^a	0,53 ^a	0,82 ^b	0,52 ^a	0,47 ^a	1,03 ^b	0,69±0,22
Cya-3-(sin)(sin)-triglu-5-glu	0,84 ^a	1,08 ^b	0,92 ^a	0,86 ^a	1,36 ^c	1,52 ^c	0,87 ^a	1,06±0,27
cy-a-3-(p-coum)-diglu-5-glu	11,69 ^b	6,75 ^a	8,12 ^a	14,94 ^c	9,71 ^b	5,12 ^a	13,60 ^c	9,99±3,61
cy-a-3-(fer)-diglu-5-glu	16,76 ^c	9,83 ^b	8,40 ^b	8,39 ^b	5,77 ^a	5,89 ^a	11,97 ^b	9,57±3,83
cy-a-3-(sin)-diglu-5-glu	21,16 ^d	10,97 ^b	15,28 ^c	10,82 ^b	9,21 ^a	5,98 ^a	15,04 ^c	12,63±4,95
Cya-3-(glycopyranosyl-fer)-diglu-5-glu	2,36 ^b	5,77 ^c	11,24 ^d	7,28 ^c	0,90 ^a	6,26 ^c	6,56 ^c	5,77±3,37
cy-a-3-(p-coum)(sin)-diglu-5-glu	2,35 ^b	2,00 ^b	1,36 ^a	0,83 ^a	14,10 ^d	1,32 ^a	2,81 ^c	3,54±1,78
cy-a-3-(fer)(sin)-diglu-5-glu	5,78 ^a	12,53 ^c	11,43 ^c	7,00 ^a	11,19 ^b	11,46 ^c	8,97 ^b	9,76±2,56
cy-a-3-(sin)(sin)-diglu-5-glu	6,95 ^a	13,99 ^c	14,26 ^c	10,46 ^b	16,20 ^d	13,95 ^c	11,59 ^b	12,48±3,08
NI	1,21 ^b	1,28 ^b	1,03 ^a	0,91 ^a	0,87 ^a	1,10 ^b	1,56 ^c	1,14±0,24
Сумма антоцианов мг/100г	92,60 ^a	150,22 ^b	158,44 ^b	205,47 ^c	308,17 ^d	259,69 ^c	130,24 ^b	186,4±75,94
Фенольные соединения (мг*экв ГК/г)	81,05 ^a	99,50 ^a	103,24 ^a	148,99 ^b	204,45 ^c	223,99 ^c	153,66 ^b	144,98±54,42
АОА, мкг*экв АК/100г	58,71 ^a	69,93 ^a	71,25 ^a	130,39 ^b	124,58 ^b	128,67 ^b	81,15 ^a	94,95±31,52
DPPH %	33,38 ^a	39,29 ^a	39,99 ^a	73,09 ^b	70,23 ^b	72,24 ^b	48,90 ^a	53,87±17,44

a-d Значения с разным надстрочным индексом в строке различались статистически значимо при $p < 0,05$ (Tukey's HSD test).

мг/100 г (представленные в основном β -каротином – 0,10-2,14 мг/100 г), лютеины (0,19-1,82 мг/100 г), виолаксантины (0,24-3,55 мг/100 г), ксантофиллы (0,18-2,06 мг/100 г).

Насыщенный красно-фиолетовый цвет капусты отражает концентрацию антоциановых полифенолов, которые способствуют тому, что красная капуста содержит значительно больше защитных фитонутриентов, чем зеленая капуста. У капусты краснокочанной выделено более 15 антоцианов и четыре полностью охарактеризованы [23]. Они основаны на цианидин-3,5-диглюкозиде и цианидин-3-диглюкозид-5-глюкозиде, ацилированном в положении 3 феруловой, п-кумаровой и синаповой кислотами.

Среднее содержание антоцианов у образцов краснокочанной капусты в нашем исследовании составляло 20,30 мг/1 г на сухое вещество (15,58-33,49 мг/1 г). Нами был изучен компонентный состав антоцианов. Основным антоцианом у образцов капусты является цианидин. Всего найдено 25 соединений, идентифицировано 19 компонентов профиля антоцианов; из них основных (в среднем 9,57-14,96%) было шесть компонентов (табл.). Основные пики составляли примерно 80% от общего количества антоцианов. Наиболее часто встречаемые гликозиды цианидина у образцов капусты краснокочанной: *суа-3-diglu-5-glu*, *суа-3-(p-coum)-diglu-5-glu*, *суа-3-(fer)-diglu-5-glu*, *суа-3-(sin)-diglu-5-glu*, *суа-3-(fer)(sin)-diglu-5-glu*, *суа-3-(sin)(sin)-diglu-5-glu*.

Высокое суммарное содержание и интересный качественный состав антоцианов выявлены у образцов капусты краснокочанной Михневская (к-175, Россия), Mohrenkopf (вр.к-201, Турция), Реску F₁ (вр.к-198, Нидерланды), Прометей F₁ (вр.к-202, Россия).

Содержание фенольных кислот в растениях зависит не только от вида и разновидности, но и от стадии зрелости, а также от условий выращивания и хранения [24]. Суммарное содержание фенольных соединений составило в изученном наборе в среднем 15,94 мг*экв ГК/1г сухого вещества (10,32-22,31 мг*экв ГК/1г сухого вещества). Идентифицировали 11 фенольных соединений различной природы, при этом хинную кислоту содержали все образцы капусты краснокочанной, что согласуется с данными других исследователей и нашими предшествующими результатами анализа капустных культур [25]: среднее содержание хинной кислоты составило 29,62 мг/100 г (14,38-83,80 мг/100 г). Количество хинной кислоты, в три раза превосходящее среднюю популяционную, выявлено у японского гибрида Pretino F₁ (вр.к-200).

Все образцы капусты краснокочанной содержали феруловую кислоту, в среднем 2,33 мг/100 г (0,02-8,78 мг/100 г), наибольшее ее количество, в три раза превосходящее среднее значение по исследуемому набору, найдено у голландского гибрида Ремала F₁ (вр.к-199), а также синаповую кислоту, в среднем 5,72 мг/100 г (1,02-10,08 мг/100 г); максимальное количество ее выявлено у голландского гибрида Реску F₁ (вр.к-198) и российского гибрида Прометей F₁ (вр.к-202). Пять образцов капусты краснокочанной содержали кемпферол, в среднем 0,69 мг/100 г (0,06-1,72 мг/100 г); четыре образца – бензойную кислоту – 1,46 мг/100 г (0,06-2,91 мг/100 г), наибольшее количество

ее установлено у гибридов капусты краснокочанной Ремала (вр.к-199, Нидерланды) и Прометей (вр.к-202, Россия). Также четыре образца краснокочанной капусты содержали метиларбутин, в среднем 0,68 мг/100 г (0,28-0,94 мг/100 г). У трех образцов обнаружили гидроксикоричную кислоту, в среднем 2,39 мг/100 г (0,82-3,72 мг/100 г). Три образца капусты краснокочанной содержали кофейную кислоту, в среднем 3,65 мг/100 г (0,88-6,40 мг/100 г), два образца – кверцетин: 2,10-6,95 мг/100 г. Турецкий сорт Mohrenkopf (вр.к-201) содержал также неохлорогеновую (2,57 мг/100 г) и криптохлорогеновую кислоты (0,96 мг/100 г).

Установлено, что российский гибрид Прометей F₁ (вр.к-202) выделялся максимальным содержанием шести фенольных соединений: синаповой, бензойной, гидроксикоричной, кофейной кислот, кемпферола, кверцетина. Гибриды Ремала F₁ (вр.к-199) и Реску F₁ (вр.к-198) могут быть источниками отдельных фенольных соединений.

Важным показателем ценности образца для питания является антиоксидантная активность. Антиоксидантную активность исследуемых сортов капусты краснокочанной оценивали методом с использованием DPPH. Уровень окисления радикала DPPH• составил в среднем для изученных образцов 94,96 мг*экв АК/100 г сырого веса (58,71-130,39 мг*экв АК/100 г). Скорость окисления радикала DPPH• в среднем была 53,87% (33,38-73,09%) и в значительной степени зависела от сорта. Гибрид Pretino F₁ продемонстрировал самую низкую антиоксидантную активность (в среднем на 33% снижается скорость окисления радикалов DPPH). В трех сортах краснокочанной капусты антиоксидантная активность наблюдалась по меньшей мере в два раза выше (более 70%): Михневская (к-175), Реску F₁ (вр.к-198), Mohrenkopf (вр.к-201).

Выводы

Найдены источники ценных биохимических признаков: высоким содержанием сухого вещества (более 10,0%) выделялся сорт капусты краснокочанной Mohrenkopf; сахаров (более 5,8%) – гибрид Zomiro F₁ (к-250); антоцианов (более 33,5 мг/г) – образец Реску F₁ (вр.к-198, компании Сингента); фенольных соединений (более 22,2 мг*экв ГК/г) – два образца Реску F₁ (вр.к-198, Сингента) и Mohrenkopf (вр.к-201, Турция); высокой антиоксидантной активностью (более 13,3 мг*экв АК/г) – образцы Михневская (к-175, Россия, МОВИР) и Реску F₁ (вр.к-198, ф. Сингента); DPPH (более 70%) – образцы Михневская (к-175, Россия, МОВИР), Реску F₁ (вр.к-198, Сингента) и Mohrenkopf (вр.к-201, Турция).

Таким образом, установлено, что российская селекция в целом находится на высоком уровне; интерес представляют также местные образцы и староместные сорта мировой селекции; источники комплекса ценных биохимических признаков для селекции на качество для здорового питания – современный российский гибрид Прометей (вр.к-202, фирмы Седек), широко распространенный российский сорт Михневская (к-175), турецкий сорт Mohrenkopf (вр.к-201), современный голландский гибрид Реску F₁ (вр.к-198, ф. Сингента).

Расширение знаний о пользе капусты краснокочанной имеет важное значение для людей, которые хотят найти доступный способ улучшить жизнь и здоровье.

• Литература

1. Асякина Л.К., Степанова А.А., Тамарзина Т.В., Лосева А.И., Величкович Н.С., 2022 Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2022;(3):29–41. DOI 10.36718/2500-1825-2022-3-29-41. EDN EMRFLB.
2. Ticha M.B., Haddar W., Meksi N., Guesmi A., Mhenni M.F. Improving dyeability of modified cotton fabrics by the natural aqueous extract from red cabbage using ultrasonic energy. *Carbohydrate polymers*. 2016;(154):287–295. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.06.056
3. Draghici G.A., Lupu M.A., Boroza A.-B., Nica D., Alda S., Alda L., Gogoasa I., Gergen I., Bordean D.-M. Red cabbage, millennium's functional food. *JOURNAL of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2013;17(4):52–55.
4. Drozdowska M., Leszczyńska T., Koronowicz A., Piasna-Słupecka E., Domagała D., Kusznierevicz B. Young shoots of red cabbage are a better source of selected nutrients and glucosinolates in comparison to the vegetable at full maturity. *European Food Research and Technology*. 2020;246(12):2505–2515. DOI: 10.1007/s00217-020-03593-x
5. Sankhari J.M., Thounaojam M.C., Jadeja R.N., Devkar R.V., Ramachandran A.V. Anthocyanin-rich red cabbage (*Brassica oleracea* L.) extract attenuates cardiac and hepatic oxidative stress in rats fed an atherogenic diet. *J. Sci. Food Agric.* 2012;92(8):1688–1693. DOI: 10.1002/jsfa.5532
6. Khurana S., Venkataraman K., Hollingsworth A., Piche M., Tai T.C. Polyphenols: Benefits to the Cardiovascular System in Health and in Aging. *Nutrients*. 2013;5(10):3779–3827. <http://www.mdpi.com/2072-6643/5/10/3779>
7. Ghareaghajlou N., Hallaj-Nezhadi S., Ghasempour Z. Red cabbage anthocyanins: Stability, extraction, biological activities and applications in food systems. *Food Chemistry*. 2021;(365):130482. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130482
8. Bridle P., C.F. Timberlake. Anthocyanins as natural food colours – selected aspects. *Food Chemistry*. 1997;58(1–2):103–109.
9. Rossetto M., Vanzani P., Mattivi F., Lunelli M., Scarpa M., Rigo A. Synergistic antioxidant effect of catechin and malvidin 3-glucoside on free radical-initiated peroxidation of linoleic acid in micelles. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2002;408(2):239–245. DOI: 10.1016/S0003-9861(02)00561-1
10. Saint-Cricq de Gaulejac N., Glories Y., Vivas N. Free radical scavenging effect of anthocyanins in red wines. *Food Research International*. 1999;(32):327–333.
11. Буко В.У., Мороз В.Л., Шляхтун А.Г., Самойлик А.А., Лукивская О.Я., Нарута Е.Е., Белановская Е.Б., Сидорович Е.А., Кузьмичка И.А., Жук О.Н. Иммуномодулирующие эффекты антоцианидинов из краснокочанной капусты при экспериментальном сахарном диабете – Лекарственные растения: биоразнообразие, технологии, применение: сборник научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции. Гродно: ГГАУ, 2014. С. 96–99.
12. Нарута Е.Е., Белоновская Е.Б., Кирко С.Н., Лукивская О.Я., Кузьмичка И.А., Жук О.Н., Буко В.У. Изучение антидиабетических свойств флавоноидов из капусты краснокочанной – Лекарственные растения: биоразнообразие, технологии, применение: сборник научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции. Гродно: ГГАУ, 2014. С. 167–170.
13. Hosseini S., Gharachorloo M., Ghiassi-Tarzi B., Ghavami M. Evaluation of the organic acids ability for extraction of anthocyanins and phenolic compounds from different sources and their degradation kinetics during cold storage. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2016;66(4):261–270. DOI:10.1515/pjns-2015-0057
14. Podsekdek A., Majewska I., Kucharska A.Z. Inhibitory potential of red cabbage against digestive enzymes linked to obesity and type 2 diabetes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017;65(33):7192–7199. DOI:10.1021/acs.jafc.7b02499
15. Farooq S., Shah M.A., Siddiqui M.W., Dar B.N., Mir S.A., Ali A. Recent trends in extraction techniques of anthocyanins from plant materials. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020;14(6):3508–3519. DOI:10.1007/s11694-020-00598-8
16. Freitas P.A.V., Silva R.R.A., de Oliveira T.V., Soares R.R.A., Junior N.S., Moraes A.R.F., Pires A.C.d.S., Soares N.F.F. Development and characterization of intelligent cellulose acetate-based films using red cabbage extract for visual detection of volatile bases. *LWT*. 2020;132(1):109780. DOI:10.1016/j.lwt.2020.109780
17. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987.
18. Wu X., Beecher G.r., Holden J.M., Haytowitz D.B., Gebhardt S.E., Prior R.L. Concentration of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *J. Agric. Chem.* 2006;54(11):4069–4075. DOI: 10.1021/jf060300I
19. Singleton V.L., Rossi J.A. Сумма фенольных соединений по методу Фолина и Чокальтеу в модификации Синглтона и Росси. *Am.J. Enol. Vitic.* 1965;(16):144–158.
20. Карбовская Р.В., Борис И.И. Идентификация антоцианов при помощи ВЭЖХ, как метод подтверждения аутентичности фруктово-ягодного сырья и готовой продукции. Журнал Хроматографического товарищества. 2008;VIII(3-4):13–33.
21. Смоликова Г.Н., Шаварда А.Л., Алексейчук И.В., Чанцева В.В., Медведев С.С. Метаболомный подход к оценке сортовой специфичности семян *Brassica napus* L. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(1):121–127. EDN TWQXUJ.
22. Tendaj M.K., Sawicki B., Mysiak. The content of some chemical compounds in red cabbage (*Brassica oleracea* L.var. *capitata f. rubra*) after harvest and long-term storage. *Electronic journal of polish agricultural universities*. 2013;16(2).
23. Idaka E., Yamakita H., Ogawa T., Kondo T., Yamamoto M., Goto T. Structure of Three Diacylated Anthocyanins Isolated from Red Cabbage, *Brassica oleracea*. *Chemistry Letters*. 1987;16(6):1213–1216. <https://doi.org/10.1246/cl.1987.1213>
24. Mattila P., Hellström J. Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *J. Food Compos. Anal.* 2007;(20):152–160.
25. Solovyeva A.E., Shelenga T.V., Konarev A.K., Kurina A.B., Fateev D.A., Kornukhin D.L., Artemyeva A.M. Nutrient and bioactive substances in VIR Russian brassicas collections. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2021;45(5):541–556.

• References (in Russ)

1. Asyakina L.K., Stepanova A.A., Tamarina T.V., Loseva A.I., Velichkovich N.S. Functional food russian market for a healthy lifestyle. *Socio-economic and Humanitarian Journal*. 2022;(3):29–41. 2022;(3):29–41. DOI 10.36718/2500-1825-2022-3-29-41. EDN EMRFLB. (in Russ.)
11. Buko V.U., Moroz V.L., Shlyakhtun A.G., Samoylik A.A., Lukivskaya O.Ya., Naruta E.E., Belanovskaya E.B., Sidorovich E.A., Kuzmitskaya I.A., Zhuk O.N. Immunomodulatory effects of anthocyanidins from red cabbage in experimental diabetes mellitus – Medicinal plants: biodiversity, technologies, application: collection of scientific articles based on the materials of the I International Scientific and Practical Conference. Grodno: GGAU, 2014. P. 96–99. (in Russ.)
12. Naruta E.E., Belanovskaya E.B., Kirko S.N., Lukivskaya O.Ya., Kuzmitskaya I.A., Zhuk O.N., Buko V.U. Study of antidiabetic properties of flavonoids from red cabbage – Medicinal plants: biodiversity, technologies, application: collection of scientific articles based on the materials of the I International Scientific and Practical Conference. Grodno: GGAU, 2014. P. 167–170. (in Russ)
17. Ermakov A.I. Methods of biochemical research of plants. L., 1987. Ermakov A.I. Biochemical research methods of plants. Leningrad, 1987. (in Russ)
20. Karbovskaya R. V., Boris I. I. Identification of anthocyanins using HPLC as a method of confirming the authenticity of fruit and berry raw materials and finished products // Journal of Chromatographic Companionship. 2008;VIII(3-4):13–33. (in Russ)
21. Smolikova G.N., Shavarda A.L., Alekseychuk I.V., Chantseva V.V., Medvedev S.S. The metabolomic approach to the assessment of cultivar specificity of *Brassica napus* L. seeds. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektii– Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):121–127. EDN TWQXUJ. (in Russ)

Об авторах:

Анна Майевна Артемьева – кандидат с.-х. наук, и. о. заведующего отделом генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-6551-5203>, ResearcherID: I-5319-2018; ScopusAuthorID: 14014607500, автор для переписки, akme11@yandex.ru

Алла Евгеньевна Соловьева – кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела биохимии и молекулярной биологии, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>, ResearcherID is: B-8742-2017, SPIN-код: 1754-4144, alsol64@yandex.ru

About the Authors:

Anna M. Artemyeva – Cand. Sci. (Agriculture), Acting Head of the Department of Genetic Resources of Vegetable and Melon Crops, Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-6551-5203>, ResearcherID: I-5319-2018; ScopusAuthorID: 14014607500, Corresponding Author, akme11@yandex.ru

Alla E. Solovyeva – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Department of Biochemistry and Molecular Biology, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>, ResearcherID is: B-8742-2017, SPIN code: 1754-4144, alsol64@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-90-94>
УДК 635.624:664.292 (470.2)

А.Е. Соловьева, Т.М. Пискунова*

ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44

*Автор для переписки: tmpiskunova@yandex.ru

Благодарности. Исследование выполнено в рамках проекта «Национальная сетевая коллекция генетических ресурсов растений для эффективного научно-технологического развития РФ в сфере генетических технологий» по задаче «Раскрытие закономерностей изменчивости и генетического контроля содержания метаболитов овощных и бахчевых культур для формирования системы здорового питания». Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по договору № 075-15-2021-1050 от 28.09.2021.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в анализе материалов, написании текста статьи и формировании выводов.

Для цитирования: Соловьева А.Е., Пискунова Т.М. Пектиновые вещества в плодах *Cucurbita maxima* Duch. в условиях Северо-Запада России. *Овощи России*. 2023;(6):90-94. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-90-94>

Поступила в редакцию: 23.11.2023

Принята к печати: 28.11.2023

Опубликована: 04.12.2023

Alla E. Solovyeva, Tatiana M. Piskunova*

Federal State Budgetary Scientific Organization
Federal Research Centre All-Russian Institute
Of Plant Genetic Resources named
on N.I. Vavilov (VIR)
Bolshaya Morskaya str.,
42-44, Saint-Petersburg, 190000, Russia

*Corresponding Author: tmpiskunova@yandex.ru

Acknowledgments. The study was carried out within the framework of the project "National Network Collection of Plant Genetic Resources for Effective Scientific and Technological Development of the Russian Federation in the Field of Genetic Technologies" for the task "Disclosure of patterns of variability and genetic control of the content of metabolites of vegetable and melon crops for the formation of a healthy nutrition system." The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under contract No. 075-15-2021-1050 dated September 28, 2021.

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, writing the text of the article and forming conclusions.

For citation: Solovyeva A.E., Piskunova T.M. Pectin substances in *Cucurbita maxima* fruits in the conditions of the North-West of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):90-94. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-90-94>

Received: 23.11.2023

Accepted for publication: 28.11.2023

Published: 04.12.2023

Пектиновые вещества в плодах *Cucurbita maxima* Duch. в условиях Северо-Запада России



РЕЗЮМЕ

В настоящее время пектины находят широкое применение в пищевой, фармацевтической промышленности, медицине и других отраслях благодаря способности образовывать гели различной прочности, проявлять лечебные и профилактические свойства. Тыква *Cucurbita maxima* рассматривается как источник натурального и недорогого пектина, а также – как функциональный продукт питания для применения в пищевых и фармацевтических препаратах. Целью исследования было выявление особенностей накопления пектиновых веществ у наиболее хозяйственно значимого вида тыквы *C. maxima* из коллекции ВИР. Установлено, что изученные сорта существенно различаются между собой по количеству пектиновых веществ. Содержание пектинов в условиях Северо-Запада России варьировало в диапазоне от 0,59 до 4,24% (на абсолютно сухое вещество). Содержание растворимых пектинов находилось в пределах – 0,24-1,36%. Уровень накопления протопектина в зависимости от генотипа и условий вегетационного периода составил 0,35-3,37%. Выделены источники высокого содержания растворимого пектина и протопектина в плодах тыквы с целью дальнейшего их использования в селекции, пищевой и фармацевтической промышленности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Cucurbita maxima; пектиновые вещества; селекция сортов; функциональное питание

Pectin substances in *Cucurbita maxima* fruits in the conditions of the North-West of Russia

ABSTRACT

Currently, pectins are widely used in the food, pharmaceutical industry, medicine and other industries due to the ability to form gels of various strengths, to show therapeutic and preventive properties. *Cucurbita maxima* pumpkin is considered as a source of natural and inexpensive pectin, as well as a functional food product for use in food and pharmaceutical preparations. The aim of the study was to identify the features of the accumulation of pectin substances in the most economically significant species of pumpkin *C. maxima* from the VIR collection. It was found that the studied varieties differ significantly in the amount of pectin substances. The content of pectins in the conditions of the North-West of Russia varied in the range from 0.59 to 4.24% (for absolutely dry matter). The content of soluble pectins was in the range of 0.24-1.36%. The level of protopectin accumulation, depending on the genotype and conditions of the growing season, was 0.35-3.37%. Sources of high content of soluble pectin and protopectin in pumpkin fruits have been identified for their further use in breeding, food and pharmaceutical industries.

KEYWORDS:

Cucurbita maxima; pectin substances; breeding of varieties; functional nutrition

Введение

Семейство *Cucurbitaceae* включает в себя группу сельскохозяйственных культур, таких как тыква, огурец и дыня, которые применяются в медицине. Растения этого семейства обладают многими целебными и питательными свойствами, которые определяют комплекс содержащихся в их плодах биологически и фармакологически активных веществ. Разнообразных по своему химическому строению. Тыква – это важный продукт питания, который ценен не только благодаря содержанию множества функциональных элементов, но и имеет экономическую значимость как недорогой источник пектина [1-5].

Пектиновые вещества – природные гетерополисахариды, представляющие собой сложную структуру молекул, присутствующих в клеточных стенках и межклеточных образованиях высших растений, наряду с целлюлозой и лигнином [6, 7, 8]. Полисахарид включает полимеры, содержащие галактуроновую кислоту, рамнозу, арабинозу и галактозу, и другие различные моносахариды. Признано, что основными полимерными компонентами являются гомогалактуронан, рамногалактуронан I и рамногалактуронан II [9, 10]. Они обладают широким спектром функциональных свойств, в сочетании с водой и некоторыми другими веществами проявляют себя в качестве загустителя, студнеобразователя, стабилизатора, эмульгатора, агента, связывающего катионы металлов. Разработка продуктов питания, в том числе лечебно-профилактического назначения, с добавками пектина и пектинсодержащих продуктов – важный фактор снижения риска ряда заболеваний, таких как ожирение, сахарный диабет, артериальная гипертония, гастрит, колит [11, 12]. Пектины проявляют также антиоксидантные свойства, что обусловлено наличием в их составе остатков гидроксibenзойных и гидроксикоричных кислот, образующих сложноэфирные связи с остатками галактуроновой кислоты. Помимо собственного антиоксидантного эффекта, одной из функций пектинов является трансфер в желудочно-кишечном тракте таких пищевых антиоксидантов как витамин С, каротиноиды, фенольные соединения и их защита от деградации в кислой среде желудка [7].

Результаты исследований аналитических характеристик выделенного из тыквы пектина казахскими учеными показали, что степень этерификации в них составила 37,94%, поэтому сорта тыквы следует относить к низкоэтерифицированным (Е менее 50%). Однако выделенный пектин имеет высокую комплексообразующую способность – 370 мг Pb²⁺/г, что характеризует его высокие детоксикационные свойства. Эту способность следует учитывать при разработке пектинсодержащих продуктов функционального назначения [13].

На состав, строение и физиологические свойства пектина влияют методы его извлечения и эколого-географические условия выращивания. Содержащиеся в растениях пектиновые вещества формируют определённые аспекты осуществления в них жизненных процессов. Например, устойчивость растительных организмов к засухе или к длительному содержанию в определённых условиях [14, 15].

В настоящее время на территории Российской Федерации пектин не производится, хотя годовая

потребность в нём составляет от 3 до 8 тыс. тонн [16,17]. Основным источником получения пищевого пектина и пектинсодержащего концентрата является растительное сырьё. Важное место в увеличении выпуска пектиносодержащих пищевых изделий функционального назначения в России принадлежит, в основном, яблочному пектину [18]. Эффективным сырьём для производства пектина является тыква – культура неприхотливая в выращивании и дающая стабильные и высокие урожаи. Она с успехом выращивается в самых различных климатических условиях, начиная от зоны таёжных лесов и заканчивая сухой степью. В отдельные годы тыква обеспечивает урожай до 1000 ц плодов с гектара при совсем небольших затратах.

Задачей нашего исследования было изучение общего содержания пектиновых веществ в плодах тыквы *C. maxima* Duch., выращенных в условиях Северо-Западного региона России, который характеризуется коротким вегетационным периодом и невысокой суммой активных температур, с целью предварительного отбора материала для селекционных программ по расширению линейки биофункциональных продуктов.

Цель исследования – выявить особенности накопления пектиновых веществ у образцов наиболее хозяйственно значимого вида тыквы *C. maxima* из коллекции ВИР. Выделить образцы с высоким содержанием пектинов, которые могут быть использованы как исходный материал при создании новых сортов тыквы для расширения ассортимента функциональных продуктов питания, пригодных к выращиванию в зонах с неблагоприятными климатическими условиями.

Материалы и методы

Исследования проводили в 2020–2022 гг. в лаборатории биохимии ВИР. Объект исследований – 56 образцов *C. maxima* различного географического происхождения из мировой коллекции ВИР (Табл. 1).

Таблица 1. Список образцов *C. maxima* из коллекции ВИР, использованных в качестве исследовательского материала
Table 1. List of *C. maxima* accessions from the VIR collection used as research material

Происхождение	Число образцов
Россия	9
Китай	21
Франция	7
Таджикистан	6
Нидерланды	3
Кыргызстан	2
Пакистан	2
Аргентина	2
Канада	2
Узбекистан	1
Зимбабве	1

Образцы для изучения выращивали на полях научно-производственной базы «Павловские и Пушкинские лаборатории ВИР» (г. Санкт-Петербург, Пушкин). Почвы опытного поля дерново-слабоподзолистые, супесчаные по механическому составу, с нейтральной кислотностью (рН = 7,1–7,6). Мощность гумусного горизонта 23–47 см, содержание гумуса 2,1–3,0%. Обеспеченность подвижными формами калия средняя, фосфора – высокая.

Климат в этом агроклиматическом районе характеризуется умеренно-теплым, в отдельные годы прохладным летом. Самый теплый месяц года – июль, со средней многолетней температурой воздуха 16,5–17,7°C. Сумма положительных температур 2100–2300°C. Период с температурой выше 10°C длится 105–115 дней. Сумма осадков за вегетационный период 550–600 мм в год.

Посев образцов, агротехнические приемы по уходу за растениями, изучение, сбор и подготовку растительного материала для биохимических исследований осуществляли по методикам, разработанным в ВИР [19]. Растения выращивали на двурядных делянках по 5 растений в ряду, всего 10 растений на делянке. Схема посева 2×1,4 м. Посев проводили 23–25 мая. Появление всходов было отмечено на 6–8 день. Уборка плодов проводилась на стадии полной спелости.

Методы исследований: биохимический анализ проводили в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР. Образцы были обработаны и проанализированы, как описано ранее [20]: Содержание сухого вещества муки определяли методом, основанном на взвешивании части измельченной средней пробы до и после высушивания при температуре 100–105°C, до постоянной массы. Сахара определяли по Бертрану. Метод основан на способности редуцирующих сахаров, обладающих свободной карбонильной группой, восстанавливать в щелочном растворе окисную медь в закисную. Общую (титруемую) кислотность – титрованием экстракта 0,1 н щелочью, с пересчетом на яблочную кислоту. Аскорбиновую кислоту – методом прямого извлечения из растений 1% соляной кислотой, с последующим титрованием с помощью 2,6-дихлориндофинола (реактив Тильманса). Каротиноиды были выделены с помощью 100% ацетона, и их абсорбция была измерена на спектрофотометре Ultrospec II при длине волны 440 нм. Определение пектиновых веществ проводили карбозольным методом, который основан на получении специфического фиолетово-розового окрашивания урановых кислот с карбазолом в сернокислой среде.

Статистическая обработка полученных результатов проведена с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Мякоть плодов *C. maxima* содержит 70–96% воды и 4–30% сухого вещества, в состав которого входят (в % на сырое вещество): 0,4–13 сахаров, 0,05–2,76 общей кислотности, 4,0–66,8 мг на 100 г аскорбиновой кислоты, 0,2–17 мг на 100 г каротина, 0,05–0,97 пектиновых веществ [21].

В наших исследованиях по химическому составу разные сорта тыквы *C. maxima* сильно различались между собой. Плоды тыквы характеризовались наибольшей

Таблица 2. Содержание основных биохимических веществ в плодах *C. maxima* (данные приведены на сырое вещество)
Table 2. Content of the main biochemical substances in *C. maxima* fruits (data are given for raw matter)

Показатели	среднее	min – max	CV, %
Масса плода, кг	4,74	0,86–12,40	67,1
Сухое вещество, %	15,21	4,20–29,96	42,0
Моносахариды, %	4,20	1,75–6,35	24,2
Дисахариды, %	3,31	0,00–10,20	74,3
Сумма сахаров, %	7,51	2,62–13,21	31,7
Титруемая кислотность, в % на яблочную кислоту	0,13	0,06–0,44	46,1
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	17,32	3,54–36,00	50,5
Каротиноиды, мг/100 г	12,59	2,01–31,13	64,7
Сумма пектинов, %	0,38	0,05–0,94	55,3

массовой долей сухого вещества (15,21±6,39%). Основная часть сухого вещества приходится на содержание сахаров (сахарозы и редуцирующих сахаров – глюкозы и фруктозы), причем процентное соотношение их различно для каждого сорта. Большая часть сортов тыквы относятся к группе источников высокопитательных углеводов. Из таблицы 2 видно, что в 1 кг тыквы накапливается от 26 до 132 г легкоферментируемых сахаров при существенных колебаниях в зависимости от сорта. Одновременно тыква является хорошим источником каротиноидов и витамина С, а также органических кислот.

В нашем исследовании тыква рассматривается как сырьевой источник пектиновых веществ (технологически важный показатель качества), которые в тыкве представлены нерастворимым протопектином (клеточные стенки) и растворимым в воде пектином. Диапазон изменчивости пектинов (табл.3) варьировал от 0,59 до 4,24% на а.с.в. (на абсолютно сухое вещество) и в среднем составлял 2,38%.

Следует отметить, что практически у всех исследуемых образцов количество протопектина преобладает над содержанием растворимого пектина, что свидетельствует о твердости плодовой мякоти и хороших технологических качествах. Доля протопектина от

Таблица 3. Содержание пектиновых веществ в плодах *C. maxima* (в % на а.с.в.)
Table 3. Content of pectin substances in *C. maxima* fruits (in % per absolutely dry matter)

Пектиновые вещества	среднее	min – max	CV, %
Водорастворимые пектины	0,89	0,24–1,36	24,7
Протопектины	1,49	0,35–3,37	49,7
Сумма пектинов	2,38	0,59–4,24	32,5

суммы пектиновых веществ у изучаемых сортов составляет в среднем 60%, с размахом от 38 до 85%. Эти данные свидетельствуют о том, что плоды тыквы *C. maxima* можно использовать для промышленной переработки с целью получения пектина и пектинопродуктов.

Водорастворимые пектины накапливались в плодах от 0,24 до 1,36% на а.с.в., в среднем 0,89%. Максимальный уровень содержания наблюдался в пяти сортах (более 1,2%): Испанка из Узбекистана (к-3727), Сие-хуа-ме из Китая (к-5291), Nelson F1 из Нидерландов (к-5573), «2013-1» из Китая (к-5288) и Местная из Таджикистана (к-5497).

Содержание протопектина изменялось от 0,35 до 3,37% и в среднем составляло 1,49%. Высокое содержание этого показателя было отмечено в трех образцах тыквы (более 3%): Куриджиман из Франции (к-5569), Queensland Blue из Зимбабве (к-5585) и Крошечка-Хаврошечка из России (к-5642).

По общему содержанию пектиновых веществ на момент полной зрелости из исследованных сортов лидирующее положение занимают те же три образца тыквы, что и по содержанию протопектинов (более 3,8%): Куриджиман из Франции (к-5569), Queensland Blue из Зимбабве (к-5585) и Крошечка-Хаврошечка из России (к-5642). Они превзошли по этому показателю стандартный сорт Волжская серая 92 на 9-11%. По урожайности эти образцы превышали стандартный сорт на 27-59%. Выход пектиновых веществ с 1 м² (в расчете на сырое вещество) у них составил: Куриджиман – 0,04 кг, Queensland Blue – 0,09 кг, Крошечка-Хаврошечка – 0,13 кг, Волжская серая 92 – 0,025 кг.

Соотношение содержания сахаров, органических кислот и пектиновых веществ влияет на студнеобразующую способность пектиновых веществ. Для анализа данного показателя определили сумму сахаров, кислотность исследуемых плодов (в пересчете на яблочную кислоту) и установили соотношение указанных веществ в свежих плодах тыквы (рис. 1). При обработке полученных результатов содержания массовой доли пектина, кислот (в пересчете на яблочную кислоту) и общего сахара, было выявлено следующее соотношение пектины : органические кислоты : сахара (при расчете на 1 долю пектина): 1:0,3:19,8. Данное соотношение в выделенных сортах представлено в таблице 4.

От показателей качества, представленных на рисунке 1, зависит способность нативных пектиновых

Таблица 4. Соотношение пектины : органические кислоты : сахара в выделенных образцах
Table 4. Ratio of pectins : organic acids : sugars in isolated samples

Сорт	Соотношение
Испанка	1 : 0,15 : 15,08
Сие-хуа-ме	1 : 0,10 : 15,92
Nelson F ₁	1 : 0,45 : 23,57
«2013-1»	1 : 0,37 : 19,93
Местная	1 : 0,41 : 29,66
Куриджиман	1 : 0,31 : 8,91
Queensland Blue	1 : 0,18 : 7,67
Крошечка-Хаврошечка	1 : 0,15 : 10,52

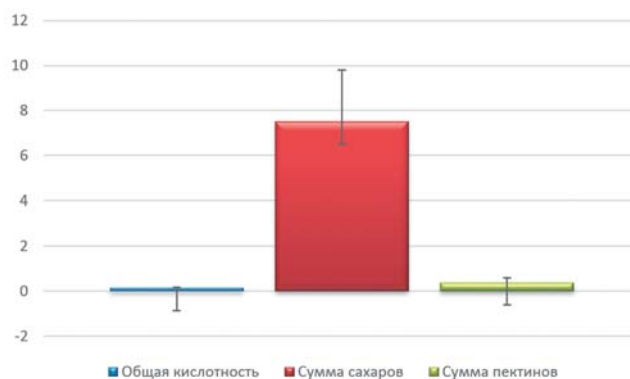


Рис. 1. Содержание биохимических веществ в плодах тыквы (в среднем, в % на сырое вещество).
Fig. 1. The content of biochemical substances in pumpkin fruits (on average, in % per raw matter).

веществ, содержащихся в свежих плодах тыквы, к студнеобразованию. Следует отметить, что слабое студнеобразование в тыкве связано в основном с низким содержанием органических кислот.

Результаты нашего исследования показали, что на содержание пектинов (рис.2) оказывают существенное влияние экологические условия года выращивания.

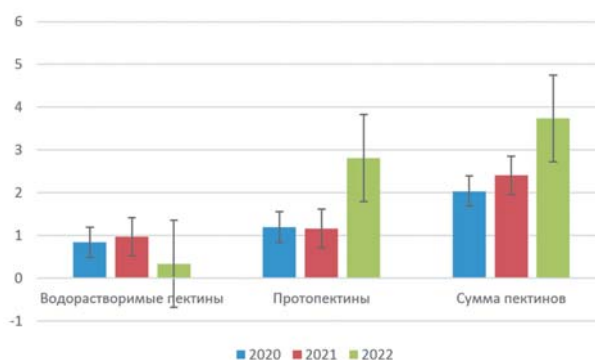


Рис.2. Содержание пектиновых веществ в плодах *C. maxima*, в зависимости от года выращивания (в среднем, в % на а.с.в.)
Fig.2. The content of pectin substances in the fruits of *C. maxima*, depending on the year of cultivation (on average, in % per dry matter)

Оценка экспериментальных данных по взаимосвязи показателя «пектиновые вещества» с хозяйственно-ценными признаками представлена в табл. 5. Выявлена невысокая отрицательная корреляция (от -0,28 до -0,37) между пектиновыми веществами и массой плода тыквы; высокая положительная корреляция (от +0,69 до +0,88) между пектиновыми веществами и массой сухого вещества; средняя положительная корреляция (от +0,28 до +0,68) между пектиновыми веществами и суммарным содержанием сахаров.

Таблица 5. Взаимосвязь пектиновых веществ с хозяйственно-ценными признаками
Table 5. The relationship of pectin substances with economically valuable traits

	Водорастворимые пектины	Протопектины	Сумма пектинов
Масса плодов	-0,28	-0,35	-0,37
Сухое вещество	0,88	0,69	0,83
Сумма сахаров	0,68	0,28	0,44

Выводы

Проведенные исследования показали, что в условиях Северо-Западного региона России у образцов тыквы *C. maxima* выявлена высокая сортовая изменчивость (от 0,59 до 4,24% на а.с.в.) по содержанию пектиновых веществ. Содержание растворимых пектинов находилось в пределах – 0,24–1,36%. Уровень накопления протопектина в зависимости от генотипа и условий вегетационного периода составил 0,35–3,37%. Изучение показало, что количественные и качественные показатели пектина главным обра-

зом зависят от генотипа. Отмечена изменчивость этого признака под влиянием погодных условий. Выделены сорта с высоким содержанием пектиновых веществ в плодах, из них наибольшую ценность представляют сортообразцы, накапливающие большое количество пектинов, обладающие стабильностью этого признака по годам и высокой урожайностью. Этим характеристикам отвечают 3 сорта: Курджиман из Франции (к-5569), Queensland Blue из Зимбабве (к-5585) и Крошечка-Хаврошечка из России (к-5642).

Литература

1. Zainudin B.H., Wong T.W., Hamdan H. Design of low molecular weight pectin and its nanoparticles through combination treatment of pectin by microwave and inorganic salts. *Polymer Degradation and Stability*. 2018;(147):35–40. DOI:10.1016/j.polymerdegradstab.2017.11.011
2. Krivorotova T., Staneviciene R., Luksa J., et al. Preparation and characterization of nisin-loaded pectin-inulin particles as antimicrobials. *LWT-Food Science and Technology*. 2016;72:518–24. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.05.022
3. Adams G.G., Imran S., Wang S., et al. Extraction, isolation, and characterization of oil bodies from pumpkin seeds for therapeutic use. *Food Chemistry*. 2012 Oct 15;134(4):1919–25. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.03.114.
4. Murkovic M., Müllerder U., Neunteu H. Carotenoid content in different varieties of pumpkins. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2002;15(6):633–638. DOI:10.1006/jfca.2002.1052.
5. Murugesan R., Orsat V. Spray drying for the production of nutraceutical ingredients -A review. *Food and Bioprocess Technology*. 2012;5(1):3–14. DOI:10.1007/s11947-011-0638-z.
6. Бутова С.Н., Вольнова Е.Р., Зуева К.В. Характеристика пектинов из нетрадиционного сырья. *Молодой ученый*. 2020;22(312):424–426. EDN YONHJS.
7. Созаева Д.Р., Джабоева А.С., Шаова Л.Г., Цароева О.К. Содержание пектинов в различных видах плодовых культур и их физикохимические свойства. *Вестник ВГУИТ*. 2016;(2):170–174. doi:10.20914/2310-1202-2016-2-170-174
8. Willats W.G.T., Knox J.P., Mikkelsen D.J. Pectin: New insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science and Technology*. 2006;17(3):97–104. DOI:10.1016/j.tifs.2005.10.008.
9. Vincken J.P., Schols H.A., Oomen R.J.F.J., et al. Pectin-the hairy thing. In: *Advances in Pectin and Pectinase Research*. Kluwer Academic Publishers. Boston Dordrecht. 2003; pp. 47–59.
10. Waldron K.W., Parker M.L., Smith A.C. Plant cell walls and food quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2003 Oct;2(4):128–146. doi: 10.1111/j.1541-4337.2003.tb00019.x.
11. Guillon F., Champ M. Structural and physical properties of dietary fibers and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*. 2000;33(3-4):233–45DOI:10.1016/S0963-9969(00)00038-7
12. Voragen A.G.J., Pilnik W., Thibault J.F., et al. Pectins. In: AM Stephen (ed) *Food polysaccharides and their applications*. New York: Marcel Dekker. 1995; pp. 287–69.
13. Кизатова М.Ж., Азимова С.Т., Омаркулова Н.С., Адилханова Л.С., Каумбаева Э.Т. Обоснование функциональности тыквенного пектина и пектиносодержащих продуктов питания. *Вестник Казахского национального медицинского университета*. 2018;(4)%188–191. EDN YWQJWL.
14. Мачнева И.В., Бондаренко А.И. Оценка содержания уровня пектина в некоторых овощах и фруктах. *Международный студенческий научный вестник*. 2016;(2):212–218. EDN WZFLJR.
15. Поткина Г.Г., Ляшевская Н.В., Кузнецова О.В. Пектиновые вещества плодово-ягодных культур. Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных территорий: настоящее, прошлое, будущее: материалы второй межрегиональной научно-практической конференции. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ. 2016. С. 123.
16. Иванов В.И., Комаров В.И., Мануйлова Т.А. Состояние использования вторичных сырьевых ресурсов в пищевой промышленности.

Вестник РАСХН. 1993;(4):61–63.

17. Сокол Н.В., Хатко З. Н., Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Состояние рынка пектина в России и за рубежом. *Новые технологии*. 2008;(6):30–35. EDN JWCCDV.
18. Павел А.Р. Пектиновые вещества в плодах яблони. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020;(7):59–65. EDN YBTRCP.
19. Пискунова Т.М. Изучение и поддержание в живом виде мировой коллекции тыквы, кабачка, патиссона, крукнека (методические указания). СПб: ВИР. 2020. 48 с.
20. Ермаков А.И., Арасимович В.В. и др.; Методы биохимических исследований растений. Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд., 1987. 430 с.
21. Пискунова Т.М., Соловьева А.Е., Мутьева З.Ф. Тыква: Биохимический состав образцов тыквы коллекции ВИР. Санкт-Петербург: ВИР, 2021. 124 с. (Каталог мировой коллекции ВИР ; Выпуск 928). ISBN 978-5-907145-71-9. DOI 10.30901/978-5-907145-71-9. EDN USSFBS.

References (in Russ)

6. Butova S.N., Volnova E.R., Zueva K.V. Characteristics of pectins from unconventional raw materials. *Young scientist*. 2020;22(312):424–426. EDN YONHJS. (in Russ.)
7. Sozaeva D.R., Jaboeva A.S., Shaova L.G., Nagaeva O.K. The content of pectins in various types of fruit crops and their physicochemical properties. *Bulletin of VSUIT*. 2016;(2):170–174. doi:10.20914/2310-1202-2016-2-170-174 (in Russ.)
13. Kizatova M.Zh., Azimova S.T., Omarkulova N.S., Adilkhanova L.S., Kaumbaeva E.T. Justification of the functionality of pump-pump and pectin-containing food products. *Bulletin of KazNMU*. 2018;(4)%188–191. EDN YWQJWL. (in Russ.)
14. Machneva I.V., Bon darenko A.I. Assessment of the content of pectin in some vegetables and fruits. *International Student Scientific Bulletin*. 2016;(2):212–218. EDN WZFLJR. (in Russ.)
15. Potkina G.G., Lyashevskaya N.V., Kuznetsova O.V. Pectin substances of vegetable crops // Biodiversity, problems of ecology of the Altai Mountains and adjacent territories: present, past, future: materials of the second interregional scientific and practical conference. - Gorno-Altaysk: RIO GAGU. - 2016. p. 123. (in Russ.)
16. Ivanov V.I., Komarov V.I., Manuilova T.A. The state of the use of secondary raw materials in the food industry. *Vestn. RASKHN*. 1993;(4):61–63. (in Russ.)
17. Sokol N.V., Hatko Z.N., Donchenko L.V., Firsov G.G. The state of the pectin market in Russia and abroad. *New Technologies*. 2008;(6):30–35. EDN JWCCDV. (in Russ.)
18. Pavel A.R. Substances in apple. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2020;(7):59–65. EDN YBTRCP. (in Russ.)
19. Piskunova T.M. Studying and keeping alive the world collection of pumpkin, squash, squash, kruknek (guidelines). St. Petersburg: VIR. 2020. 48 p. (in Russ.)
20. Ermakov A.I., Arasimovich V.V. et al.; Methods of biochemical research of plants. L.: Agropromizdat. Leningr. ed., 1987. 430 p. (in Russ.)
21. Piskunova T.M., Solovyova A.E., Mutyeva Z.F. Pumpkin: Biochemical composition of pumpkin samples from the VIR collection. Saint Petersburg: VIR, 2021. 124 p. ISBN 978-5-907145-71-9. DOI 10.30901/978-5-907145-71-9. EDN USSFBS. (in Russ.)

Об авторах:

Алла Евгеньевна Соловьева – кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела биохимии и молекулярной биологии, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>, ResearcherID is: B-8742-2017, SPIN-код: 1754-4144, alsol64@yandex.ru
Татьяна Миновна Пискунова – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, <https://orcid.org/0000-0002-9267-6619>, SPIN-код: 6122-0333, tmpiskunova@yandex.ru

About the Authors:

Alla E. Solovyeva – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Department of Biochemistry and Molecular Biology, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>, ResearcherID is: B-8742-2017, SPIN code: 1754-4144, alsol64@yandex.ru
Tatiana M. Piskunova – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Genetic Resources of Vegetable and Melon Crops, <https://orcid.org/0000-0002-9267-6619>, SPIN code: 6122-0333, tmpiskunova@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-95-100>
УДК 635.342:632.53(470.3)

Б.М. Молоков¹, П.Ю. Голышева^{2*}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО) 140153, Россия, Московская обл., д. Верея, стр. 500

² Государственный Астрономический Институт имени П.К. Штернберга МГУ (ГАИШ МГУ) 119234, Россия, Москва, Университетский проспект, д. 13

*Автор для переписки:
polina-golysheva@yandex.ru

Благодарности. Антоновой Т.С., заведующей лаборатории иммунитета ФГБНУ «Всероссийский НИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта», доктору биологических наук, заслуженному деятелю науки Кубани за консультации по биологии заразихи. Фермеру-овощеводу – особая благодарность за согласие на публикацию материала статьи на условиях анонимности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Оба автора участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Для цитирования: Молоков Б.М., Голышева П.Ю. Исследование результатов акклиматизации заразихи на капусте белокочанной в почвенно-климатических условиях Центрального региона РФ. *Овощи России*. 2023;(6):95-100. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-95-100>

Поступила в редакцию: 26.08.2023

Принята к печати: 04.09.2023

Опубликована: 04.12.2023

Boris M. Molokov¹, Polina Yu. Golysheva^{2*}

¹ All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" p. 500, Vereya village, Ramensky district, Moscow region, 140153, Russia

² Sternberg Astronomical Institute Moscow University (SAI MSU) 13, Universitetsky pr., Moscow, 119234, Russia

*Correspondence: polina-golysheva@yandex.ru

Acknowledgements. We are grateful to Antonova T.S. – Doctor of biology, the head of laboratory of immunity of Federal state budgetary scientific institution "Federal scientific center" "V.S. Pustovoyt All-Russian Research Institute of Oil Crops", the honored scientist of Kuban for the consultations on the theme of broomrape biology. We are especially grateful to farmer vegetable grower for the agreement on publication of the materials under conditions of anonymity.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, planning and conducting experiments, writing the text of the article and forming conclusions.

Conflict of interest: The authors declare that there are no conflicts of interest.

For citation: Molokov B.M., Golysheva P.Yu. The researches of broomrape acclimatization on white cabbage in the soil-climatic conditions of Central region of the Russian Federation. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):95-100. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-95-100>

Received: 26.08.2023

Accepted for publication: 04.09.2023

Published: 04.12.2023

Исследование результатов акклиматизации заразихи на капусте белокочанной в почвенно-климатических условиях Центрального региона РФ



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Установлено, что в одном из хозяйств Центрального региона РФ впервые было выявлено поражение капусты облигатным паразитом, заразихой. Как показывает многолетний опыт, с 2011 года, борьба с ней крайне затруднительна, и она представляет реальную угрозу для овощеводства в этом регионе.

Материалы и методика. Объектом исследования были производственные посадки капусты белокочанной, выращиваемой по кассетной технологии, опыты – полевые. Методика выполнения предусматривала проведение следующих работ: фенологические наблюдения за онтогенезом заразихи и капусты, выявление особенности цветения и плодоношения этого сорняка, установление длительности развития заразихи до фазы плодоношения, учет размещения стеблей-цветоносов на поверхности посадок капусты, выявление соотношения высоты стеблей-цветоносов и высоты листьев розетки капусты. Анализировалась особенность поражения заразихой капусты, выращиваемой по кассетной технологии.

Результаты. Установлено, что рассматриваемая в данной работе раса заразихи может успешно развиваться в более северных почвенно-климатических условиях Центрального региона РФ. Предложен комплекс агротехнологических приемов борьбы с этим сорняком, который включает в себя двухъярусную вспашку зараженных полей сразу после уборки капусты, получение мочковидной корневой системы капусты, которая должна размещаться в рабочем пахотном слое глубиной до 25 см, многократную культивацию отрастающих стеблей сорняка, окуливание капусты перед смыканием рядков. Предложены альтернативные методы борьбы с заразихой с использованием в конвейере крестоцветных овощных культур с коротким вегетационным периодом и культур, провоцирующих прорастание этого сорняка.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

капуста белокочанная, заразиха, агротехнологические методы борьбы

The researches of broomrape acclimatization on white cabbage in the soil-climatic conditions of Central region of the Russian Federation

ABSTRACT

Relevance. In one of the farms, situated in the Central region of the Russian Federation was found the first defeat of cabbage by obligate weed – broomrape. As the long experience shows (since 2011 yr.), the control of broomrape is very difficult, and it is a real danger for the vegetable growing in this region.

Materials and methods. The object of researches were the plantations of white cabbage, which was grown by using the cassette technology, there were field experiments.

The research methods included the following works: phenological observations of broomrape and white cabbage ontogenesis, the detection of the main features during blooming and fruiting of this weed, the definition of the duration of broomrape evolution until the fruiting phase, the detection of blooming shoots location on the surface of the cabbage plantation, the identifying of relationship between the height of broomrape's flower-bearing shoots and the height of leaves of cabbage's rosette.

There was analyzed the feature of growing by using the cassette technology cabbage, being damaged by broomrape.

Results. It was found, that the studied in the paper race of broomrape can successfully progress in more northern soil-climatic conditions of the Central region of the Russian Federation. The complex of agro technical methods of broomrape control is suggested, it includes: the two-level plowing of the weedy fields right after harvesting cabbage; receiving of cabbage's fibrous root, which should be situated into the working plowing space with depth up to 25 cm; multiplex cultivation of the growing shoots of the weed; the cabbage hilling before rows closing. The alternative methods of broomrape control also can be used: the conveyer of cruciferous vegetable cultures with short vegetation period and cultures, which provoke the germination of the weed.

KEYWORDS:

white cabbage, broomrape, agro technical methods of broomrape control.

Введение

Заразиха – облигатный сорняк, не имеющий настоящих корней, который питается за счет растения-хозяина. Кроме того, этот сорняк отравляет хозяина-растение продуктами собственной жизнедеятельности. Растения, пораженные заразихой, ослабевают, их развитие приостанавливается и впоследствии многие погибают¹. Применительно к капусте снижается урожайность за счет гибели сильно пораженных растений, а кочаны уцелевших растений становятся рыхлыми и в лучшем случае могут быть реализованы как нестандартные. Это незеленое (бесхлорофильное) травянистое растение с простыми или ветвящимися стеблями до 30 см. Стебли коротко-железистоволосистые, желтые или буроватые в средней части толщиной 2-5 мм, у основания утолщенные, усаженные очередными чешуевидными листьями. Цветы синевато-фиолетовые. Плод – самораскрывающаяся коробочка (см. сноску внизу страницы).

В нашем случае, применительно к капусте, высота стеблей заразихи не превышает высоты розетки (рис. 1а) у большинства стеблей-цветоносов и даже значительно ниже (рис. 1б). Стебли мощные, простые, у основания утолщенные серо-сиреневые, цветы сиреневые.

Она может опыляться как самостоятельно, так и перекрестно. В цветках созревают самовскрывающиеся плоды-коробочки с мельчайшими пылевидными темно-бурыми семенами округлой или продолговатой формы. В одной коробочке может быть до 5000 семян, на цветоносе насчитывается до 100 коробочек. Теоретически, при благоприятных погодных условиях одно растение может дать до 500 тыс. семян [1].

Стебель заразихи очень прочно через клубенек и гаусторий связан с корнями растения. Поэтому при прополке рабочему приходится придерживать корни капусты рукой, а стебель обрывается. Это технологический признак, определяющий также наличие этого паразита в сорной растительности.

Заразиха обычно распространена в странах с засушливыми и жаркими климатическими условиями. Биологический цикл развития заразихи состоит из двух фаз: почвенной и воздушной. Первая фаза начинается с прорастания семян сорняка. Необходимым условием прорастания является вещество, выделяемое корнями растения-хозяина, достаточная температура почвы и, как стимулирующий фактор, кислотность в пределах pH 5,3-5,8 [2,3].

Проросток семени заразихи врастает в корень растения, в нашем случае капусты, формируя внутри него гаусториальный орган, с помощью которого паразит потребляет воду и питательные вещества из сосудистой системы растения-хозяина. Снаружи корня на гаустории формируется клубенек, в котором закладывается точка роста стебля-цветоноса. Исследования [4], выполненные в ФГБНУ «Всероссийский НИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта» показали, что в клубеньке может заключаться несколько точек роста для последующего, растянутого по времени, формирования из них побегов заразихи. Авторы отмечают, что при культивации или ручной прополке на клубеньках остаются живые травмированные остатки оснований стеблей, из которых быстро отрастают стебли-побеги, минуя несколько фаз онтогенеза, таких как: проникновение проростка семени заразихи в корень растения-хозяина, развитие нового гаустория и клубенька, то есть в итоге существенно сокращается время образования новых стеблей-цветоносов.

Воздушная фаза – это появление и рост стеблей-цветоносов. Стебель вырастает на поверхности почвы, верхняя его часть пред-

ставляет собой рыхлое колосовидное соцветие, далее цветение и обильное плодоношение. В России насчитывается более 40 видов этого растения, включая пять паразитов, которые поражают культивируемые растения. Каждый из этих видов связан, в основном, с определенной группой растений-хозяев.

Наиболее вредоносны заразихи (*Orobanchae*):

- подсолнечная или волчок (*O. cymata*), паразитирующая на подсолнечнике, томате и табаке;
- капустная или Мутеля (*O. brassicae* или *O. mutellii*);
- египетская или бахчевая (*O. aegyptiaca*) – на арбузе, дыне, тыкве;
- желтая или люцерновая (*O. lutea*) – на люцерне или клевере.

Заразиха, занесенная из других ботанико-географических зон, успешно, как показал рассмотренный случай, акклиматизируется на новых территориях. Этому способствует высокая семенная продуктивность этого растения, что позволяет создать большой запас семян в почве, потепление климата, засоренность посадок капусты крестоцветными сорняками, отсутствие разработанных агротехнологических приемов борьбы с этим сорняком. К тому же, заразиха – новое растение для овощеводов этой зоны, поэтому борьбу с заразихой могут начать с запозданием.

Распространение заразихи происходит за счет природных факторов и, в частности, ветра, но в основном, антропогенных: обработка посадок и уборка капусты рабочими, транспортными средствами, обработка почвы сельхозорудиями, когда почва с семенами паразита перемещается на смежные участки поля, а также переносится и на другие поля хозяйства, то есть разными способами, связанными с переносом зараженной почвы.

Важнейшим условием для быстрого заселения этим сорняком полей хозяйства является также высокая семенная продуктивность заразихи с одной стороны, а с другой – сохранность семян в почве в течение длительного времени. Так, по многолетним исследованиям ФГБНУ «Всероссийский НИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта» установлено, что на черноземных почвах и в климатических условиях Северо-Кавказского региона РФ семена заразихи сохраняются в почве до 20 лет. При хранении в обычных атмосферных условиях они быстро погибают. Институт хранит практически неограниченное время коллекцию семян разных рас заразихи в морозильной камере бытового холодильника [5].

Материалы и методика

Объектом исследования были производственные посадки капусты белокочанной у одного из овощеводов Центрального региона РФ². При обследовании посадок 13 июля 2011 г. был обнаружен небольшой участок поля – фактически делянка – площадью более 16 м² вытянутой формы с признаками сильного угнетения растений (рис. 2) неизвестного происхождения. Капуста – средне-спелый гибрид иностранной селекции, рассада выращивалась в кассетах 144, возраст рассады – 59 дней, посадка 13-15 мая, полив катушечной системой с пушкой-оросителем, вегетационный период от посадки до наблюдения – 59-61 день. Фаза развития капусты – начало формирования кочана.

Пораженные растения были извлечены из почвы, при этом оказалось, что удалены все растения, то есть поражение капусты сплошное (рис. 3).

Объем выборки составил 68 растений. На снимке видно, что в почве на оставшихся корнях капусты наблюдаются цветущие сорняки, расположенные преимущественно в рядах (рис. 4).

Анализ корней удаленных растений капусты показал, что на них сформировались клубеньки, из которых растут стебли-цветоносы. По комплексу этих признаков было сделано заключение, что капуста поражена облигатным растением-паразитом – заразихой.

Методикой выполнения исследования предусматривалось также проведение фенологических наблюдений за заразихой. На

¹ Елена Нейра. Заразиха – быстрая смерть для урожая. <https://www.agroxxi.ru/zhurnal-agromir-xxi/stati-rastenievodstvo/zarazih-bystraya-smert-dlja-urozhajna.html>

момент проведения наблюдений фаза развития растений зарази-
хи, в основном, цветение. Вегетационный период этой фазы, как
было отмечено выше, около 59-61 дней от посадки рассады капу-
сты в середине мая. По нашим наблюдениям цветение неравно-
мерное. Имеются растения в начальной фазе (рис. 5) и растения,
у которых отдельные стебли-цветоносы уже вступили в фазу пло-
доношения (рис. 6).

Также отмечен типичный вариант фазы цветения зарази-
хи (рис. 7), когда на одном растении капусты имеются полностью цве-
тущие стебли (1), частично цветущие, у которых верхняя часть
стебля еще сохранилась в виде колосовидного соцветия (2) и
стебли с колосовидными соцветиями (3).

В общем, по результатам фенологических наблюдений можно
сделать заключение, что цветение зарази-хи неравномерное. При
сильном поражении капусты, порядка 20 стеблей-цветоносов,
растение капусты гибнет (рис. 8).

Установлен характер размещения зарази-хи на поверхности
поля. Основная масса стеблей-цветоносов растет в рядке капусты
(рис. 4).

При очередном осмотре посадок капусты на одном из полей
было обнаружено одиночное растение зарази-хи (рис. 9).

Капуста позднеспелая иностранной селекции, выращенная тоже
по кассетной технологии. Дата наблюдения 25 сентября 2019 года,
вегетационный период от посадки рассады порядка 115-120 дней.
Фаза развития – формирование кочана. При осмотре видны стебли
зарази-хи в фазе цветения. Однако при детальном обследовании
было установлено, что зарази-ха прошла фазу плодоношения, коро-
бочки открыты и семена высыпались. В зависимости от ветра и
осадков они распределились по какой-то площади этого поля.

В 2011 году было отмечено поле капусты с сильным поражен-
ием зарази-хой на площади порядка 2 га (рис. 10).

Фаза развития культуры – образование кочанов. Фенологические
наблюдения развития зарази-хи показали ее идентичность к
подробно рассмотренному опыту на делянке в 2011 г.

Результаты исследований и рекомендации производству

Можно предположить, что мы имеем дело с более северной
физиологической расой зарази-хи. Анализ температурных данных
и многолетние наблюдения показали, что фаза цветения этого
сорняка благополучно происходит при средних, характерных для
Центрального региона РФ температурах, например, 20°C (2019
год) и 20,8°C (2021 год), а плодоношение – при 17,2°C и 18,0°C соот-
ветственно.

Установлено, что особенность онтогенеза зарази-хи обуславли-
вается ее тесной связью с развитием корневой системы капусты.
Сорняки поражают растение-хозяина постепенно по мере роста
корней. Однако наблюдения показывают, что на исследуемых
делянках особенно сильное поражение этим сорняком выявлено в
рядках. Объяснить это можно особенностью кассетной рассады.
Дело в том, что корни рассады сконцентрированы в ограниченном
объеме субстрата, для кассеты 144 – это 21 см³. В результате при
высадке ее в поле из корневой системы рассады будет выделять-
ся высокая концентрация вещества, стимулирующего прораста-
ние семян зарази-хи. Это обстоятельство обуславливает локаль-
ное поражение корневой системы растения-хозяина, типичное для
капусты, выращиваемой по кассетной технологии. Большую плот-
ность размещения зарази-хи в рядках можно объяснить также тем,
в этой зоне не проводится междурядная обработка.



**Рис. 1 а, б. Высота стеблей цветоносов
зарази-хи относительно листьев розетки**
**Fig. 1 a, b. The height of the broomrape
flower-bearing shoots with respect to the rosette leaves**



Рис. 2. Общий вид делянки капусты
Fig. 2. The overall view of the cabbage plot



**Рис. 3. Делянка после извлечения
поврежденной капусты из почвы**
**Fig. 3. The plot after the extraction
of the damaged cabbage from the soil**



**Рис. 4. Размещение растений зарази-хи
на делянке после удаления капусты**
**Fig. 4. The allocation of the broomrape
on the plot after the cabbage extraction**

² Области: Брянская, Владимирская, Ивановская, Каширская,
Московская, Рязанская, Смоленская и Тульская.



Рис. 5. Заразиха в начале фазы цветения
Fig. 5. The broomrape at the beginning of the blooming phase



Рис. 6. Заразиха в фазе начала плодоношения
Fig. 6. The broomrape at the beginning of fruiting



Рис. 7. Неравномерность цветения заразики
Fig. 7. The irregularity of the broomrape blooming



Рис. 8. Гибель капусты от заразики
Fig. 8. The death of the cabbage from broomrape

Ограниченные площади, пригодный для возделывания овощных культур и естественное стремление овощевода к обеспечению доходности производства обуславливают применение трехлетнего севооборота. То есть капуста возвращается на прежнее место через два года. Однако соблюдение овощеводом такого севооборота при высокой агротехнике выращивания капусты (рис. 9), а также моркови и свеклы столовой не решило за более чем десятилетний период времени проблему борьбы с этим сорняком. Проведенные на подсолнечнике исследования [6] показали, что ротация через два года снижает повреждение культуры заразой незначительно – до 14%. Вместе с тем, за этот период времени семена этого сорняка вместе с почвой перемещаются разными средствами и способами на смежные площади и на другие поля. Таким путем расширяется зона заражения заразой. При этом важно отметить, что это неконтролируемый визуально процесс. Одной из мер борьбы с сорняками принято считать заделку послеуборочных остатков и семян сорных растений при глубокой вспашке почвы плугами с предплужниками. Для борьбы с заразой при сильном поражении капусты (рис. 10) более эффективно применение для вспашки двухъярусного плуга, например, ПЯ-3-3,5, который обеспечивает послойную обработку почвы с перемещением почвенных горизонтов. При работе плуга верхние корпуса снимают слой почвы толщиной до 15 см, для тяжелых по механическому составу почв, переворачивают его и укладывают на дно борозды. Нижние корпуса поднимают оставшуюся часть пласта толщиной тоже 15 см и, перевернув его, закрывают им пласт, ранее оставленный верхними корпусами. В результате двухъярусной вспашки достигается полная и глубокая, до 30 см, а на более легких почвах – до 40 см, заделка растительных остатков и семян сорняков. За счет этого затрудняется прорастание семян сорняков, в том числе заразики.

При этом важно обеспечить подготовку убранного капустного поля к вспашке. Она заключается в тщательном и своевременном измельчении растительных остатков и сорняков (рис. 11) сразу после уборки капусты, как это применялось в одном из хозяйств этого региона (агроном Ануфриев Н.В.). На практике абсолютное большинство овощеводов выполнением этой полезной операции пренебрегают. Одновременно шла вспашка на глубину 30 см.

Следует обратить внимание, что при таком подходе полноценно используются, как органическое удобрение, растительные остатки. Так, при заделке розеточных листьев в почву вносятся при использовании гибридов ООО «Селекционная станция им. Н.Н. Тимофеева» Триумф F₁ – 49 т/га, Престиж F₁ – 6. 48 т/га, Колобок F₁ – 6. 34 т/га, Валентина F₁ – 6. 44 т/га, гибридов фирмы Monsanto Holland B.V.: Фундакси F₁ – 6. 66 т/га, Кронос F₁ – 6. 65 т/га, сортов селекции и производства ВНИИССОК: Амагер 611 – 62 т/га и Зимовка 1474 – 58 т/га.

Большое значение имеет получение мощной мочковидной корневой системы капусты, которая должна размещаться в нормальном рабочем пахотном слое глубиной 20-25 см и, по крайней мере в пределах площади розетки растения. Решающую роль в формировании такой корневой системы играет поддержание постоянной влажности в пахотном слое почвы на уровне 70-80 %. При этом полив должен производиться дождеванием по всей поверхности почвы. В оптимальном варианте целесообразно применять катушечную систему с штангой, когда обеспечивается наиболее эффективный мелкокапельный полив. Рекомендуемые нормы полива [7]: приживочный 150-200 м³/га и последующие вегетационные – 200-300 м³/га.

Помимо обеспечения требуемой влажности почвы, необходимо содержать ее в рыхлом состоянии с достаточным количеством в пахотном слое питательных веществ. При таком подходе большая часть корней будет размещаться в слое почвы до 25 см. В про-

цессе дальнейшего развития корневой системы отдельные молодые корешки могут достигать нижнего слоя. Естественно, что они спровоцируют прорастание семян заразики, но из-за большой глубины залегания семян и недостаточного питания от молодых корешков стебли заразики могут погибать.

По нашему мнению, перспективно применение безрассадной технологии выращивания капусты. Объясняется это тем, что при большом количестве осадков в течение вегетационного периода, как это было в 2011 г., растения формируют мочковидную корневую систему. При проведении в 2011 г. учета урожая безрассадной капусты в овощеводческих хозяйствах Тульской области ООО «Нива», ООО «Плава» и ООО «Белевские овощи» было установлено, что как отечественные гибриды ООО «Селекционная станция им. Н.Н. Тимофеева» Семко Юбилейный 217 F₁, Валентина F₁, Колобок F₁, Доминанта F₁, Тарас F₁, так и гибриды иностранной селекции фирмы «Бейо Заден» и «Сингента» Харрикейн F₁, Куизор F₁ и Блоктор F₁ образовали развитую поверхностную корневую систему.

Поверхностная мочковидная корневая система в рабочем слое почвы глубиной до 25 см в комплексе с двухъярусной вспашкой может обеспечить радикальное снижение повреждений капусты заразики. При этом корнеплоды: морковь и столовая свекла выращиваются в трехпольном севообороте при вспашке полей под эти культуры на глубину до 25 см.

В междурядьях плотность стеблей цветоносов значительно ниже. Можно привести два фактора, которые объясняют это положение. Во-первых, корневая система кассетной рассады меньше развита в междурядьях и, во-вторых, количество стеблей-цветоносов уменьшилось за счет проводимой культивации посадок капусты и ручной прополки.

Применительно к капусте важную роль в борьбе с заразики играют междурядные обработки. Это культивация в междурядьях и окучивание в рядках. Овощевод для междурядной обработки применяет культиватор Schmotzer, предназначенный по факту для обработки сахарной и столовой свеклы. Он укомплектован тремя подпружиненными вибро-ножами со стрелчатыми лапами 100 мм (рис. 12) и предназначен для эффективной обработки междурядий 45 см.

Такая расстановка изношенных рабочих органов выполняет две задачи: рыхление почвы и частичное устранение сорняков в междурядьях 70 см.

Для эффективной борьбы с сорняками на капусте рабочие органы культиватора должны полностью уничтожать сорняки и рыхлить почву на ширине не менее 50 см при междурядье 70 см, оставляя защитные зоны по 10 см от растений капусты. С этой целью культиватор для обработки капусты должен быть доработан следующими рабочими органами: центральной стрелчатой лапой и двумя односторонними лапами (бритвами) с общей шириной рабочего захвата 50 см, а также окучником Modell 62. Учитывая, что в настоящее время приобретение этих дорогостоящих рабочих органов затруднительно, целесообразно рассмотреть вариант замены их на аналогичные рабочие органы отечественного культиватора Кор-4,2-03. Задача заключается в том, чтобы адаптировать стойки этих рабочих органов к конструкции культиватора Schmotzer. Следует отметить, что культивация возможна до смыкания листьев капусты в междурядьях. Далее, контроль за развитием заразики практически невозможен и до уборки она будет развиваться и может достигнуть фазы плодоношения. То есть, многократная междурядная обработка посадок предупреждает раннее плодоношение заразики, значительно снижает ее семенную продуктивность и обеспечивает получение товарной продукции капусты.

Операция окучивания капусты предусматривается в технологии выращивания. Ее рекомендуется выполнять перед смыканием



Рис. 9. Точечное поражение капусты заразики
Fig. 9. The cabbage point damage by broomrape



Рис. 10. Общий вид капустного поля с сильным поражением заразики
Fig. 10. The total view of the cabbage field, strongly damaged by broomrape



Рис. 11. Измельчение растительных остатков капусты и сорняков
Fig. 11. The crushing of the cabbage residuals and weeds



Рис. 12. Секция культиватора Schmotzer
Fig. 12. The section of the cultivator Schmotzer

листьев розетки в рядах. Эта операция в обязательном порядке выполнялась в совхозе «Подмосковный» (Гл. агроном Болдин Б.М.) при выращивании ценных в тот период времени сортов Зимовка 1474 и Амагер 611 селекции и производства ВНИИССОК. Другим немаловажным фактором окучивания капусты является создание условия для развития молодых корней из спящих почек кочерыжки, что усиливает питание капусты и тем самым снижает эффективность действия заразики на культуру.

При первом случае обнаружения заразики надо принять все меры к недопущению ее дальнейшего распространения. Обычно для этого рекомендуется применять истребительные способы, например, тепловую обработку поверхности зараженного участка поля после срезки кочанов. Эффективность данного способа обеспечивается тем, что семена заразики лежат на поверхности почвы.

Может применяться способ снятия и утилизации верхнего слоя почвы. А также и другие способы. Площадь поля необходимо зафиксировать на карте поля и при возвращении капусты на это поле постоянно контролировать появление стеблей заразики и уничтожать их культивацией и локальной ручной прополкой до момента наступления плодоношения.

Все рассматриваемые выше меры борьбы с заразой позволяют сохранить специализацию овощного хозяйства и рынок сбыта овощной продукции. Если есть возможность изменения ассортимента выращиваемых овощей, то имеются альтернативные пути борьбы с этим сорняком. Один из них – это выращивание крестоцветных культур с коротким вегетационным периодом, который обеспечивает получение товарной продукции до наступления фазы плодоношения заразики. В связи с этим представляют интерес суперранние сорта и гибриды белокочанной капусты, в частности, Июньская Селекции и производства ВНИИССОК и Экспресс F₁ селекции ООО «Селекционная станция им. Н.Н. Тимофеева», которые обеспечивают получение товарной продукции в несколько этапов. Также возможно выращивание в несколько сроков пекинской капусты. Для этого целесообразно использовать отечественные гибриды селекции ООО «Селекционная станция им. Н.Н. Тимофеева» Ника F₁ и Гидра F₁. Это первые в России гибриды капусты генетически устойчивые к киле крестоцветных (автор – селекционер Г.Ф. Монахос). Использование устойчивых к киле гибридов капусты особенно актуально при насыщении севооборота крестоцветными овощными культурами.

Выращивание разных салатов тоже будет снижать засоренность полей семенами заразики. Другое направление – это посевы культур, провоцирующих прорастание семян заразики, но при этом стебли цветonoсные гибнут. К ним относятся рапс, кукуруза и др.

Заключение

По всей вероятности, в данном случае наблюдается более северная физиологическая раса заразики, которая при заносе с южных ботанико-географических зон впервые акклиматизировалась в одном из хозяйств центрального региона РФ. Следовательно, она представляет реальную угрозу для овощеводства на этой территории.

Установлено, что использование трехлетнего севооборота за длительный период времени – с 2011 года не решило проблему успешной борьбы с заразой при высокой агротехнике выращивания овощных культур.

Необходимо в обязательном порядке отметить точечное поражение или делянку на карте поля и вести постоянный мониторинг за распространением заразики в условиях постоянной борьбы с этим сорняком.

Обоснована актуальность своевременного начала борьбы при первом обнаружении заразики на капусте. В этом случае следует применить нетривиальные меры борьбы: это может быть тепловая обработка поверхности почвы, принимая во внимание, что семена сорняка лежат на поверхности; снятие и утилизация поверхностного слоя почвы; можно попробовать оставить семена заразики на нетронутой поверхности участка, так как по опыту специалистов института масличных культур в атмосферных условиях семена заразики быстро гибнут, и др. способы.

При сильном поражении поля заразой необходимо выполнять комплекс мер борьбы с ней, включающий: измельчение сорняков и растительных остатков капусты, двухъярусную вспашку, возделывание в несколько сроков крестоцветных овощных культур с коротким вегетационным периодом, уборка которых проводится раньше созревания семян заразики. В дальнейшем выращивание корнеплодов без ограничения, а капусты с образованием поверхностной мочковидной корневой системы. Глубина последующей вспашки почвы порядка 20-25 см.

Если овощевод имеет возможность изменить производственную программу выращивания овощей, то имеются альтернативные пути борьбы с заразой. Один из них – выращивание крестоцветных с коротким вегетационным периодом, уборка которых производится до созревания семян сорняка, таких как: суперранняя капуста белокочанная, пекинская капуста, салаты и др. В этом случае возможен посев в несколько сроков, получение овощеводом товарной продукции и снижение запаса семян заразики в почве.

Также могут выращиваться овощные культуры, которые провоцируют прорастание семян заразики, но стебли-цветоносы гибнут. К таким овощным культурам относятся рапс, кукуруза и др. Они тоже снижают запас семян сорняка в почве.

Литература / References

- Новопокровский И.В., Цвелёв Н.Н. Семейство *Orobanchaceae*. – Флора СССР, т. XXIII, с. 19–115, М.-Л.: Издательство Академии Наук СССР, 1958 (Novopokrovskiy I.V., Tsvelev N.N. Family *Orobanchaceae*. – The flora of USSR, vol. 23, pp. 19–115, Moscow -Leningrad: Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, 1958 (In Russ.)).
- Лукущенко П. П., Пустовойт В. С., Мазлумов А. Л.. Успехи советской селекции, сборник статей, Москва: Знание, 1967 (Lukyanenko P. P., Pustovoyt V. S., Mazlumov A.L. The success of the Soviet selection, almanac, Moscow: «Znanie», 1967 (In Russ.)).
- Бейлин И.Г. Цветковые – полупаразиты и паразиты, Москва: Наука, 1968 (Beilin I.G. Flowering - semi-parasites and parasites, Moscow: «Nauka», 1968 (In Russ.)).
- Антонова Т.С., Стрельников Е.А., Гучетль С.З., Челюстникова Т.А.

- Разнообразие форм заразики на подсолнечнике на юге России. «Защита и карантин растений», 2014, № 11, с. 45-48 (Antonova T.S., Strel'nikov E.A., Guchet' S.Z., Chelustnikova T.A. A variety of sunflower broomrape forms on sunflower in the South of Russia. «Zashchita i karantin rasteniy», 2014, № 11, pp. 45-48 (In Russ.)).
- Антонова Т.С., частное сообщение, 2023 (Antonova T.S., private message, 2023).
- Шанский Ю.А. Агротехника высоких урожаев масличных культур (на юго-востоке), Москва: Россельхозиздат, 1966 (Shansky Yu.A. Agrotechnology of the high harvest of oil-yielding crops (on the southeast), Moscow: «Rossel'khozizdat», 1966 (In Russ.)).
- Ваняев С.С. Режимы орошения и техника полива овощных культур (рекомендации), Москва: Россельхозиздат, 1985 (Vaneyan S.S. The regimes of irrigation and technology of watering of vegetable cultures (recommendations). Moscow: «Rossel'khozizdat», 1985 (In Russ.))

Об авторах:

Борис Михайлович Молоков – кандидат техн. наук, ст. научный сотрудник, технолог-овощевод
Полина Юрьевна Голышева – кандидат физ.-мат. наук, научный сотрудник, Researcher ID: X-4693-2018, автор для переписки, polina-golysheva@yandex.ru

About the Authors:

Boris M. Molokov – Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, vegetable grower technologist
Polina Yu. Golyшева – Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Researcher, Researcher ID: X-4693-2018, Correspondence Author, polina-golysheva@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-101-107>
УДК 635.64:632.952(571.63)

И.А. Ванюшкина¹,
Н.А. Синиченко^{1*}, Е.Г. Козарь²

¹ Приморская овощная опытная станция – филиал Федерального государственного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» 692779, Россия, Приморский край, г. Артем, с. Суражевка, ул. Кубанская, д.57/1

² Федеральное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, пос. ВНИССОК, ул. Селекционная, 14

*Автор для переписки: natsinichenko@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в анализе материалов, написании текста статьи и формировании выводов.

Для цитирования: Ванюшкина И.А., Синиченко Н.А., Козарь Е.Г. Применение систем фунгицидов на томате в условиях открытого грунта Приморского края. *Овощи России*. 2023;(6):101-107. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-101-107>

Поступила в редакцию: 25.09.2023

Принята к печати: 09.10.2023

Опубликована: 04.12.2023

Irina A. Vanyushkina¹,
Natalya A. Sinichenko^{1*}, Elena G. Kozar²

¹ Primorskaya vegetable experimental station – branch of the Federal state budgetary scientific institution «Federal Scientific Vegetable Center» (PVES – branch of the FSBSI FSVC) 57/1, Kubanskaya st., Surazhevka, Artem, Primorsky Krai, 692779, Russia

² Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Selectsionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, 143072, Russia

*Corresponding Author: natsinichenko@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, writing the text of the article and forming conclusions.

For citation: Vanyushkina I.A., Sinichenko N.A., Kozar E.G. Application of a fungicide system on tomato in open ground conditions in Primorsky Krai. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):101-107. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-101-107>

Received: 25.09.2023

Accepted for publication: 09.10.2023

Published: 04.12.2023

Применение системы фунгицидов на томате в условиях открытого грунта Приморского края



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Томат является одним из наиболее любимых и популярных овощей у приморчан. Но в условиях муссонного климата, Дальневосточное Приморье имеет самый напряженный инфекционный фон в России. Потери урожая плодов томата от альтернариоза ежегодно составляют от 30% и более. Потери от фитофтороза на фоне эпифитотии в годы с влажным и холодным летом, как это наблюдалось в 2019 году, в зависимости от устойчивости сорта могут достигать от 17 до 100%. Несмотря на то, что в последнее время приоритетным направлением является разработка и использование биологических средств борьбы, от химических мер защиты отказываться еще рано. Высокая эффективность и универсальность правильно подобранной схемы применения фунгицидов, жатые сроки обработки – все это дает быстрый и надежный результат в защите посевов томата и снижении вредоносности комплекса болезней.

Методика. Исследования проводили в 2019-2021 годах на Приморской овощной опытной станции (ПООС) – филиале ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» в условиях муссонного климата прибрежной зоны Приморского края. Изучали действие препаратов химической природы Сигнум, Орвего и их баковой смеси Сигм+Орвего на развитие болезней, показатели урожайности и структуру урожая томата сортов Одиссей, и Фитилек. Агротехника выращивания общепринятая в Приморском крае для культуры томата.

Результаты. Испытание химических фунгицидов в условиях Приморского края показало, что развитие альтернариоза, начиная с появления первых признаков поражения в первой половине вегетации, эффективно сдерживает фунгицид Сигнум, способствуя сохранению рабочей листовой поверхности. Применение баковой смеси Сигм+Орвего целесообразно применять, начиная со первой-второй декады августа, когда на листовой поверхности развивается комплекс фитопатогенов. Введение этих двух фунгицидов в баковую смесь приводит к повышению биологической и экономической эффективности защитных мероприятий в борьбе с альтернариозом и фитофторозом томата, по сравнению со стандартом – фунгицидом Акробат МЦ. Совместная обработка Сигнум+Орвего, снижая интенсивность развития болезней и долю нетоварной части урожая, оказывает благотворное влияние на массу товарного плода и способствует более полной реализации продуктивного потенциала сортов Одиссей и Фитилек.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

томат, альтернариоз, фитофтороз, биологическая эффективность, продуктивность

Application of a fungicide system on tomato in open ground conditions in Primorsky Krai

ABSTRACT

Relevance. Tomato is one of the most beloved and popular vegetables among Primorye residents. But in the monsoon climate, the Far Eastern Primorye has the most intense infectious background in Russia. The yield losses of tomato fruits from alternariosis annually amount to 30% or more. Losses from late blight on the background of epiphytotics in years with wet and cold summers, as observed in 2019, depending on the stability of the variety, can reach from 17 to 100%. Despite the fact that the development and use of biological means of control has recently been a priority, it is still too early to abandon chemical protection measures. High efficiency and versatility of the correctly selected scheme of application of fungicides, short processing time – all this gives a quick and reliable result in protecting tomato crops and reducing the harmfulness of the complex of diseases.

Methodology. The research was carried out in 2019-2021 at the Primorsky Vegetable Experimental Station (PVES) – a branch of the Federal Scientific Vegetable Center in the monsoon climate of the coastal zone of Primorsky Krai. We studied the effect of chemical preparations Signum, Orvego and their tank mixture with igum + Orvego on the development of diseases, yield indicators and the structure of the tomato crop varieties Odyssey, and Fitilek. Agrotechnics of cultivation are generally accepted in Primorsky Krai for tomato culture.

Results. Testing of chemical fungicides in the conditions of Primorsky Krai showed that the development of alternariosis, starting with the appearance of the first signs of damage in the first half of the growing season, effectively restrains the fungicide Signum, contributing to the preservation of the working leaf surface. It is advisable to use the tank mixture With igum + Orvego starting from the first or second decade of August, when a complex of phytopathogens develops on the leaf surface. The introduction of these two fungicides into the tank mixture leads to an increase in the biological and economic effectiveness of protective measures in the fight against alternariosis and late blight of tomatoes, compared with the standard fungicide Acrobat MC. Joint Signum Processing+Orvego, by reducing the intensity of disease development and the share of the non-commodity part of the crop, has a beneficial effect on the mass of commercial fruit and contributes to a more complete realization of the productive potential of Odyssey and Fitilek varieties.

KEYWORDS:

tomato, alternariosis, late blight, biological efficiency, productivity

Введение

Родиной томата считают Перу, Эквадор, Чили. Как дикое растение томат распространен в тропических Андах. Здесь еще до нашей эры индейцы собирали его плоды и использовали их в пищу. В Европу томат привез Колумб в 1498 году и только с середины 18 века началось возделывание томата как овощной культуры [1]. В плодах томата содержатся витамины С, В1, В2, В3 (пантотеновая кислота), РР (никотиновая кислота) и другие, а также каротин и ликопин. Зрелые плоды томатов отличаются высоким противоязвенным действием [2,3].

В Приморском крае в частном секторе большая доля площадей (около 70%) занята этой культурой [4]. Основные потери урожая томата связаны с поражением плодов фитофторозом (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) в годы эпифитотий и ежегодным ущербом от альтернариоза, который в Приморье наблюдается исключительно поражением листьев возбудителями *Alternaria solani* Sorauer, *Alternaria linaria* (Neergaard) Simmons. При этом, хотя альтернариоз не столь опасен, как фитофтороз, но этиология его развития в данном регионе изучена значительно в меньшей степени [5].

При альтернариозе на нижних, а позже и верхних листьях образуются концентрические, округлые диаметром до 7-15 мм пятна, желтого или бурого цвета, которые располагаются главным образом по краям листьев (рис. 1А) Во влажных условиях число пятен увеличивается и они сливаются, резко снижая площадь фотосинтезирующей листовой поверхности, и соответственно, продуктивность растений. На поверхности пятен во влажную погоду появляется слабозаметный черный налет конидиального спороношения возбудителей альтернариоза.

При фитофторозе поражаются все органы растения. На листьях появляются крупные некрозы различной формы, расплывчатые, коричневато-бурые с более светлым окаймлением (рис. 1Б). На плодах типичным признаком заболевания является образование твердого расплывчатого ржаво-коричневого пятна со слегка вдавленной поверхностью и ясно выраженными подкожными бугоркам. На пораженной ткани во влажных условиях вскоре появляется слабый беловатый налет спороношения, образующийся чаще на нижней сторо-

не листьев и на поверхности плодов в районе плодоножки [6,7,8].

Ведущее место в борьбе с этими фитопатогенами в настоящее время занимает химический метод, особенно в системах интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Преимущество его заключается в возможности быстрого и эффективного уничтожения вредоносных объектов. Например, биологическая эффективность защитных мероприятий против альтернариоза на Приморской овощной опытной станции при использовании фунгицида Сигнум (1,5 кг/га) по данным 2016-2017 годов после первой обработки составила 79% и 65% после третьей обработки, что способствовало сохранению урожая томата [9].

Защиту от болезней сельскохозяйственных культур целесообразно строить на основе прогнозирования их развития и оптимизации технологий защиты [10]. Важным моментом в повышении биологической и экономической эффективности химических средств защиты растений является метод применения баковых смесей. И, зная прогноз развития болезней, или в профилактических целях, можно смело применять этот методический подход, что позволит одновременно вести борьбу с целым комплексом вредных объектов. В последние годы спектр высокоактивных фунгицидов нового поколения значительно расширился, но регламент их применения и рекомендации для включения в технологию возделывания томата должны быть научно обоснованы, учитывать сортовые особенности и агроклиматические особенности конкретного региона, что и стало целью данной работы.

Материал и методы

Исследования проводили в 2019-2021 годах на базе Приморской овощной опытной станции (ПООС) – филиале ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» в условиях муссонного климата прибрежной зоны Приморского края. Возникновение и вредоносность болезней находились в тесной зависимости от складывающихся погодных условий. В 2019 году температурный фон вегетационного периода отличался пониженными значениями по сравнению со среденноголетними данными. В июле подход тайфуна «Данас» принес большое количество осадков (135 мм при 92 мм среденноголетних значений), а в августе влияние ока-



А



Б

Рис. 1. Листья томата, пораженные альтернариозом (А) и фитофторозом (Б)
Fig. 1. Tomato leaves affected by *Alternaria* (A) and *Phytophthora* (B)

зали три мощных тайфуна «Ликима», «Кроса» и «Франциско», общим количеством осадков 521 мм при 130 мм от среднемноголетних значений. Вегетационный период 2020 года характеризовался повышенным температурным фоном, исключение составил июль месяц, где отмечено понижение температуры воздуха на 0,3°C по сравнению со среднемноголетними данными, и неравномерным выпадением осадков. Так, в июне выпало осадков в 3,4 раза больше, а в июле в 3,3 раза меньше от среднемноголетних данных. В августе и сентябре из-за подходов трех тайфунов превышение нормы осадков составило 65,1 и 24,4 мм соответственно. Погодные условия 2021 года в июне и сентябре были близки к норме, а в июле и августе имели отклонения в сторону увеличения температуры воздуха соответственно на 3,2°C и 1,1°C и уменьшения количества выпавших осадков и 135 мм и 146 мм от среднемноголетних значений. По фитосанитарной обстановке самым неблагоприятным был вегетационный период 2019 года с эпифитотийным развитием альтернариоза и фитофтороза, а относительно благоприятным для культуры томата – 2021 год, где было зафиксировано развитие только альтернариоза.

В ходе опыта изучали действие препаратов химической природы Сигнум, Орвего и их баковую смесь Сигнум+Орвего. Сигнум (водно-диспергируемые гранулы, действующие вещества боскалид + пираклостробин, концентрации действующих веществ 267+67 г/кг), Орвего (концентрат эмульсии, действующие вещества диметоморф + аметоктрадин, концентрации действующих веществ 225+300 г/л). В качестве эталона был взят Акробат МЦ (водно-диспергируемые гранулы, действующие вещества диметоморф + манкоцеб, концентрации действующих веществ 90+600 г/кг).

Эффективность действия препаратов изучали на сортах томата селекции ПООС:

Сорт Одиссей преимущественно консервного назначения, среднеспелый, период от всходов до созревания 105-120 дней. Растение детерминантное, компактное высотой 45-55 см. Плоды красные, овальные, с плотной мякотью темно-красной окраски, мас-

сой 40-60 г. Сорт используется для цельноплодного консервирования, а также для переработки на кетчупы и соусы.

Сорт Фитилёк среднеспелый, период от всходов до 1-го сбора 105-115 дней. Растение детерминантного типа, средней мощности и облиственности, высотой до 100 см. Лист обыкновенный, среднего размера, дважды перистый с мелкими долями. Плод цилиндрический со слегка вытянутой вершиной, массой 30-60 г. Сорт предназначен для цельноплодного консервирования, а также для детского и диетического питания из-за высокого содержания β -каротина [11].

Опыты были заложены в 4-кратной повторности в соответствии с методическими указаниями [12,13]. Густота стояния растений – 38,8 тыс./га. Обработки фунгицидами проводили ранцевым опрыскивателем при норме расхода рабочей жидкости 400 л/га. Первое опрыскивание – в первой декаде июля (в период появления первых признаков альтернариоза на листовой поверхности томата), два последующих – с интервалом 12-16 суток в зависимости от погодных условий. Оценку поражения листовой поверхности растений проводили по пяти балльной шкале и с учетом распространенности болезней (Р%) рассчитывали степень их развития (R%) и биологическую эффективность действия (БЭ%) препаратов относительно контроля в каждом варианте опыта [14]. Учеты проводили в динамике через 10-14 суток, после первой и последующих обработок фунгицидами. Учет урожайности и анализ структуры урожая плодов (товарные, мелкие, больные) проводили в динамике весовым методом, начиная со второй половины августа.

Результаты исследований и их обсуждение

Скрининг активности набора фунгицидов нового поколения с разным составом и комбинацией действующих веществ, отличающихся спектром действия, позволил выделить наиболее перспективные препараты для защиты томата от болезней в условиях муссонного климата Приморья. Против фитофтороза – это фунгицид Орвего, а против альтернариоза – это фунги-

Таблица 1. Влияние фунгицидов на поражение листовой поверхности томата сорта Одиссей (ПООС, 2019-2020 годы)
Table 1. Effect of fungicides on damage to the leaf surface of tomato variety Odyssey (PООС, 2019-2020)

Вариант	Альтернариоз						Альтернариоз + фитофтороз		
	третья декада июля			вторая декада августа			третья декада августа		
	Р%	R%	БЭЗ	Р%	R%	БЭЗ	Р%	R%	БЭЗ
2019 год									
Контроль	70	20	-	98	30	-	100	95	-
Акробат МЦ – ст.	43	10	50	83	23	25	100	70	26
Орвего	40	10	50	100	25	17	100	73	24
Сигнум	40	10	50	58	15	50	100	70	26
Сигнум + Орвего	40	10	50	58	15	50	100	55	42
2020 год									
Контроль	85	20	-	100	40	-	100	98	-
Акробат МЦ – ст.	33	10	50	90	23	44	100	90	8
Орвего	73	18	13	100	30	25	100	93	5
Сигнум	18	5	75	35	10	75	100	75	23
Сигнум + Орвего	15	5	75	20	5	88	100	63	36

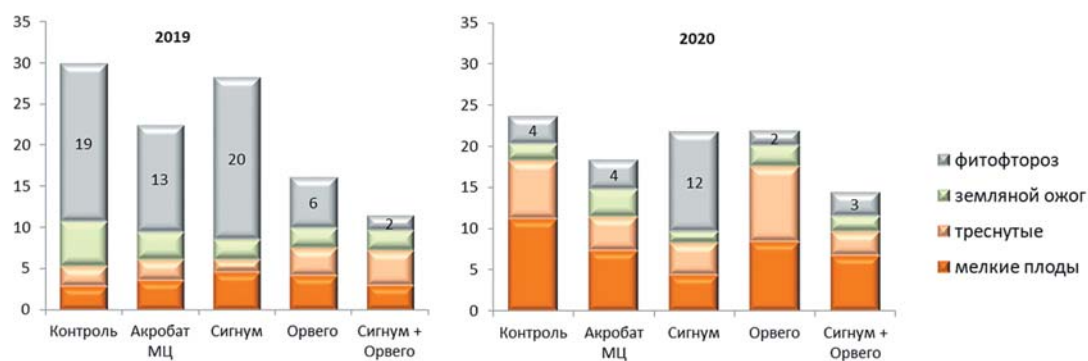


Рис. 2. Структура нетоварной части урожая томата сорта Одиссей (2019-2020 годы)

Fig. 2. Structure of the non-commercial part of the tomato harvest of the Odyssey variety (2019-2020)

цид Сигнум, биологическая эффективность которого по данным 2016-2018 годов оставила 79% и 65,1% после первой и третьей обработок соответственно, что способствовало сохранению урожая томата. На основании этого, в дальнейшие исследования был включен вариант с обработкой растений томата баковой смесью этих двух препаратов с целью повышения эффективности борьбы с комплексом болезней.

Фитопатологическая оценка показала, что защитное действие фунгицидов на поражение листовой поверхности растений томата альтернариозом, особенно при втором учете в середине августа, было выше в условиях 2020 года, чем в 2019 году, где распространенность и степень развития альтернариоза в контрольном варианте была несколько ниже (табл.1). При этом, биологическая эффективность баковой смеси двух фунгицидов Сигнум+Орвего в 2019 году была уровне препарата Сигнум (50%), что в два раза выше, чем эффективность препарата Акробат МЦ. В 2020 году БЭ баковой смеси была выше и составила 88% за счет снижения степени развития альтернариоза относительно контроля в восемь раз, стандарта - в четыре раза, -а по сравнению с препаратом Сигнум – в два раза.

Избыточные осадки при понижении температуры воздуха во второй-третьей декадах августа создали благоприятные условия для развития фитофтороза и в

конце августа листья томата практически полностью были поражены комплексом болезней. Лучше всего ботва сохранилась в варианте Сигнум+Орвего, где в 2019 году на фоне эпифитотии фитофтороза БЭ составила 42% и 36% в 2020 году при умеренном развитии этой болезни. При этом, синергизм защитного действия препаратов в баковой смеси отмечен и в отношении поражения плодов фитофторозом (рис.2). Применение одного препарата Сигнум не дало положительного результата, в отличие от препарата Орвего, который в год эпифитотии снизил долю пораженных фитофторозом плодов сорта Одиссей в три раза по сравнению с контролем и в два раза относительно стандарта. При обработке баковой смесью доля пораженных фитофторозом плодов в структуре урожая составила всего 2%, что, соответственно, было в девять и шесть раз ниже. В 2020 году процент пораженных фитофторозом плодов был сопоставим и во всех вариантах не превысил 4%, за исключением варианта с применением препарата Сигнум (12%).

Эффективное сдерживание развития альтернариоза в первой половине вегетации и фитофтороза в ее конце при обработке растений томата баковой смесью Сигнум+Орвего способствовало увеличению средней массы плода и урожайности, существенно снижая общую долю нетоварных плодов в структуре урожая (рис.2, табл.2).

Таблица 2. Влияние фунгицидов на массу товарного плода и урожайность сорта томата Одиссей (ПООС, 2019-2020 годы)
Table 2. Effect of fungicides on the mass of marketable fruit and the yield of the Odyssey tomato variety (2019-2020)

Вариант	Масса товарного плода		Урожайность				
	г	БЭ%	ранняя, т/га	общая		товарная	
				т/га	ХЭ%	т/га	ХЭ%
2019 год							
Контроль	55,6		3,8	20,8		13,5	
Акробат МЦ – ст.	58,5	5	6,7	27,6	33	20,2	50
Сигнум	58,7	6	3,0	24,4	17	16,9	25
Орвего	58,6	5	4,0	29,0	39	22,7	68
Сигнум + Орвего	58,7	6	7,5	33,4	61	28,8	113
НСР ₀₅	1,9		2,4	8,5		5,0	
2020год							
Контроль	49,4		1,8	19,8		14,2	
Акробат МЦ – ст.	53,7	9	2,2	24,5	24	19,4	37
Сигнум	54,9	11	2,4	27,9	41	21,4	51
Орвего	51,8	5	2,2	22,8	15	17,2	21
Сигнум + Орвего	54,6	11	2,7	31,4	59	26,4	86
НСР ₀₅	3,1		0,4	7,1		6,4	

В результате относительно контроля прибавка по ранней урожайности в зависимости от года составила 0,9-3,7 т/га, общей – 12,6-21,6 т/га и товарной – от 12,2 т/га в 2020 году до 15,3 т/га в 2019 году. Применении этих фунгицидов отдельно дало меньший положительный эффект, о чем свидетельствует расчет их хозяйственной эффективности по показателям урожайности. По общей и товарной урожайности на уровне или лучше стандарта Акробат МЦ в 2019 году сработал препарат Орвего (ХЭ-39% и 68%), а в 2020 году лучше себя проявил препарат Сигнум (ХЭ-41% и 51% соответственно). В варианте с применением их баковой смеси хозяйственная эффективность изменялась от 59% до 113% в зависимости от года и анализируемого признака (табл.2).

полевые испытания 2021 года был дополнительно включен новый сорт томата – Фитилёк, отличающийся от сорта Одиссей тем, что только после фазы завязывания 2-3 кисти происходит интенсивное формирование боковых побегов, нарастание листовой вегетативной массы и завязывания плодов. Этим можно объяснить более высокую эффективность фунгицидов на этом сорте по сравнению с сортом Одиссей в первые два учета и снижение их БЭ к концу вегетации. Погодные условия 2021 года оказались наиболее благоприятными для развития культуры томата в открытом грунте Приморского края и менее для развития болезней, особенно фитофтороза, симптомы которого на растениях отсутствовали вплоть до последнего сбора плодов. Распространенность альтернариоза к концу вегетации хотя и составила 100%,

Таблица 3. Экономическая эффективность применения фунгицидов и их смесей на сорте томата Одиссей (среднее за 2019-2020 годы)
Table 3. Economic efficiency of using fungicides and their mixtures on the Odyssey tomato variety (average for 2019-2020)

Показатель	Контроль	Акробат	Сигнум	Орвего	Сигнум+Орвего
Средняя урожайность, т/га	13,9	19,8	19,2	20,0	27,6
Производственные затраты, руб./га	450 000	471 500	494 900	473 000	483 800
Себестоимость, руб./кг	32,4	23,8	25,8	23,7	17,5
Цена реализации, руб./кг	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Выручка от реализации, руб./га	695 000	990 000	960 000	1 000 000	1 380 000
Чистый доход, руб./га	245 000	518 500	465 100	527 000	896 200
Уровень рентабельности, %	54	110	94	111	185

Расчет экономической эффективности показал, что наибольший чистый доход дает обработка растений томата баковой смесью Сигнум+Орвего за счет значительной прибавки товарной урожайности, вследствие чего окупаемость затрат в 1,7-3,6 раз была выше по сравнению с изучаемыми препаратами и контролем, в котором рентабельность производства томата сорта Одиссей в неблагоприятные годы составила 54% (табл.3).

Для более объективной оценки эффективности защитного действия баковой композиции Сигнум+Орвего в

как и в предыдущие годы, но интенсивность поражения листьев была ниже и степень развития в контроле составила 87% на фоне начала развития септориоза. В вариантах с использованием баковой смеси фунгицидов БЭ на сортах Одиссей и Фитилек соответственно составила 83% и 94% в конце июля, а в конце августа 31% и 28%, что существенно выше, чем у стандарта Акробат МЦ (табл.4).

Высокая урожайность (более 50 т/га) и товарность плодов томата в 2021 году связаны не только с благо-

Таблица 4. Влияние фунгицидов на поражение листовой поверхности двух сортов томата (ПООС, 2021 год)
Table 4. Effect of fungicides on damage to the leaf surface of two tomato varieties (2021)

Вариант	Альтерналиоз						Альтерналиоз + Септориоз		
	третья декада июля			вторая декада августа			третья декада августа		
	Р%	Р%	БЭ ³	Р%	Р%	БЭ ⁴	Р%	Р%	БЭ ⁶
сорт Одиссей									
Контроль	60	15,0	-	77,5	20,0	-	100	87,5	-
Акробат МЦ – ст.	17,5	5,0	66,7	35,0	10,0	50,0	100	80,0	8,6
Сигнум + Орвего	7,5	2,5	83,3	10,0	2,5	87,5	100	60,0	31,4
сорт Фитилек									
Контроль	35,8	8,8	-	77,5	20,0	-	100	80,0	-
Акробат МЦ – ст.	10	2,5	71,6	17,5	5,0	75,0	100	75,0	6,2
Сигнум + Орвего	2,5	0,5	94,3	5,0	1,2	94,0	100	57,0	28,1

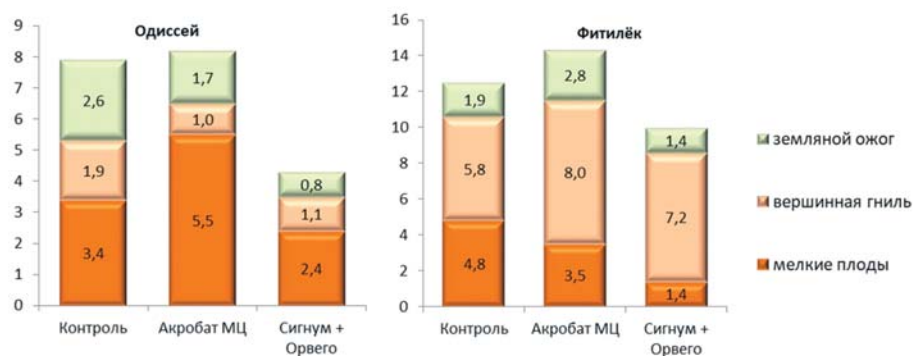


Рис. 3. Структура нетоварной части урожая томатов сорта Одиссей и Фитилек, 2021 год
Fig. 3. Structure of the non-commercial part of the harvest of tomatoes varieties Odyssey and Fitilek, 2021

Таблица 5. Влияние фунгицидов на массу товарного плода и урожайность плодов сортов томата Одиссей и Фитилек (ПООС, 2021 год)
Table 5. Effect of fungicides on the weight of marketable fruit and fruit yield of tomato varieties Odyssey and Fitilek (2021)

Вариант	Масса товарного плода		Урожайность, т/га				
	г	БЭ%	ранняя	общая	ХЭ%	товарная	ХЭ%
сорт Одиссей							
Контроль	52,5	-	2,8	58,2	-	50,8	-
Акробат МЦ	53,1	1,1	2,7	58,4	0	50,6	0
Сигнум + Орвего	53,2	1,3	2,3	65,3	12	60,6	19
НСР ₀₅	0,5		0,6	5,0		7,1	
сорт Фитилек							
Контроль	49,3	-	3,3	61,6	-	50,7	-
Акробат МЦ	51,2	4	2,4	63,3	3	49,8	-2
Сигнум + Орвего	52,9	7	2,9	76,1	23	65,5	29
НСР ₀₅	2,1		0,9	9,7		11,0	

приятными условиями года, но и с отсутствием поражения плодов фитофторозом (рис.3). Доля нетоварной части урожая у сорта Одиссей в контроле составила около 8%, а у сорта Фитилек – 12%. В отличие от фунгицида Акробат МЦ, обработки растений баковой смесью Сигнум+Орвего способствовали снижению процента мелких плодов и плодов с признаками земляного ожога в структуре урожая (в 1,5-3 раза в зависимости от сорта). У сорта Одиссей также уменьшился процент плодов с симптомами вершинной гнили.

Баковая смесь Сигнум+Орвего оказала благотворное влияние на увеличение массы плода и более существенно на сорте Фитилек (БЭ-7%). По общей и товарной урожайности наибольшая прибавка также была на сорте Фитилек, где хозяйственная эффективность соответственно достигла 23% и 29%. Такой

показатель, как ранняя урожайность не был превышен по сравнению с контролем ни на одном сорте и находился в пределах ошибки опыта (табл.5).

По данным таблицы 6 следует, что в контрольном варианте рентабельность производства томата в благоприятный 2021 год почти в 10 раз превысила таковую в предыдущие два года. Это косвенно подтверждает высокую вредоносность альтернариоза и фитофтороза для этой культуры в условиях Приморского края. Относительно контроля, обработка растений баковой смесью Сигнум+Орвего повысила рентабельность на 70% на сорте Одиссей и на 101% на сорте Фитилек, в отличие от стандарта Акробат МЦ, применение которого в условиях данного года не имело значимого экономического эффекта.

Таблица 6. Экономическая эффективность применения фунгицидов и их смесей на сортах томата Одиссей и Фитилек (2021 год)
Table 6. Economic efficiency of using fungicides and their mixtures on tomato varieties Odyssey and Fitilek (2021)

Показатель	Одиссей			Фитилек		
	Контроль	Акробат	Сигнум + Орвего	Контроль	Акробат	Сигнум + Орвего
Урожайность, т/га	50,8	50,6	60,6	50,7	49,8	65,5
Производственные затраты, руб./га	495 788	520 540	530 490	495 000	517 500	549 240
Себестоимость, руб./кг	9,76	10,3	8,75	9,76	10,4	8,4
Цена реализации, руб./кг	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Выручка от реализации, руб./га	3 048 000	3 036 000	3 636 000	3 042 000	2 988 000	3 930 000
Чистый доход, руб./га	2 552 212	2 515 460	3 105 510	2 547 000	2 470 500	3 380 076
Уровень рентабельности, %	514	483	585	514	477	615

Заключение

Развитие альтернариоза, начиная с появления первых признаков этого заболевания на листовой поверхности, в первой половине вегетации эффективно сдерживает фунгицид Сигнум, способствуя сохранению рабочей листовой поверхности и повышению продуктивности растений. Однако, начиная со второй декады августа, когда к альтернариозу присоединяются другие фитопатогены, особенно фитофтороз, его эффективность существенно снижается. Препарат Орвего, проявляя большую микотоксичность в отношении возбудителей фитофтороза, слабо работает в отношении грибов рода *Alternaria*. Введение этих двух фунгицидов в баковую смесь приводит к повышению биологической и экономической эффективности защитных мероприятий в борьбе с этими болезнями томата, по сравнению со стандартом – фунгицидом Акробат МЦ.

Совместная обработка Сигнум+Орвего, снижая интенсивность развития болезней и долю нетоварной части урожая, оказывает благотворное влияние на массу товарного плода и способствует более полной реализации продуктивного потенциала сортов Одиссей и Фитилек. При этом в неблагоприятные годы для развития томата, на фоне эпифитотий, рентабельность применения баковой смеси превысила контроль в 3 раза и в 1,2 раза в благоприятные годы. То есть, разработанная схема применения фунгицидов Сигнум и Орвего в виде баковой смеси может быть рекомендована для включения в технологию товарного производства плодов томата, а также может представлять интерес с точки зрения семеноводства местных сортов в условиях муссонного климата Приморского края.

Литература

1. Авдеев А.Ю. Селекция томата для разных целей использования, классификации сортов и технологии выращивания в Нижнем Поволжье. Астрахань: Ланихин П.В.; 2012. С.8.
2. Брежнев Е.В. Томаты. Л.: «Колос»; 1964. С.106.
3. Кондратьева И.Ю. Частная селекция томата. М:ВНИИССОК; 2010. ISBN 978-5-901695-38-8. EDN QLBHTZ.
4. Сакара Н.А., Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф., Сухомиров Г.И., Тарасова Т.С., Ознобихин В.И. Основные проблемы дальневосточного овощеводства. *Овощи России*. 2020;(6):3-9. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-3-9>. EDN VDWOQQ.
5. Золфагари А., Антоненко В.В., Зайцев Д.В., Игнатенкова А.А., Мамонов А.Г., Пенкин Р.В., Поштаренко А.Ю., Смирнов А.Н. Фитофтороз и альтернариоз картофеля и томата при аномальной погоде условий Московской области. *Защита и карантин растений*. 2011;(12):40-42. EDN OJISHN.
6. Rodrigues T.T., Berbee M.L., Simmons E.G., Cardoso C.R., Reis A., Maffia L.A., Mizubuti E.S.G. First report of *Alternaria tomatophila* and *A. grandis* causing early blight on tomato and potato in Brazil. *New Dis. Reports*. 2010;(22):28.
7. Lonsdale D., Gibbs J.N. Effects of climate change on fungal diseases of trees. *fungi and Environmental Ghange*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 1019 p.
8. Золотарева Е.В. Вредители и болезни овощных культур Дальнего Востока. Хабаровск. 2006. 128 с.
9. Ванюшкина И.А., Кушнарева Н.П. Защита томата от болезней при выращивании в открытом грунте в условиях Приморского края. *Овощи России*. 2020;(2):91-94. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-2-91-94>. EDN RLBZXR.
10. Смирнов А.Н., Кузнецов С.А., Приходько Е.С. Встречаемость и вредность альтернариоза на картофеле и других сельскохозяйственных культурах в некоторых регионах России. *Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза: Монография под ред. Вацлава Романюка: Agencja Wydawniczo-Poligraficzna "GIMPO"*, 2014. С. 299-301. EDN CTRDWP.
11. Синиченко Н.А., Ванюшкина И.А., Хихлуха Е.А. Сорт томата Фитилек – новинка дальневосточной селекции. Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока: Материалы V Международной научно-практической конференции. В 3-х частях, Уссурийск: Приморская государственная сельскохозяйственная академия; 2021. С.200-205. EDN AIVFLG.
12. Орлина А.С., Ганнибал Ф.Б., Левитин М.М. Видовое разнообразие, биологические особенности и география грибов рода *Alternaria*, ассоциированных с растениями семейства Solanaceae. *Микология и фитопатология*. 2010;44(2):150-159. EDN OJARBN.
13. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. Россельхозакадем, ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства. М: 2011. 650 с.
14. Хохряков М.К., Потлайчук В.И., Семенов А.Я., Элбакян М.А. Определитель болезней сельскохозяйственных культур. Л.: «Колос». Литер.отд-ние; 1984. 30 с.

References

1. Avdeev A.Yu. Tomato selection for different purposes of use, classification of varieties and cultivation technology in the Lower Volga region. Astrakhan: Lanikhin P.V.; 2012. P.8. (In Russ.)
2. Brezhnev E.V. Tomatoes. L.: "Spike"; 1964. P.106. (In Russ.)
3. Kondratyeva I.Yu. Private selection of tomatoes. M., 2010. ISBN 978-5-901695-38-8. EDN QLBHTZ. (In Russ.)
4. Sakara N.A., Soldatenko A.V., Pivovarov V.F., Sukhomirov G.I., Tarasova T.S., Oznobikhin V.I. Main problems of Far Eastern vegetable growing. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(6):3-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-3-9>, EDN VDWOQQ.
5. Zolfagari A., Antonenko V.V., Zaitsev D.V. Late and early blight of potato and tomato under the abnormal weather conditions of Moscow region. *Plant protection and quarantine*. 2011;(12):40-42. EDN OJISHN. (In Russ.)
6. Rodrigues T.T., Berbee M.L., Simmons E.G., Cardoso C.R., Reis A., Maffia L.A., Mizubuti E.S.G. First report of *Alternaria tomatophila* and *A. grandis* causing early blight on tomato and potato in Brazil. *New Dis. Reports*. 2010;(22):28.
7. Lonsdale D., Gibbs J.N. Effects of climate change on fungal diseases of trees. *fungi and Environmental Ghange*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 1019 p.
8. Zolotareva E.V. Pests and diseases of vegetable crops in the Far East. Khabarovsk. 2006. 128 p. (In Russ.)
9. Vanyushkina I.A., Kushnareva N.P. Protection from diseases of tomato cultivation in the open ground in the Primorsky Territory. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(2):91-94. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-2-91-94>. EDN RLBZXR.
10. Smirnov A.N., Kuznetsov S.A., Prikhodko E.S. Occurrence and harmfulness of Alternaria blight on potatoes and other crops in some regions of Russia. *Problems of intensification of livestock farming taking into account environmental protection and production of alternative energy sources, including biogas: Monograph ed. Václav Romanyuk: Agencja Wydawniczo-Poligraficzna "GIMPO"*, 2014. P. 299-301. EDN CTRDWP. (In Russ.)
11. Sinichenko N.A., Vanyushkina I.A., Hikhluha E.A. The tomato variety Wicklek is a novelty of the Far Eastern selection. The role of agricultural science in the development of forestry and agriculture in the Far East: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. In 3 parts, Ussuriysk: Primorsky State Agricultural Academy; 2021. P.200-205. EDN AIVFLG. (In Russ.)
12. Orina A.S., Gannibal Ph.B., Levitin M.M. Specific diversity, biological characters and geography of *Alternaria* fungi associated with Solanaceous plants. *Mycology and phytopathology*. 2010;44(2):150-159. EDN OJARBN. (In Russ.)
13. Litvinov S.S. Methodology of field experiment in vegetable growing. M: 2011. 650 p. (In Russ.)
14. Khokhryakov M.K., Potlaichuk V.I., Semenov A.Ya., Elbakyan M.A. Key to diseases of agricultural crops. L., 1984. 30 p. (In Russ.)

Об авторах:

Ирина Алексеевна Ванюшкина – старший научный сотрудник сектора защиты растений, SPIN-код автора 5195-8660, <https://orcid.org/0009-0009-5379-2981>, vanuschckina.i@yandex.ru
Наталья Александровна Синиченко – старший научный сотрудник сектора селекции и семеноводства овощных культур, SPIN-код автора 1046-1750, <https://orcid.org/0009-0007-0412-4835>, автор для переписки, natsinichenko@mail.ru
Елена Георгиевна Козарь – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-1319-5631>, kozar_eg@mail.ru

About the Authors:

Irina A. Vanyushkina – Senior Researcher, Plant Protection Sector, Author SPIN Code 5195-8660, <https://orcid.org/0009-0009-5379-2981>, vanuschckina.i@yandex.ru
Natalya A. Sinichenko – Senior Researcher of the Sector of Breeding and Seed Production of Vegetable Crops, Author SPIN Code 1046-1750, <https://orcid.org/0009-0007-0412-4835>, Correspondence Author, natsinichenko@mail.ru
Elena G. Kozar – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1319-5631>, kozar_eg@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-108-116>
УДК 633.11:631.811.98:631.67(213.5)

Nilofar Maheri ^{1*}, Tayyeb Sakinejad ¹,
Adel Modhej ², Mohammad Dadnia ¹,
Seyed Marashi ²

¹ Islamic Azad University, Ahvaz Branch
Golestan Boulevard, Farhang Shahr Street, Postal
code 61349-37333, PO Box 1915, Ahvaz, Iran

² Islamic Azad University, Shoushtar Branch
University Boulevard, postal code 6451761117,
Shushtar, Iran

*Correspondence Author: eshomeli@gmail.com

Acknowledgments: This study is a part of a doctoral thesis that was completed with the help of technical and support staff in the Department of Agriculture, Islamic Azad University of Ahvaz, Iran, and therefore they all deserve to be thanked. Also, it is grateful to all agricultural, laboratory and library divisions who helped during the implementation of the thesis.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, writing the text of the article and forming conclusions.

For citations: Maheri N., Sakinejad T., Modhej A., Dadnia M., Marashi S. The effect of growth regulators and irrigation on remobilization and grain filling of bread wheat in tropical climatic conditions. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):108-116. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-108-116>

Received: 06.09.2023

Accepted for publication: 24.09.2023

Published: 04.12.2023

Н. Махери ^{1*}, Т. Сакинежад ¹, А. Модхей ²,
М. Дадния ¹, С. Мараш ²

¹ Исламский университет Азад,
филиал в Ахвазе
Golestan Boulevard, Farhang Shahr Street, Postal
code 61349-37333, PO Box 1915, Ahvaz, Iran

² Исламский университет Азад,
филиал Шуштар
University Boulevard, postal code 6451761117,
Shushtar, Iran

*Автор для переписки: eshomeli@gmail.com

Благодарности. Это исследование является частью докторской диссертации, которая была завершена с помощью технического и вспомогательного персонала Департамента сельского хозяйства Исламского университета Азад в Ахвазе, Иран, и поэтому все они заслуживают благодарности. Также выражается благодарность всем сельскохозяйственным, лабораторным и библиотечным подразделениям, оказавшим помощь при выполнении диссертационной работы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в анализе материалов, написании текста статьи и формировании выводов.

Для цитирования: Maheri N., Sakinejad T., Modhej A., Dadnia M., Marashi S. The effect of growth regulators and irrigation on remobilization and grain filling of bread wheat in tropical climatic conditions. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):108-116. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-108-116>

Поступила в редакцию: 06.09.2023

Принята к печати: 24.09.2023

Опубликована: 04.12.2023

The effect of growth regulators and irrigation on remobilization and grain filling of bread wheat in tropical climatic conditions



ABSTRACT

To study the remobilization rate affected by growth regulators in wheat a field experiment was carried out in the south of Iran over 2017-2019 with a split-split plot design and three iterations in completely randomized blocks. The main plots were two irrigation regimes (full irrigation and irrigation interruption at the grain-filling stage), two wheat cultivars (Chamran 2 and Durum Karkheh cv.s) were as sub plots, and four growth regulators (control (no growth regulator), salicylic acid, jasmonic acid, and cytokinin) placed in sub-sub plots. Results revealed the significant impact of the triple interaction on grain yield. The highest grain yield (4803 kg/ha) was observed for Chamran 2 cv. treated with complete irrigation and salicylic acid. Although grain yield declined by 15.5% in the Karkheh cv. with irrigation interruption at the grain-filling stage and non-administration of growth regulators, treatment with salicylic acid managed to attenuate the adverse impact of drought stress in grain yield. The highest current photosynthesis and its contribution were observed in cultivars treated with complete irrigation. Moreover, irrigation regimen and growth regulators each had significant impacts on proline, catalase enzyme, and stomatal conductance. Overall, results suggested that using salicylic acid in Chamran 2 cv. would be advisable to increase growth and grain yield and reduce decline under stress.

KEYWORDS:

Wheat; catalase; cytokinin; proline; salicylic acid

Изучение влияния регуляторов роста и орошения на ремобилизацию и налив зерна мягкой пшеницы в условиях тропического климата

РЕЗЮМЕ

Чтобы изучить скорость ремобилизации пшеницы, под влиянием регуляторов роста, в Южном Иране в 2017-2019 годах был проведён полевой эксперимент с разделением и тройным циклом в полностью рандомизированных кварталах. Основные участки – два режима орошения (регулярное орошение и перерыв в орошении на стадии созревания зерна), два сорта пшеницы (Chamran 2 и Durum Karkheh) находившиеся на дополнительных участках, и четыре варианта с регуляторами роста (контроль (отсутствие регулятора роста), салициловая кислота, жасмоновая кислота и цитокинин), помещённые в подподраздельные участки. Результаты показали значительное влияние трёх факторов на урожайность зерна. Самая высокая урожайность зерна (4803 кг/га) отмечена у сорта Chamran 2 при полном орошении и с обработкой салициловой кислотой. При том, что урожайность зерна сорта Durum Karkheh снизилась на 15,5%. при прекращении орошения на стадии пополнения зерна и отсутствия применения регуляторов роста обработка салициловой кислотой позволила ослабить негативное влияние давления засухи на урожайность зерна. Наибольший фотосинтез и его влияние наблюдались при полном орошении. Более того, режим регулярного орошения и регуляторы роста оказали значительное влияние на пролин, фермент каталазу и устьичную проводимость. В итоге результаты показали, что использование салициловой кислоты на сорте Chamran 2 позволяет увеличить рост и урожайность зерна и снизить потери под влиянием стрессовых условий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

пшеница; каталаза; цитокинин; пролин; салициловая кислота

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is among the most essential crops worldwide with the largest under-cultivation area at 221 million hectares (and total production of 766 million tons) in 2021. The area under wheat cultivation and its production were 6.70 million hectares and 16.75 million tons, respectively, in the same year in Iran [36]. A total of 20% of the calories consumed by the world population is estimated to be supplied by wheat, which is cultivated in 14.6% of all agricultural land worldwide annually [36]. Wheat is cultivated in winter and early spring in Iran. Water availability to plants declines as the temperature rises from mid-spring, which aligns with wheat's growth period (pollination and grain filling) [23]. Drought and water shortage are thus among the most crucial factors limiting wheat production in arid and semi-arid areas [41]. While cereal breeding research in Iran has chiefly been focused on introducing high-yield crops in optimal irrigation conditions over the past decades, the confined wheat farm irrigation –specifically at the end of the season- has placed a greater accentuation on the identification and introduction of cultivars yielding a favorable yield with a maximum of two irrigation turns in spring following spring precipitations [34]. The fact that the largest part of Iran's area is considered among arid and semi-arid regions indicates that drought is among the most crucial abiotic stresses in the country [37]. Plants need mechanisms to identify and respond to stresses since they cannot escape them. Osmotic regulation is one of such mechanism. Playing a prominent role in the osmotic regulation inside the cell, proline is among the amino acids involved in osmotic regulation [33]. Cereal grain yield depends on the three factors of current photosynthesis, stored assimilate transfer to grains before flowering, assimilates stored temporarily in the stem following flowering [21]. Researchers argue that plants increase dry matter transfer to grains as they suffer stresses due to moisture and nutrient scarcity to compensate the resulting reduced photosynthesis [7]. Limited water content in soil increases the dependence of crop yield on dry matter redistribution processes at the grain-filling stage due to reduced leave area and, consequently, reduced current photosynthesis [16]. Growth regulators such as salicylic acid, jasmonic acid, and cytokinin can help prevent the adverse impacts of drought stress on plants under drought conditions [19]. Salicylic acid (orthohydroxybenzoic acid) is a water-soluble phenolic compound, an antioxidant, and one of the plant hormones closely involved in the plant's response to abiotic stresses including drought [13, 26]. Jasmonates are among the newest growth regulators reducing environmental stresses in plants. Jasmonic acid has been reported to have protective effects against drought stress through antioxidant activity, altering proteins, and malondialdehyde [22]. Cytokinin is another growth-regulating hormone with favorable impacts on plant survival under abiotic stresses [39]. Cytokinin plays a significant part in growth regulation and photosynthesis system stability during drought and moderates many of the physiological activities that drought stress induces [40]. Sedaqat and Emam [27] reported that interrupting irrigation reduced grain yield significantly compared to conventional irrigation. They also suggested that although irrigation interruption reduced yield and its components, spraying growth regulators made up for some of the reduced yields due to drought stress.

Given the prominent role of growth regulators in attenuating the impacts of drought stress in plants, the present study seeks to examine the influence of growth regulators on the transmission rate, physiological traits, and grain yield in wheat cultivars in response to growth regulators and irrigation regimens.

Material and methods

Experimental design, treatments, and crop management

The present study was performed on a field in Ahwaz situated in the southwest of Iran (31°20'52" N. 48°40'31" E.; 22.5m above sea level) during 2017-2019. Tables 1 and 2 demonstrate the average meteorological indices and soil characteristics of the research site. The study was carried out on wheat cultivated in split-split fields in the form of completely randomized blocks with three irrigations. The primary irrigation regimen factor was investigated in the two levels of irrigation until the end of the season and irrigation interruption at the grain-filling stage (69th Zadoks stage at March 19th to April 17th in the first year and March 17th to April 19th in the second year). Wheat cultivars included Chamran 2 and Durum Karkheh, and growth regulators were examined in the four groups of no growth regulator (control), salicylic acid, jasmonic acid, and cytokinin placed in sub-sub plots. A total of 96 plots were tested. Wheat grains used in the present study included Chamran 2 and Durum Karkheh cultivars obtained from Khuzestan Agriculture Research Center. Chamran 2 is a high-yield cultivar resistant to late-season heat tolerance up to 38°C that matures quickly and is suitable for cultivation in rain irrigation systems thanks to its thicker stems. Chamran 2 wheat line is resistant to brown and strip rust, sees shattering, and dormancy. Durum Karkheh cv is also suitable for cultivation in the hot and arid areas of the south of the country with a mean shrub height of approximately 9 cm and resistance to strip rust, powdery mildew, and Karnal bunt. Each plot contained eight five-meter lines placed 20 cm from one another. The main plots and sub-plots had distances of 1.5 and one meter, respectively. Sub-sub plots had a distance of half a meter, and iterations were placed two meters away from one another. Following land preparation through pre-planting, potassium and phosphorus fertilizers from a triple superphosphate source containing 100 kg pure phosphorus, potassium fertilizer at the 100 kg/Ha potassium sulfate rate, and nitrogen fertilizer from a urea source (46%) at a rate of 150 kg/Ha were distributed in the farm to provide the necessary nutrient, half of which was spread with a disc and the other half of nitrogen was distributed at the end of the tillering stage and beginning of stem growth. Seeds were planted in November 6th, 2017, and 2018. The seeds were manually prepared and planted regularly at a density of 400 seeds/m². Planting strips were then covered with 4 cm of soil. The first irrigation was performed after planting. Drought stress was applied at the seed-filling stage per research design. Treatment with 0.5mmol jasmonic acid, 1mmol salicylic acid, and 50µM cytokinin was performed at the two stages of stem growth and flag leaf growth (30th and 41st Zadoks stages, respectively) using a 20l spray pump in the early morning in the absence of wind. . To increase leaves adhesion cytokinin Tween 20 was administered to plants at the 0.5% volume ratio [15]. Weeds from the Gramine family that started to grow during crop growth were manually removed, and the farm remained intact in terms of pest attacks and diseases.

Table 1. Average biennial meteorological parameters of the tested site
Таблица 1. Средние двухлетние метеорологические параметры полигона

Month	Rainfall (mm)	Average minimum temperature (°C)	Average maximum temperature (°C)	Average minimum relative humidity (%)	Average maximum relative humidity (%)
August	0.0	32.9	48.1	14.3	49.1
September	0.0	26.4	42.5	13.8	43.8
October	0.0	21.9	38.4	11.42	35.12
November	12.5	17.6	32.1	10.3	28.8
December	25.0	8.5	24.3	8.1	26.1
January	29.0	8.1	21.2	7.9	25.4
February	28.5	12.1	22.5	8.3	26.0
March	14.5	14.4	30.7	13.3	31.0
April	10.0	19.3	37.6	14.5	28.0

Table 2. Soil characteristics of the tested field
Таблица 2. Характеристики почвы опытного поля

Crop year	Soil depth	Soil Texture	pH	EC	Organic Matter	K	P	N
	(cm)			(ds.m ⁻¹)	(%)	(mg.kg)		(%)
2016-17	0-30	Sandy Loam	7.51	3.92	0.88	174	10.35	0.42
2017-18	0-30	Sandy Loam	7.3	3.71	0.91	180.1	11	0.38

Measuring traits

Crops were harvested from the four middle strips with an area of around two meters square after excluding half a meter from either end of each plot and the first and last rows of the plot to examine grain yield. Grain was separated from straw after threshing, and kg/Ha grain yield was calculated [21].

Catalase activity

Fresh leaf samples were obtained from the plants, which were frozen in liquid nitrogen and stored at -80°C until biochemical analysis to examine the catalase antioxidant enzyme's activity in the full flowering stage (59thZadoks stage). For this purpose, 900µl of the reaction solution (containing 10 mM hydrogen peroxide solution in PVP-free phosphate-buffered saline and 100µl enzyme extract) was added to hydrogen peroxide (H₂O₂) resulting in immediate H₂O₂ decomposition due to catalase, which was measured using a spectrophotometer (Uvi Light XS 5 SECOMAM model) to calculate enzyme activity [10].

Proline

The proline content accumulated in the plant at the flowering stage was calculated in mg/g f.w. at the 520 nm wavelength using a spectrophotometer based on the proline content standard curve at the flowering stage [9].

Stomatal conductance

A Leaf Prometer (Decagon Devices INV. Version 1.06) was used to calculate stomatal conductance (by putting the conductance of a leaf in series with two known conductance elements, and comparing the humidity meas-

urements between them). It displayed information in mmol/m²s (millimoles per meter squared seconds) unit.

The amount and contribution of remobilization and the amount and contribution of current photosynthesis were also calculated from the following formulas [42]:

Dry weight of vegetative organs in stage – maximum dry matter yield of vegetative organs (g/m²) = amount of dry matter in physiological remobilization (g/m²).

Contribution of remobilization process in grain yield (%) = Dry matter weight in remobilization process (g/m²)/grain yield (g/m²) x 100.

Weight of dry matter in remobilization process (g/m²) - grain yield (g/m²) = Weight of dry matter resulting from current photosynthesis (g/m²).

Contribution of remobilization in grain yield-100=contribution of current photosynthesis in grain yield.

Statistical analysis

To perform complex variance analysis, a split-split statistical design was used as completely randomized blocks after performing the Bartlett test. Variance analysis was performed in SAS (V.8), and Duncan's test was conducted to compare means at the 5% significance level. The resulting tables were ultimately drawn in Word 2007.

Results and Discussion

Grain yield

We observed grain yield to be under a significant influence of year, irrigation regimen treatments, wheat cultivars, and growth regulators, the mutual impact of irrigation regimen and growth regulators, and the interaction between irrigation regimen, wheat cultivars, and growth regulators (Table 3).

Table 3. Composite variance analysis of studied traits in wheat in two years of experiment (first series)
Таблица 3. Комплексный дисперсионный анализ изучаемых признаков пшеницы за два года опыта (первая вариация)

S.O.V	Df	Seed yield	Catalase	Proline	Stomatal conductance
Year (Y)	1	131.2*	1.04 ^{ns}	4.07*	0.19 ^{ns}
(Year)*Replication	4	9.17	3.61	0.27	2.2
Irrigation regime (I)	1	409251 *	7501.2 **	603*	2248.1 *
Y*I	1	1563.2 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.58 ^{ns}	4.78 ^{ns}
Main plots error	4	18044	139.5	2.04	30.62
Varieties (V)	1	316450 *	3.1 ^{ns}	425.2 **	0.17 ^{ns}
Y*V	1	269.9 ^{ns}	10.66 ^{ns}	0.09 ^{ns}	1.44 ^{ns}
I*V	1	93 ^{ns}	15.4 ^{ns}	*198.2	0.05 ^{ns}
Y*V*I	1	101.5 ^{ns}	28.75 ^{ns}	0.08 ^{ns}	1.02 ^{ns}
Sub-plots error	8	18039.42	102.18	1.22	18
Growth regulators (G)	3	267531 **	5129.76 **	267.01 **	0.03 ^{ns}
Y*G	3	714.2 ^{ns}	16.44 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.17 ^{ns}
I*G	3	825709 **	6008.2 **	0.031 ^{ns}	0.12 ^{ns}
Y*I*G	3	810.6 ^{ns}	30.12 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.67 ^{ns}
V*G	3	282.2 ^{ns}	2.65 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1.75 ^{ns}
Y*V*G	3	500.4 ^{ns}	45.01 ^{ns}	0.07 ^{ns}	2.32 ^{ns}
I*V*G	3	109631.5 **	20.36 ^{ns}	0.003 ^{ns}	3.14 ^{ns}
Y*I*V*G	3	628.4 ^{ns}	52.05 ^{ns}	0.01 ^{ns}	5.32 ^{ns}
Sub sub plots error	48	6500	85.09	0.12	16.08
Coefficient of variation (%)	-	18.13	8.53	17.40	6

^{ns}, * and **: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

Results revealed that the highest yield was observed in 2017 (at an average of 4,676 kg/Ha) due to yield components in this year, which increased yield by 10% compared to 2018 (Table 4). The reason for this yield difference appears to be the higher precipitation rate in the first year of the study.

The highest grain yield (4,803 kg/Ha) was observed under complete irrigation until the end of the season and

treatment with salicylic acid in the Chamran 2 cv (not significantly different from complete irrigation until the end of season and treatment with jasmonic acid in Chamran 2), which was significantly higher (by 15.5%) than plants treated with interrupted irrigation at the grain-filling stage and no growth regulator (Table 5).

The reduced grain yield due to drought stress could stem from pollen grain sterility due to the stress, abnormal

Table 4. Mean comparison of traits under year, irrigation regime, cultivars, and growth regulators
Таблица 4. Сравнение средних показателей по годам, режиму орошения, сортам и регуляторам роста

Treatment	Seed yield (kg.ha ⁻¹)	Catalase (Unit.mg ⁻¹ Protein)	Proline	Stomatal conductance	Remobilization rate (g.m ⁻²)	Remobilization contribution (%)	Current photosynthesis (g.m ⁻²)	Current photosynthesis contribution (%)
Year								
2017	4676 a	114.1°	431.02 a	36.01°	109.2 a	23.35 a	363.42 a	76.65 b
2018	4215 b	103.04°	424.29 a	32.11 b	91.1 b	21.63 b	325.4 b	78.37 a
Irrigation regime								
Full irrigation	4903 a	90.63 b	430.01 a	37.11 a	85.24 b	17.37 b	405.09 a	82.63 a
Stop irrigation in the stage of seed filling	3987 b	126.52 a	425.3 a	31.02 b	115.07 a	28.85 a	283.67 b	71.15 b
Varieties								
Chamran 2	4728 a	109.26 a	442.12 a	35.1 a	108.8 a	23.01 a	366.3 a	77 ab
Karkheh	4163.2 b	107.74 a	413.18 b	33.03 b	91.51 b	21.98 b	324.61 b	78.02 a
growth regulators								
Control	3800 c	89.08 c	402.58 c	30 c	112.01 a	29.47 a	268.01 c	70.53°
Jasmonic acid	4761 ab	115.03 ab	430.03 b	36.21 a	100.15 b	21.03 b	375.97 ab	78.97°
Salicylic acid	4880 a	117.16 a	460.2 a	38.03 a	93.4 c	19.13 c	394.61 a	80.87 a
Cytokinin	4342 b	113.1 b	417.8 bc	32.01 b	95.2 c	21.92 b	339.03 b	78.08 a

Different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

Table 5. Mean comparison of traits under the interaction of irrigation regime×varieties×growth regulators
Таблица 5. Среднее сравнение признаков при взаимодействии режима орошения, сорта, регуляторов роста

Irrigation regime	Varieties	Growth regulators	Seed yield (kg.ha-1)
Full irrigation	Chamran 2	Control	4552 bc
		Jasmonic acid	4765 a
		Salicylic acid	4803 a
		Cytokinin	4724 ab
	Karkheh	Control	4512 c
		Jasmonic acid	4603.1 b
		Salicylic acid	4689.7 ab
		Cytokinin	4584 b
Stop irrigation in the stage of seed filling	Chamran 2	Control	4101 ef
		Jasmonic acid	4360.5 d
		Salicylic acid	4402 d
		Cytokinin	4301 de
	Karkheh	Control	4065 f
		Jasmonic acid	4237 de
		Salicylic acid	4252 de
		Cytokinin	4194.1 e

Different letters in each column indicate a significant difference by Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

photosynthesis, and reduced material transfer to grain, leading to grain weight and yield decline [11]. The present study found that growth regulators enhanced grain yield under complete irrigation and interrupted irrigation at the grain-filling stage by 15.5 and 7.5%, respectively. Treatment with salicylic acid under interrupted irrigation enhanced yield under both normal irrigation and drought stress conditions by increasing growth and leaf area [25]. In this regard, Sadaqat and Emam [27] suggested that although interrupting irrigation reduced yield and its components, spraying growth regulators made up for a portion of the reduced yield due to the drought stress, which is consistent with our results. On the other hand, the results of the present study revealed that the highest grain yield was observed in the Chamran 2 cv. This finding indicated that Chamran 2 cv had a higher capability in terms of grain production and consequently, yield components compared to Kharkheh, resulting in better yield and potential to utilize available resources and conditions. As Shakirova and Bezrukova [31] reported, salicylic acid enhanced plant growth and photosynthesis under stress conditions through anti-stress reactions including increased proline accumulation, resulting in improved growth after stress relief. Results of other studies also pointed out the positive

impact of growth regulators on grain yield under interrupted irrigation [32]. Results of stepwise linear multivariate regression (Table 6) indicated that grain yield (Y) was a function of number of seeds per spike (X1), weight per thousand spikes (X2), and number of spikes per meter square (X3). These traits were entered into the stepwise regression model and justified about 98.8% of variations. The number of seeds per spike, weight per thousand spikes, and number of spikes per meter square were revealed to be remarkably significant in this model. The number of seeds per spike and the number of spikes per meter square had the greatest and smallest impact on grain yield, respectively. The mathematical regression model is as follows:

$$(X3)0.51+(X2)0.67+(X1)0.88+715.12=Y$$

Catalase enzyme activity

As the table indicating the results of complex variance analysis (Table 3) demonstrates, irrigation regimen and growth regulators and the interaction between them left a significant impact on catalase activity. Among the studied cultivars, Chamran 2 had the highest catalase activity at 109.26 mmol decomposed peroxide per minute per mil-

Table 6. Step-by-step regression steps for grain yield as a function variable and other traits as an independent variable
Таблица 6. Пошаговая регрессии для урожайности зерна как функциональной переменной и других признаков как независимой переменной

Variable added to the model	Step-by-step regression step		
	3	2	1
Constant number	482.05	591.22	715.12
Grains/Spikes	0.42 **	0.73 **	0.88 **
1000-grain weight		0.54 **	0.67 **
Spikes/m ²			0.51 **
Explanatory coefficient	67.38	70.23	98.8

The step-by-step regression coefficients in the last step are significant at the probability levels of 1% (step 1) and 5% (step 2).

ligram protein, while Karkheh had the lowest values figures; however, the differences were not statistically significant (Figure 1).

Moreover, examination of the mutual impact of irrigation regimen and growth regulators revealed that the highest catalase activity was observed at the grain-filling stage under treatment with jasmonic and salicylic acid, indicating a growth improvement of 25 and 23%, respectively, compared to complete irrigation and no growth regulator administration (Table 5). Catalase which catalyze decom-

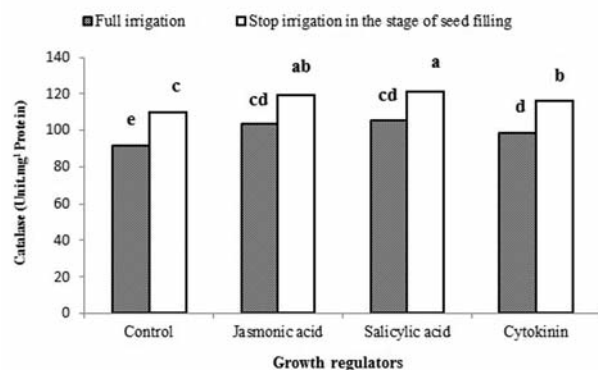


Fig. 1. Relationship between irrigation regime and growth regulators and catalase activity
Рис. 1. Связь режима орошения с регуляторами роста и активностью каталазы

position of hydrogen peroxide to water and molecular oxygen, is important members of the antioxidant defense system in plant cells and is activated due to high hydrogen peroxide contents in the internal environment [24]. In the stress conditions such as drought, hydrogen peroxide accumulates (oxidative stress) and reduces the activity of peroxidase enzyme (one of the important enzymes involved in physiological processes), so antioxidants such as catalase are activated to protect peroxidase. [5]. Salicylic acid appears to regulate antioxidant compounds' synthesis under environmental stress, which enhances plant resistance against drought stress [14, 17]. In this regard, Agarwal et al. [1] reported that spraying 1mM of salicylic acid on wheat under drought stress increased catalase and superoxide dismutase enzymes' activity. Moreover, Ananieva et al. [2] reported that treatment with salicylic acid alone increased catalase activity by 17% compared to the control treatment, which resonates with our results.

Proline

Results of complex variance analysis indicated that proline was significantly affected by year, irrigation regimen, cultivar, and growth regulators and the interaction between irrigation regimen and cultivars (Table 3). The results revealed that proline accumulation was higher in 2017 compared to 2018 by 38.21% (Table 4). Examining the mutual impact of irrigation regime on cultivars revealed that drought stress increased proline significantly in both studied cultivated in both years, so Chamran 2 cv had the highest proline at the grain-filling stage under interrupted irrigation while the Karkheh cv had the lowest proline content under complete irrigation (Figure 2). These results suggest that increasing resistance to drought enhances cultivars' capability to accumulate amino acids especially proline [3].

Previous studies suggest that proline accumulation increases in response to treatment with salicylic acid [35] so that it declines at lower salicylic acid concentrations but increases immediately after treatment with higher concentrations [28]. In this regard, Ashraf and Foolad [6] observed that proline accumulation was increased compared to other amino acids (particularly glycine) in root growth sites under drought conditions. This reveals that proline probably stimulates root growth under drought stress, which is in agreement with the present results.

Stomatal conductance

Results of complex variance analysis revealed that the irrigation regime treatment left significant impacts on stomatal conductance at the 5% significance level (Table 3). The highest stomatal conductance was observed under complete irrigation, which was approximately 8% higher at the grain-filling

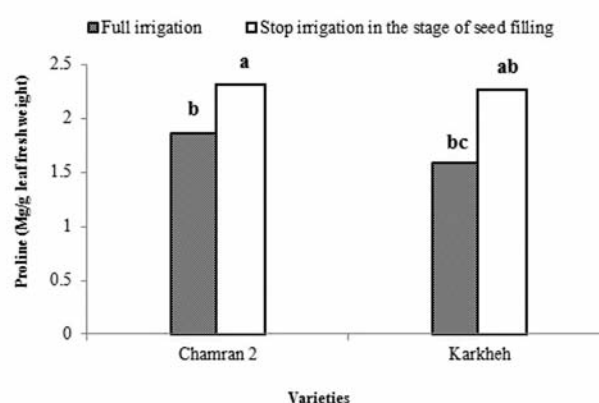


Fig. 2. Effect of irrigation regime on proline accumulation by Chamran 2 and Karkheh cvs
Рис. 2. Влияние режима орошения на накопление пролина у сортов Chamran 2 и Karkheh

stage compared to interrupted irrigation (Table 4). The trend of stomatal conductance indicates its decline with the onset of drought stress. Closure of stomata is among plants' first responses to drought stress. Stomatal closure may limit the plant's access to carbon dioxide. The plant maintains its stomatal conductance and transpiration at maximum for a while after the drought stress is applied, and narrows and eventually closes its stomata as the stress persists [12]. Studies suggest that plants under no moisture stress (control treatments) had the lowest stomatal resistance compared to other treatments, suggesting that stomatal conductance would be lower under stress conditions [20].

Remobilization rate

Results of complex variance analysis revealed that the irrigation regime treatment, year, cultivar, and growth regulators left significant impacts on the dry matter remobilization rate (Table 7). Results indicated that the remobilization rate was higher in 2017 than in 2018 by 16.5% (Table 4). The present study found that interrupted irrigation increased remobilization in various parts of the plant at the grain-filling stage. The highest retransmission rate was thus observed under the interrupted irrigation treatment until the end of the period, which indicated an increase of approximately 26% (Table 4). In terms of growth regulator, the control treatment indicated the highest remobilization, whereas the lowest rates were observed in plants treated with salicylic acid (Table 4). Among

Table 7. Composite variance analysis of studied traits in wheat in two years of experiment (second series)
Таблица 7. Комплексный дисперсионный анализ изучаемых признаков пшеницы за два года опыта (вторая вариация)

S.O.V	df	Remobilization rate	Remobilization contribution	Current photosynthesis	Current photosynthesis contribution
Year (Y)	1	56.31 *	3.44 *	110.3 *	30.6 **
(Year)*Replication	4	6.2	0.38	24.66	1.08
Irrigation regime (I)	1	9841.2 *	355.1 *	605811**	704.15 *
Y*I	1	35.02 ns	1.66 ns	75.2 ns	3.16 ns
Main plots error	4	160.3	30.5	9621.44	50.01
I Varieties (V)	1	11348.2 **	691.02 **	470552*	589.26 *
Y*V	1	2.34 ns	0.13 ns	205.3 ns	0.39 ns
I*V	1	13.67 ns	0.24 ns	198.4 ns	10.89 ns
Y*V*I	1	10.19 ns	1.51 ns	266.02 ns	25.11 ns
Sub-plots error	8	157.2	23.6	7583.1	43.04
Growth regulators (G)	3	8071.9 **	438.01 **	514331.2 **	9.75 ns
Y*G	3	3.27 ns	6.23 ns	180.4 ns	15.61 ns
~I*G	3	50.14 ns	14.51 ns	770.3 ns	0.26 ns
Y*I*G	3	69.24 ns	20.94 ns	1050.2 ns	7.05 ns
V*G	3	12.43 ns	5.11 ns	92.23 ns	5.01 ns
Y*V*G	3	15.01 ns	10.33 ns	165.01 ns	12.38 ns
I*V*G	3	20.51 ns	0.67 ns	853.1 ns	0.59 ns
Y*I*V*G	3	39.07 ns	4.23 ns	996.04 ns	7.01 ns
Sub sub plots error	48	128.4	19.52	4023.7	39.22
Coefficient of variation (%)	-	11.33	19.6	18.43	8.08

ns, * and **: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

studied cultivars, Chamran 2 indicated the highest remobilization rate, which was about 16% higher than Karkheh (Table 4). The present study found that water limitations appear to reduce grain yield under drought stress through reduced photosynthesis. As a result, the stored photosynthetic materials are retransmitted. The retransfer of photosynthesis materials thus becomes more crucial in grain filling [4]. Treatment with salicylic acid appears to provide plants with better conditions to perform more current photosynthesis under drought stress, resulting in a larger amount of dry matter accumulation. On the contrary, current photosynthesis drops under drought stress in the absence of salicylic acid as a result of which the plant supplies a portion of the dry matter through photosynthesis material retransfer [30].

Remobilization contribution

Results of complex variance analysis revealed that the irrigation regimen treatment, year, cultivar, and growth regulators left significant impacts on dry matter remobilization contribution (Table 7). Results indicated that the remobilization contribution was higher in 2017 than in 2018 by 7.36%. Increasing the drought stress increased the remobilization contribution significantly, so the highest remobilization contribution was observed at the grain-filling stage under interrupted irrigation, which was about 40% higher than in no-stress conditions (Table 4).

In terms of growth regulator, the control treatment indicated the highest remobilization contribution, whereas the lowest contributions were observed in plants treated with salicylic acid (Table 4). Among the cultivars, Chamran 2 had the highest remobilization contribution at a rate of approximately 5%

higher than Karkheh (Table 4). It would appear that the high remobilization contribution and remobilization rate in Chamran 2 wheat cv may be due to its fast maturation and its greater reliance on previous storages in leaves and stems. Accumulated reserves are also highly correlated with the plant's life cycle, which contributed to remobilization in this cultivar. In this regard, Voltas et al. [38] reported that environmental conditions during the stages of plant growth determine the photosynthesis materials available for grain growth and reserve (grain) potential. Further, they found that genotypes with higher dry matter remobilization from aerial organs outperformed others in terms of dry matter efficiency, which was consistent with our results. The present study recorded that ceasing irrigation at the grain-filling stage increased dry matter transmission rate and contribution so that drought stress increased the contribution of vegetative parts in grain yield as a result of the decline in current photosynthesis [8].

Current photosynthesis

Results of complex variance analysis revealed that the irrigation regimen treatment, year, cultivar, and growth regulators left significant impacts on current photosynthesis (Table 7). Results indicated that the current photosynthesis was higher in 2017 than in 2018 by 10.5% (Table 4). The highest current photosynthesis was observed under complete irrigation throughout all growing stages (control), which surpassed irrigation interruption at the grain-filling stage by approximately 30% (Table 4). In terms of growth regulator, the control treatment indicated the lowest current photosynthesis, whereas the highest current photosynthesis was observed in plants treated with salicylic acid (Table 4). Among the culti-

vars, Chamran 2 had the highest current photosynthesis at a rate of approximately 12% higher than Karkheh (Table 4). Researchers examined the retransfer of photosynthesis materials from stems to grains and the speed of grain filling under drought stress and found that genotypes with faster accumulation and material transmission were less affected by late-season stresses [18]. Salicylic acid appears to increase current photosynthesis in plants through better nutrient absorption and increased growth and leaf area index [13, 14, 29]. It could also be suggested that current photosynthesis declines due to nutrient and moisture stresses, in response to which the plant increases dry matter retransmission to grains [7].

Current photosynthesis contribution

Results of complex variance analysis revealed that the irrigation regimen treatment, year, and cultivar left significant impacts on current photosynthesis contribution (Table 7). Results indicated that the current photosynthesis contribution was higher in 2017 than in 2018 by 3% (Table 4). The highest current photosynthesis contribution was observed under complete irrigation throughout all growing stages (control), which surpassed irrigation interruption at the grain-filling stage by approximately 14% (Table 4). Among the cultivars, Chamran 2 had a higher current photosynthesis contribution-compared to Karkheh (Table 4). It would appear that Chamran 2 cv had the highest current photosynthesis contribution due to its higher capability in utilizing environmental conditions. The contribution of materials stored in vegetative parts increases in responding to the needs of growing grains when current photosynthesis is inadequate due to environmental conditions. The present study observed that the cur-

rent photosynthesis contribution in rain yield increased under optimal conditions, but decline under drought stress at the grain-filling stage as photosynthesis materials were retransferred to the grains to maintain grain yield. Retransmission thus acted as a moderator compensating the damages due to current photosynthesis deficiency [42].

Conclusion

The highest grain yield (4,803 kg/Ha) was observed in the Chamran 2 cv treated with complete irrigation and salicylic acid as grain yield declined by 15.5% in the Karkheh cv with irrigation interruption at the grain-filling stage and non-administration of growth regulators. Moreover, we found that interrupting irrigation at the grain-filling stage increased catalase activity and proline and reduced stomatal conductance significantly. Although the best results in terms of grain yield and current photosynthesis were observed under complete irrigation conditions and treatment with growth regulators, the moderating effect of regulators on wheat grain yield under drought stress was significant in the case of almost all regulators. Growth regulators thus increased grain yield under complete irrigation and interrupted irrigation by 15 and 7%, respectively. Besides, both Chamran 2 and Karkheh cvs were sensitive to drought stress at the grain-filling stage, resulting in damage to crops. The present study found that growth regulators such as jasmonic and salicylic acid compensated for the impacts of drought stress on the traits of grain yield and catalase. Overall, results suggested that using salicylic acid in Chamran 2 cv would be advisable in the Ahwaz region and similar areas in terms of climate to increase growth and grain yield and reduce decline under stress.

Литература / References

1. Agarwal S.K.R., Sairam G.C., Srivastava T., Aruna C.R., Meena R. Role of ABA, salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzyme induction in wheat seedlings. *Plant Science*. 2005;169:559-570. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.05.004>
2. Ananieva A.E., Christov L.P., Popova D. Exogenous treatment with salicylic acid leads to increased antioxidant capacity in leaves of barley plants exposed to paraquat. *Journal of Plant Physiology*. 2004;161:319-328. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01022>
3. Anjum S.A., Wang L.C., Farooq M., Hussain M., Xue L.L., Zou C.M. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy of Crop Science*. 2011;197:177-185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x>
4. Ardalani S., Saeidi M., Abdoli M. Agronomic traits, photosynthesis and gas exchange variables of wheat genotypes in response to water deficit during vegetative growth period. *Environmental and Experimental Biology*. 2016;14(4):157-162. <http://doi.org/10.22364/eeb.14.22>
5. Ashraf M. Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. *Biotechnology Advances*. 2010;28:169-183. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005>
6. Ashraf M., Foolad M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 2007;59:206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
7. Bahrani A., Heidari Sharif Abad H., Tahmasebi Sarvestani Z., Moafpourian G.H., Ayneh Band A. Remobilization of dry matter in wheat: effects of nitrogen application and post-anthesis water deficit during grain filling. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2011;39(4):279-293. <https://doi.org/10.1080/01140671.2011.599397>
8. Bani Saidi A.K., Motamedi M. The effect of nitrogen consumption on grain yield and dry matter transfer of corn under drought stress condi-

- tions. *Journal of Plant Ecophysiology*. 2019;41:77-68. (In Persian) <https://www.magiran.com/volume/153052>
9. Bates L.S., Waldren R.P., Teare L.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 1973;39:205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
10. Boominathan R., Doran P.M. Ni induced oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumulator, *Alyssum bertolonii*. *New Phytologist*. 2002;156:205-215. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00506.x>
11. Dong B., Zheng X., Liu H., Able J.A., Yang H., Zhao H. Effects of drought stress on pollen sterility, grain yield, abscisic acid and protective enzymes in two Winter wheat cultivars. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:1008. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01008>
12. Ertek A., Kara B. Yield and quality of sweet corn under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 2013;129:138-144. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.012>
13. Fairaj S.A., Islam M.M., Islam M.A., Zaman E., Momtaz M.B., Hossain, M.S., Jahan N.A., Shams S.N.U., Urmi T.A., Rasel M.A., ... Murata Y. Salicylic acid improves agro-morphology, yield and ion accumulation of two Wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes by ameliorating the impact of salt stress. *Agronomy*. 2023;13:25. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010025>
14. Fan Y., Lv Z., Li Y., Qin B., Song Q., Ma L., ... Huang Z. Salicylic acid reduces wheat yield loss caused by high temperature stress by enhancing the photosynthetic performance of the flag leaves. *Agronomy*. 2022;12(6):1386. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061386>
15. Ghatei A., Bakhshandeh A., Abdali Mashhadi A., Siadat S.A., Alami saeid K., Gharineh M. Effect of Different Nitrogen Levels and Cytokinin Foliar Application on Yield and Yield Components of Wheat at Terminal Heat Stress Conditions in Ahwaz. *Journal of Crop Production and Processing*. 2015;5(16):107-97. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.16.97>
16. Haghjoo M., Bahrani A. Grain yield, dry matter remobilization and chlorophyll content in maize (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen and water deficit. *Bangladesh Journal of Botany*. 2015;44(3):359-365.

<http://dx.doi.org/10.3329/bjb.v44i3.38540>

17. Hayat Q., Hayat S., Irfan M., Ahmad A. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*. 2010;68:14-25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>
18. Hossain A., Sarker M., Hakim M., Lozovskaya M., Zvolinsky V. Effect of temperature on yield and some agronomic characters of spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *International Journal of Agricultural Research Innovation and Technology*. 2013;1(29):44-54. <http://dx.doi.org/10.3329/ijarit.v1i1-2.13932>
19. Madadi A., Fallah S.A. The effect of proline and salicylic acid on physiological parameters and yield of silage maize under different moisture regimes. *Journal of Crop Production and Processing*. 2018;8(1):15-29. <http://dx.doi.org/10.29252/jcpp.8.1.15>
20. Maes W.H., Achten W.M.J., Reubens B., Raes D., Samson R., Muys B. Plant water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. *Journal of Arid Environment*. 2009;73:877-884. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.04.013>
21. Modhej A., Naderi A., Emam Y., Ayneband A., Normohamadi Gh. Effects of post-anthesis heat stress and nitrogen levels on grain yield in wheat (*T. durum* and *T. aestivum*) genotypes. *International Journal of Plant Production*. 2020;2(3):257-268. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.617>
22. Mousavoey M., Jahanbakhshgade-Kahriz S., Modaresi M., Parmoon Q., Ebadi A., Kohan mo M.A. Effect of salicylic acid and jasmonic acid on yield and yield components of Milk thistle under heat stress conditions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 2021;34(4):1-14. <https://dori.net/dor/20.1001.1.23832592.1400.34.4.5.8>
23. Oweis T., Hachum A. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. *Agricultural Water Management*. 2006;80:57-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.004>
24. Pakdaman N., Javanshah A., Nadi M. The effect of humic and fulvic acids as bio-fertilizers on the growth of Pistacia vera seedlings under alkaline conditions. *Pistachio and Health Journal*. 2018;1(4):13-20. <https://doi.org/10.22123/phj.2019.154962.1020>
25. Popova L.P., Maslennikova L.T., Yordanova R.Y., Ivanova A.P., Krantev A.P., Szalai G., Janda T. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. *Plant Physiology Biochemical*. 2009;47:224-231. <https://dori.net/dor/20.1001.1.23222727.1391.1.1.5.2>
26. Rivas-San Vicente M., Plasencia J. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*. 2011;62(10):3321-38. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/err031>
27. Sadaqat M.A., Emam Y. Effect of application of plant growth regulators on growth and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under terminal drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 2016;19(2):147-132. <http://dori.net/dor/20.1001.1.15625540.1396.19.2.4.2>
28. Safari M., Arghavani M., Kheiri A. Effect of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of vetiver grass under water deficit stress conditions. *Journal of Crops Improvement*. 2018;19(3):591-603. <https://doi.org/10.22059/jci.2017.60464>
29. Sajdi N.A., Madani H., Habibi D., Pazoki A.R. Investigating the effect of selenium and salicylic acid on retransplantation, photosynthesis and grain yield of wheat cultivars under rainfed conditions. *Crop Production in Environmental Stress*. 2012;4(1):1-16. <https://sid.ir/paper/232046/en>
30. Shakirova F.M., Sakhabutdinova A.R., Bezrukova M.V., Fatkhutdinova R.A., Fatkhutdinova D.R. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*. 2003;164:317-322. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00415-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6)
31. Shakirova F.M., Bezrukova M.V. Induction of wheat resistance against environmental salinization by salicylic acid. *Biology Bulletin*. 1997;24:109-112. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13254782>
32. Shemi R., Wang R., Gheith E.S., Hussain H.A., Hussain S., Irfan M., Cholidah L., Zhang K., Zhang S., Wang L. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*. 2021;11:3195-3204. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82264-7>
33. Silveira J.A.G., Araujo S.A.M., Lima J.P.M.S., Viegas, R.A. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia* L. *Environmental and Experimental Botany*. 2009;66:1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.12.015>
34. Tadesse W., Sanchez Gracia M., Gizaw S., Amiri A. Genetic gains in wheat breeding and its role in feeding in the world. *Crop Breeding Genetics and Genomics*. 2019;11:42-56. <https://doi.org/10.20900/cbagg20190005>
35. Tasgin E., Atici O., Nalbantoglu B. Effects of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter wheat leaves. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2003;41: 231-236. <https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000007504.41476.c2>
36. United States Department of Agriculture (USDA). World agricultural production. Department of Agriculture Foreign Agricultural Service Office of Global Analysis. 2021;30 pp. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>
37. Vega-Galvez A., Miranda M., Vergara J., Uribe E., Puente L., Martinez E.A. Nutrition Facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010;90:2541-2547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>
38. Voltas J., Romagosa I., Araus J.L. Grain size and nitrogen accumulation in skin reduction barley under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*. 2007;52:117-126. <https://www.academia.edu/15313671>
39. Wani S.H., Kumar V., Shriram V., Sah S.K. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The Crop Journal*. 2016;4(3):162-176. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.01.010>
40. Werner T., Nehnevajova E., Köllmer I., Novák O., Strnad M., Kramer U., Schmölling T. Root-specific reduction of cytokinin causes enhanced root growth, drought tolerance, and leaf mineral enrichment in Arabidopsis and tobacco. *The Plant Cell*. 2010;22(12):3905-3920. <https://doi.org/10.1105/tpc.109.072694>
41. Zaheer M.S., Raza M.A.S., Saleem M.F., Erinle K.O., Iqbal R., Ahmad S. Effect of rhizobacteria and cytokinins application on wheat growth and yield under normal vs drought conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2012;50:2521-2533. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1667376>
42. Zhang Y., Sun N., Hong J., Zhang Q., Chao W., Xue Q., Zhou S., Huang Q., Wang Z. Effect of Source-Sink Manipulation on Photosynthetic Characteristics of Flag Leaf and the Remobilization of Dry Mass and Nitrogen in Vegetative Organs of Wheat. *Journal of Integrative Agriculture*. 2014;13(8):1680-1690. [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60665-6](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60665-6)

About the Authors:

Nilofar Maheri – Ph.D. student in the Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University
Tayyeb Sakinejad – Ph.D. of Crop Physiology and Assistant Professor in the Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University
Adel Modhej – Ph.D. of Agronomy and Associate Professor in the Department of Agronomy, Shoushtar Branch, Islamic Azad University
Mohammad Reza Dadnia – Ph.D. of Crop Physiology and Assistant Professor in the Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University
Seyed Keivan Marashi – Ph.D. of Agronomy and Plant Breeding and Assistant Professor in the Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University

Об авторах:

Нилофар Махери – Ph.D. студент кафедры агрономии Ахваского филиала Исламского университета Азад
Тайеб Сакинежад – Ph.D., (физиология сельскохозяйственных культур), доцент кафедры агрономии Ахваского филиала Исламского университета Азад
Адель Моджей – Ph.D., (агрономия), доцент кафедры агрономии, Шуштарский филиал Исламского университета Азад
Мохаммад Реза Дадния – Ph.D., (физиология сельскохозяйственных культур), доцент кафедры агрономии Ахваского филиала Исламского университета Азад
Сейед Кейван Мараш – Ph.D., (агрономия и селекция растений), доцент кафедры агрономии Ахваского филиала Исламского университета Азад

Краткое сообщение / Short communication

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-117-122>
УДК 633.1:631.526.32:631.524(470.62)

Valeri Mendoza^{1*}, Roberto Mendoza²,
Dmitry V. Dmitriev³

¹ RUDN University
Miklukho-Maklay Str., 6,
Moscow, Russia, 117198

² Universidad Nacional de Piura
Urb. Miraflores s/n, Castilla-Piura,
Apartado Postal 295, Piura, Peru

³ Russian Center of Quinoa
Kooperativnaya st., 81, Novokubansk,
Novokubansky district,
Krasnodar region, 352240, Russia

*Correspondence: 1072188115@rudn.ru

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors' Contribution: All authors confirm they have contributed to the intellectual content of this paper.

For citations: Mendoza V., Mendoza R., Dmitriev D.V. Introduction and adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars in Krasnodar region of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):117-122.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-117-122>

Received: 17.04.2023

Accepted for publication: 15.09.2023

Published: 04.12.2023

В. Мендоса¹, Р. Мендоса², Д.В. Дмитриев³

¹ Российский университет дружбы народов
117198, Россия, г. Москва,
ул. Миклухо-Маклая, 6

² Национальный университет Пьюра
(Universidad Nacional de Piura)
Пьюра, Перу

³ ООО "НПО Квиноа центр"
352240, Россия, Краснодарский край,
Новокубанский р-н, г. Новокубанск,
Кооперативная ул., д. 81

Автор для переписки: 1072188115@rudn.ru

Вклад авторов: Все авторы участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Mendoza V., Mendoza R., Dmitriev D.V. Introduction and adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars in Krasnodar region of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):117-122.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-117-122>

Поступила в редакцию: 17.04.2023

Принята к печати: 15.09.2023

Опубликована: 04.12.2023

Introduction and adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars in Krasnodar region of Russia



ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a cultivated plant of the Amaranthaceae family of Peruvian origin with high nutritional value. The Krasnodar region of Russia is a region with favorable climatic conditions for growing quinoa. The studies were carried out on the basis of Quinoa Center LLC, located in the Novokubansky district of the Krasnodar Territory. Four quinoa varieties were used as research material: Blanca de Juli, White Peru, Salcedo, the local variety Seva (included in the State Register of the Russian Federation in 2017) served as the standard. Various morphological parameters of plants were assessed and phenological observations were carried out.

The results showed statistically significant differences between varieties in plant productivity. The White Peru variety responded positively to the new conditions and was introduced without irrigation. The productivity of the panicle was on average 100 g, for the standard variety Seva - 70 g. In the dynamics of the ontogenetic development cycle of four quinoa varieties, it was established that the optimal sowing time in the conditions of the Krasnodar Territory is May. The tested varieties were also assessed for grain quality. In the conditions of the Krasnodar region they showed good results, thanks to selection for white grain and panicle uniformity. However, not all of them can be adapted, since they need constant watering and for late-ripening varieties autumn rains negatively affect their yield. The local early ripening variety Seva is of interest to Peru. In Peru, the main problem reducing production is low yield caused by frost in the Puno Peru region. The Seva variety reaches phenological phases: the beginning of panicle formation (R6), panicle formation (R7), flowering (R8) and full panicle ripening, physiological maturity (R12) and due to its early ripening it avoids frost. Therefore, the Seva variety can be recommended for sowing in the Puno-Peru region, since it has a gene pool that provides cold resistance but this requires detailed study. In general, to optimize the introduction of quinoa in Russia further research on adaptability in the Krasnodar region is necessary.

KEYWORDS:

quinoa, yield, variety, introduction, unfavorable climate

Интродукция и адаптация сортов квиноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) в Краснодарском крае России

ABSTRACT

Киноа, или квиноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) – культурное растение семейства Амарантовые перуанского происхождения с высокой пищевой ценностью. Краснодарский край России представляет собой регион с благоприятными климатическими условиями для выращивания киноа. Исследования проводили на базе ООО "НПО Квиноа центр", расположенном в Новокубанском районе Краснодарского края. В качестве материала для исследований использовали четыре сорта киноа: Blanca de Juli, White Peru, Salcedo, стандартом служил местный сорт Сева (включен в Госреестр РФ в 2017 году). Оценивали различные морфологические параметры растений, проводили фенологические наблюдения.

Результаты показали статистически значимые различия между сортами по продуктивности растений. Сорт White Peru положительно отреагировал на новые условия, и его удалось интродуцировать без орошения. Продуктивность метелки у него составила в среднем 100 г, у стандартного сорта Сева – 70 г. В динамике онтогенетического цикла развития четырех сортов киноа установлено, что оптимальным сроком посева в условиях Краснодарского края является май. Испытанные сорта были оценены также по качеству зерна. В условиях Краснодарского края они показали хорошие результаты, благодаря отбору при селекции на белое зерно и однородность метелки. Однако не все из них можно адаптировать, поскольку они нуждаются в постоянном поливе, и на позднеспелых сортах осенние дожди негативно отражаются на их урожайности. Местный раннеспелый сорт Сева представляет интерес для Перу. В Перу основной проблемой, снижающей производство, является низкая урожайность, вызванная заморозками в регионе Пуно-Перу. Сорт Сева достигает фенологических фаз: начала образования метелки (R6), формирования метелки (R7), цветения (R8) и полного созревания метелки, физиологической зрелости (R12) и за счет своей раннеспелости уходит от заморозков. Поэтому сорт Сева можно рекомендовать для посева в регионе Пуно-Перу, так как у него есть пул генов, обеспечивающий холодоустойчивость, однако это требует детального изучения. В целом, для оптимизации внедрения киноа в России необходимы дальнейшие исследования адаптивности в Краснодарском крае.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

киноа, урожайность, сорт, интродукция, неблагоприятный климат

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in its geographical center of origin, Peru, is distinguished by the genetic diversity of cultivated varieties suitable for any high-altitude climate, plateaus or valleys, as well as on the coast of the country [1]. It is an annual dicotyledonous species belonging to the subfamily Amaranthaceae. Quinoa is an Andean grain crop recognized as an ally of global food security due to its high nutritional value. However, the globalization of quinoa production entails problems for countries of origin. Farmers face a scenario of new problems and competitors [2]. In comparison with traditional staple food crops quinoa has remarkable resistance to abiotic stress and is highly nutritious, uniquely balanced, and can therefore be an important crop for food security and nutritional adequacy [3].

Peru is the world's leading exporter and producer of quinoa, according to reports from the Ministry of Agrarian Development and Irrigation [4]. The largest quinoa-producing region in Peru is the city of Puno, where production is affected by the climate problem associated with frost. The main exporting country is Peru, with important exports from Bolivia and Ecuador; other countries that also produce Quinoa are the United States, Germany, Denmark, France, India, Italy, Kenya, Mexico, Sweden and the United Kingdom [4]. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is an organically managed crop. However, quinoa globalization entails challenges to the countries of origin in increasing organic management areas [5]. Therefore, it is necessary to improve the varieties in adverse climates. The cultivation of quinoa is still not very developed in the world except for its countries of origin leaving many parameters to be studied [6].

Compared to traditional staple food crops, quinoa has remarkable resistance to abiotic stress and is highly nutritious, uniquely balanced, and high in nutrients, and can therefore be an important crop for food security and nutritional adequacy. Due to the wide range of flavonoids and phenolic acids that quinoa possesses, they position it as a potential "nutraceutical" or "Functional food remedy", so its consumption contributes to the health and well-being of consumers and at the same time reduces the risk of non-communicable diseases due to its antioxidant, anti-inflammatory and anti-proliferation activity [7]. Quinoa contains about 16% protein. More related studies are needed to confirm particular properties of quinoa in relation to soil type, for example, observed locality-related differences in protein content [8].

Quinoa can tolerate a variety of environmental conditions, as well as long periods of drought and high salinity [9]. The genus includes about 250 species [10]. Both the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the World Health Organization (WHO) rank it as a unique product because of its highest nutritional value [11]. However, the seed husk contains toxic compounds called saponins. These are secondary metabolites belonging to the group of glycosides formed by sugars (glucose, galactose and rhamnoses) associated with aglycone. Saponins are mainly concentrated on the outside of the

grain layers, their concentration ranges from 0.01% to 5% per dry weight. The cleaning of the seed to remove the saponin is carried out by washing it for 15 minutes [12]. Quinoa was classified by saponin concentration into: sweet with saponin content less than 0.11% and bitter with the content of more than 0.11%, since they provide bitter taste [12]. In a research carried out in Argentina using different methods of extraction of oleanolic acid (OA) saponins in quinoa, the conclusions were that sweet quinoa has a concentration of less than 0.11% saponin oleanolic acid (OA) [13].

On the other hand, this species is classified into five main agro-ecological groups according to edaphic and climatic requirements, which corresponds to the quinoa at sea level, plateaus, jungles, inter Andean valleys and highlands [14].

The panicle has measurements of varying lengths of 15-70 cm. It is usually found at the top of the plant and at the top of the branches. It has a main shaft, secondary axes and tertiary axes. Given the shape and position of the glomeruli (flower groups), they are divided into amaranthiform, glomerular and intermediate. In the amaranthiform group, the glomeruli are directly inserted into the secondary axis, and the glomeruli have an almost rectangular shape, very similar to the fingers. In the glomerulata type, the glomeruli are located on the tertiary axis, which it derives from the secondary axis and takes on a rounded appearance, like beads of rosaries. In the intermediate type, the glomeruli has an indeterminate shape (between rectangular or rounded). The length of the secondary and tertiary axes determines whether the inflorescence can be weak, intermediate or compact; the last feature has to do with the size of the grains, with the smallest being those that form in a compact panicle [11].

Quinoa has a high nutritional value, adaptability to various agroecological conditions (genetic plasticity), resistance to soil salinization, resistance to extreme temperatures and resists water stress with low water availability in addition to expressing good results of adaptability to extreme climatic and soil conditions, which allowed the colonization of unproductive areas [15]. The protein content in quinoa varies between 8-22 g/100 g d. w., being closely close between the values of wheat and oats while those of rice, corn and barley are lower [16].

The flowers remain open for a period of 5 to 7 days, and because they do not open once at a time, it has been determined that the duration of flowering is 12 - 15 days. This indicates that the fruit containing grain can reach 2.66 mm in diameter depending on the variety, the perigonium covers the seed and easily comes off when rubbed [17].

Adaptability was acquired by evolutionary processes that included interbreeding with (*Chenopodium carnosulum*), hence its resistance to salinization; with (*Chenopodium petiolare*) to tolerate drought, and with (*Chenopodium pallidicaule*), its frost resistance [18].

Its vegetative period can vary from 90 to 240 days; it has an adequate development, with precipitation falls per year from 200 to 280 mm; it adapts to any soil texture and pH levels between 4.5 and 9.0 [19].

For the development of the research project in the

area of introduction and adaptation of new varieties of quinoa we used the data on soil type and climate provided by the Ministry of Agriculture of Russia. The nutritional and biological properties were determined in quinoa that has been cultivated in different parts of the world during the last two decades and the potential of side stream processing of quinoa by-products in various industrial sectors [20].

The reports suggest prospects of quinoa grain inclusion in the daily diets of people and the application of their active compounds in the food industry [21].

The aim of the present investigation was the suitability evaluation of 4 promising varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) of Peruvian origin in the climatic conditions of the Krasnodar region. The objectives of the research were to assess drought resistance with irrigation treatments and through the yield from each plant and to assess the vegetation period of each variety.

Material and Methods

Studies were conducted (to adapt and evaluate varieties to quinoa) during 2022 at the experimental site of the Quinoa Center, located in the farm of Novokubansk, Krasnodar Territory, Russia (45°06' N 41°03' E) in the North Caucasus. Its height is 149 meters above sea

level. Creating the largest possible number of randomization. 15 plants were collected in the 4 varieties.

The method consists of evaluating the panicle yield of each variety (60 quinoa plants). The data obtained were subjected to statistical analysis using analysis of variation (ANOVA). The comparison of mean values with the statistical box model was also used (graph) and Duncan's Multiple Range with software: Statistical Package S.A.S. (Statistical Analysis System) trial version. Critical differences were worked out using LSD at 5% level of significance in order to determine the statistical difference between varieties.

Determination of the optimal sowing date was carried out on May, June and July. Sowing was carried out with a distance between the rows of 80 cm and 60 cm between the plants. The number of seeds per unit was 10 kg/ha, from 5 to 8 seeds per stroke; covering it to a depth of 3 to 5 cm from soil moisture; with rain watering. The minimum of fertilizers was applied with a foliar fertilizer of Extra Action N: Nitrogen – 20% Organic nitrogen – 3%. Humic acids (humates) – 3%. Organic matter – 12% in July to all the blocks.

The main characteristics of the soil of the experimental site in the Kuban are presented in Table 1. Mean month's temperature and precipitation value are recorded in Table 2.

Table 1. The characteristics of the soil of the experimental site in the Kuban. Krasnodar

Humus content	Hydrolytic acidity	Hydrolysable nitrogen	Phosphorus	Potassium
6%;	9.8 mg-eq/100 g	2.1 mg/100 g	3.1	17.8 mg/100g

level. A random block design was used to determine the yield per plant (grain weight) of varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). In 2022, the scientific experiment focused on the study of introduction and adaptation. Four varieties of quinoa were used as research material: Blanca de Juli, White Peru, Salcedo. The local variety Seva served as standard.

Seva is a variety of Russian selection. The height of the plants is about 220 cm. When ripe, the stem acquires a straw-yellow color with a pink tint. The ripe panicle is spear-shaped, 60-65 cm long, medium density, yellow-orange in color. Seeds are disc-shaped, beige. Weight of 1000 seeds is 3.4-3.5 g. The average yield in the conditions of the Krasnodar Territory is 41.7 c/ha. The growing season is 111-112 days. Biological characteristics: during the growing season plants are sensitive to frost, in the initial stages they are demanding moisture. The periods of flowering and ripening are extended in time (up to 30 days each). After the formation of the main panicle, the plants are resistant to drought. The main direction of use is the processing of seeds into cereals and flour for food purposes (according to the State Register of Selection Achievements of the Russian Federation).

The experimental design consists of 4 varieties with 3 blocks with 3 repetitions to determine the month of sowing quinoa and 3 treatments. (In total of 36 experimental units). To achieve the highest number of factorization in the experimental units irrigation varieties were applied. The treatments included: 1) watering at each vegetative stage; 2) watering every month; 3) no irriga-

Table 2. Mean month's temperature and precipitation during the vegetation period 2022 in Krasnodar region

Month	Temperature, °C	Precipitation, mm
May	15	157
June	24	62
July	30	0
August	25	37
September	19	69

The genetic selection of quinoa was carried out under the new environmental conditions using Physiological model of generation of yield determination with variables (rainfall), and (temperature). Using Excel diagrams the assessment of the relationship between climate and physiological maturity of the grain was achieved.

Height of the plant and panicles weight were measured in different stages of development. The taxonomic key for the Morphological identification of the varieties was made: color of the panicle in the period of physiological maturity, panicle shape, panicle density, type of growth, number of panicles per plant (Table 4).

Results and Discussion

The evaluated results of the panicle weight of the 4 quinoa varieties are presented in Table 3. They presented statistically significant differences between varieties 2 and

Table 3. Yield components in the 4 varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Cultivar	Weight of 1000 seeds, (g)	Number of random samples (60), plants	Yield per plant, (g)	Vegetative cycle, (days)	Grain color, % phenotype
"Blanca de Juli"	2.2	15	80-100	160	White 90%
"White Peru"	3.7-4.0	15	100	130	White 98%
"Salcedo"	3.1-3.7	15	80	145	White 90%
"Seva", st.	2.8-3.1	15	70	120	White 70%

4, where variety 2, name: "White Perú" provided a yield of 100 grams/panicle, and variety 4, name: "Seva" recorded a yield of 70 grams/panicle (Table 3).

The varieties represented as 1 and 3 obtained physiological maturity of 145 and 160 days respectively, therefore, they are late varieties; represented 24 percent of the plant population in the experimental design (Table 4).

ated into the vegetative phase (V) and it is strictly important to differentiate each of the varieties the reproductive phase (R).

The beginning of the reproductive stage:

Panicle formation (R6). This phase is described as follows: An inflorescence with abundant meristematic tissue and abundant small leaves covering the panicle.

Table 4. Comparative characteristics of the quinoa variety (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Parameter in physiological maturity (R12)	"Blanca de juli"	"White Peru"	"Salcedo"	"Seva", st.
Physiological maturity, days	160	130	160	120
Plant height, m	1.60	1.70	1.70	1.60
The length of the panicle, cm	30.0-35.0	34.0-40.0	35.0	30.0-35.0
Phenological cycle	Late variety	Semi early	Late variety	Early variety
Color of the panicle in the period of physiological maturity	White	White	White	White 70%
Panicle shape	Glomerular.	Glomerular.	Amarant form	Glomerular
Panicle density	Intermediate	Compact	Intermediate	Compact
Type of growth	Simple	Simple	Grassy	Grassy
Number of panicles per plant	1	1	1	1

Seeds were sown in the second week of May 2022, with a rainfall of 49 mm. and mean temperature of 15°C. Cultivar "White Perú" demonstrates physiological maturation in August. The harvest of this new variety "White Perú" was obtained successfully in all the experimental blocks. The aim of the study was to evaluate promising varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) of Peruvian origin. We have shown that the habitat change influences some of the formation of quinoa grains.

All four varieties have reached 95% of their physiological maturity.

The study assessed the ontogenetic cycle allowing to identify each phenological phase in relation to other varieties. It is also important to present a botanical study of all the morphological characteristics of the 4 varieties (Table 4).

The physiological maturity and phenological cycle of quinoa was between 120 to 160 (Table 4). Quinoa has a defined phenological phase and very well differenti-

Formation of panicles (R7). This phase is described as follows: With a clear observation of the spreading inflorescence, glomeruli of flowers develop.

Beginning of flowering (R8). This phase is described as follows: When the apical hermaphroditic flower opens, showing individual stamens.

Flowering (R9). This phase is described as follows: it is

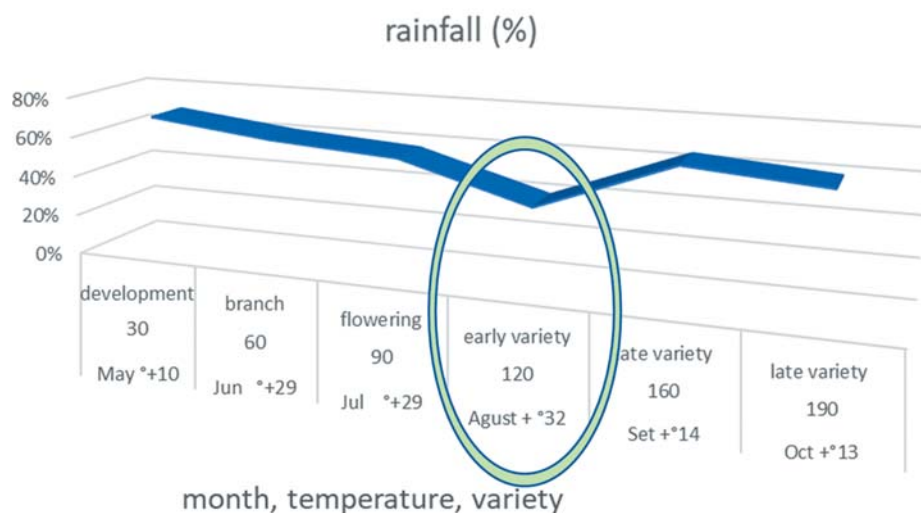


Fig. 1. Physiological model of generation of yield determination of 4 varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

possible to distinguish between hermaphroditic and pistil flowers. The type of panicle for each variety can be determined with a percentage. For example, there are varieties that have 60% more male flowers than female ones.

Milk grains (R10). When the fruits are in the glomeruli of the panicle, when pressed, they burst and secrete a milky liquid.

Pasty grain (R11). When pressed, the fruits acquire a white paste-like consistency.

Physiological maturity (R12). When the fruit becomes hard to the touch, the grain can be harvested in a maximum of a week.

Physiological model of generation of yield determination

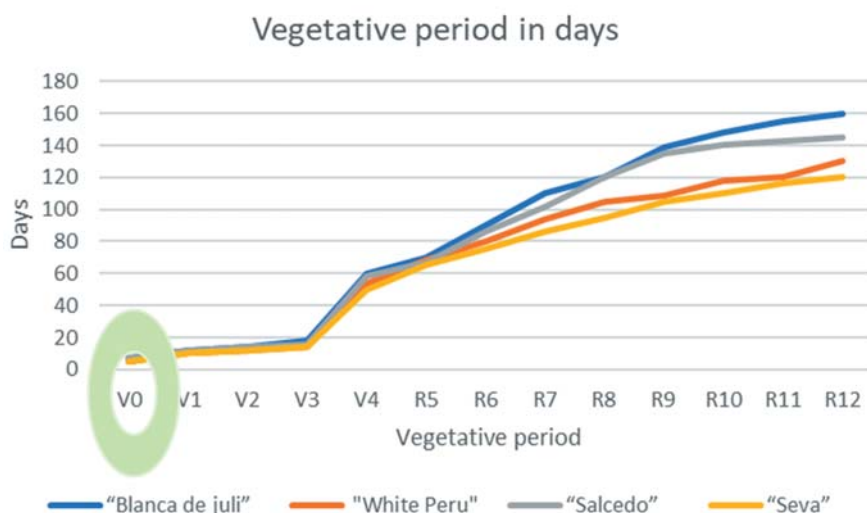


Fig. 2. Planting date and growing season of 4 varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

of 4 varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Figure 1 shows that the critical point is month (August), against the factor of precipitation, the study shows that the vegetative period affects the phases: milk grain (R10),

paste grain (R11), from 3 varieties: “Salcedo”, “Blanca de juli”, “White Peru”. The study found the critical grain formation point of a local variety “Seva”: physiological maturity (R12) at 120 days, which means that it is highly adapted.

There are climatic factors that lead to the death of flowers. It is important not to lose flowers. Flowering (R9). Biological factors affecting the quinoa are fungal diseases, especially in late varieties where biological control methods are always recommended. Yield depends on the number of grains filled with starch. Pasty grain (R11).

Anticipating the sowing a day before the rain is an advantage at the seed germination stage V0 for all 4 varieties quinoa. The water requirements are different for each variety

at the stages: appearance of true leaves (V2), four true leaves (V3), six true leaves (V4), branch height (V5), beginning of panicle formation (R5). Quinoa has a well differentiated vegetative period in the vegetative phase (V) and the reproductive phase (R). For example, each variety has a different behavior at the: Panicle formation (R6). This phase requires water for its adaptation because the metabolism of the photosynthates in the formation of grain is necessary to coincide with the rains. This explains the adaptation of early varieties in the Krasnodar climate “White Peru” with 130 days and “Seva” with 120 days. Date of sowing and phenology are presented in Figure 2. (The optimal sowing

month is May). Seed germination V0, this critical moment should be solved in advance, using well-tilled soil since quinoa seeds are sown at a depth of 3 to 5 cm. The critical point at this stage is the strong heat of the sun, where the soil surface has the formation of crusts or layers of clay that prevent the emergence of seeds. The seeds to germinate are highly effective with humidity and being in contact with little water would be lost because they do not reach the surface, and on the other hand, the strong radiation prevents their development of cotyledonal leaves, therefore it is necessary to sow in a good percentage of rain.

Frost damage provides fruit necrosis; due to frost the grain formation in the panicle stops. Corresponding to the stages: milk grain (R10), pasty grain (R11) and physiological maturity stage (R12) of late varieties. This frost problem is solved by selecting only the early varieties.

Furthermore, the lowest samples determine the mortality of the

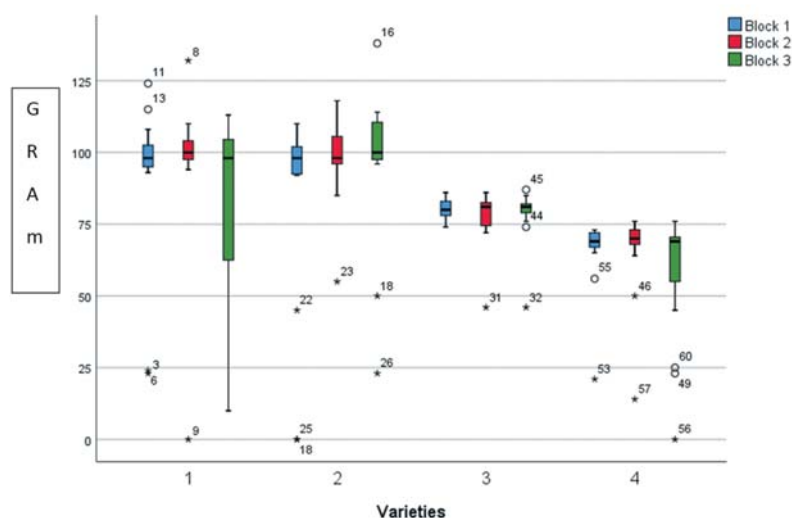


Fig. 3. Statistical description of the box of four quinoa varieties. The experimental design consists of 4 quinoa varieties: (1) cv. “Blanca de Juli”; (2) cv. “White Peru”; (3) cv. “Salcedo”; (4) cv. “Seva”. With 3 blocks and with 3 repetitions to determine the month of sowing quinoa and 3 treatments. Block 1: seeds were sown 3 times (May, June, July) and irrigation in each vegetative stage (treatment 1). Block 2: Seeds were sown 3 times (May, June, July) and watering every month (treatment 2). Block 3: Seeds were sown with 3 times (May, June, July) without irrigation (treatment 3).

plants and are outside the lower quartiles; on the contrary, the upper limits are samples with high yields.

Statistically significant differences in panicle weight between early cultivars were demonstrated: cultivar “White Peru” recorded 100 grams/panicle, and cultivar “Seva” 70 grams/panicle (Fig. 3). And they are early varieties because the harvest was obtained at the end of August.

In the genetics of quinoa there are two behaviors in physiological maturation, so they can be activated with early maturation genetics or activated with late maturation genetics; it is known that the genetic behavior depends where seeds were sown in relation to the sea level altitude (100 at a 4000 m.a.s.l.) The present results demonstrated similar to the level near the sea, on the coast of Peru. Grain yield of “White Peru” was 95 grams on the coast of Peru. In the mountains of Peru the yields of cv. “White Peru” is 50 g.

Conclusion

Cultivar “White Peru” recorded the yield of 100 grams/panicle per plant while cv “Seva” demonstrated the grain yield 70 grams/panicle per plant. These are the varieties indicated for adaptation to the climate of the Krasnodar region. The use of fertilizers is not important since it is necessary to express the phenotypic and genotypic characteristics in the new climatic environment and compare it with the place of origin of Peru.

• Литература / References

- Jacobsen S.E., Mujica A., Ortiz R. La importancia de los cultivos andinos Fermentum. *Revista Venezolana de Sociología y Antropología*. 2003;13(36):14–24. <https://www.redalyc.org/pdf/705/70503603>.
- Alandia G., Rodriguez J.P., Jacobsen S.-E., Bazile D., Condori B. Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Chemistry*. 2020;(26):100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>.
- Jaikishun S., Li W., Yang Z., Song S. Quinoa: In the light of global challenges. *Agronomy. Argentina*. 2019;(9):176. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040176>.
- Statistical data of the Government of PERÚ MIDAGRI <https://www.gob.pe/midagri>
- Campos A., Cabrera P., Pérez C., Laura C. Tendencia del mercado y la producción de los productos orgánicos en el Perú. *Rev. invist. Altoandino*. 2017;19(4):427–431. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.318>.
- Saucedo, Lepe NAngeli Adaptación. de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) a las condiciones agroecológicas de la zona centro peninsular. Madrid, Spain. 2020. https://oa.upm.es/65953/1/TFG_GABRIELA_ORGAZ_GARCIA.
- Koch W. Dietary Polyphenols-Important Non-Nutrients in the Prevention of Chronic Noncommunicable Diseases. *A Systematic Review. National Library of Medicine*. 2019;11(5):1039. <https://doi.org/10.3390/nu.11051039>.
- Martínez E.A. Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2012;72(2):175–181. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000200002>.
- González Ju.A., Prado F.E. Quinoa: biological aspects, nutritional properties and other considerations for its best use. *Middle East Journal of Agriculture Research*. 2013;(5):5–15. <https://doi.org/10.36632/mejar/2020.9.2.34>.
- Bhargava A., Shukla S., Ohri D., *Chenopodium quinoa*—An Indian perspective, *Ind. Crops Prod*. 2006;23(1):73–87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Latin American Integration Association (ALADI). Trends and prospects of inter-

The morphological characteristics of all 4 varieties tested, were selected according to the quality of the grain. They are excellent for introduction due to the selection of white grain and the uniformity of the panicle. But not all of them may be adapted because they need constant watering. The local variety has a genetic “gene pool” of interest to Peru because it is adapted to the harsh climate and avoids frost because it is an early ripening variety.

The main problem that reduces production is the low yield caused by frost in the Puno-Peru region, for this reason the scientific article attempts to overcome the problem of 4 varieties in adverse climate conditions and compare with the standard the adaptation of the local variety Seva which reaches phases phenological phases of: the beginning of the formation of a panicle (R6), panicle formation (R7), flowering (R8) and full ripening in the panicle, physiological Maturity (R12). In late ripening varieties, the rains from October to December negatively affected yields. Therefore, it is also recommended to sow this cv. “Seva” in the Puno-Peru region, since it has a pool of genes already expressed in frost conditions. In a whole, further investigations on quinoa adaptability in Krasnodar region are necessary to optimize quinoa introduction in Russia.

- national quinoa trade. 2014. <http://www.fao.org/publications/card/es/c/90ce9b3a-7f09-5d64-4ef6990d4958dfb>.
- Medina Meza I.G., Nicole A., Aluwi N.A., Saunders S.R., Ganjyal G.M. GC-MS Profiling of Triterpenoid Saponins from 28 Quinoa Varieties (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown in Washington State. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016;(64):8583–8591. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02156>.
- Castillo C., Choque D., Wierna N., Ruggeri M.A., Romero A., Carreras N.Á. Comparison of saponins (oleanolic acid) extraction tests in quinoa cultivated in two areas of jujuy province (valleys and puna). *Revista Científica FCA*. 2021;14(1):34–48.
- Bazile D., Salcedo S., Santivañez T., Bertero D., Nieto C. State of the art of quinoa in the world in 2013. Santiago de Chile, Chile.
- Choque C. Effects of climate change in production and performance in quinoa Juli district, period 1997–2014. *Comuniación*. 2016;7(2):38–47. (in Spanish).
- García-Mazcorro J.F., Mills D., Noratto G. Molecular exploration of fecal microbiome in quinoa-supplemented obese mice. *FEMS Microbiology Ecology*. 2016;92(7). <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw089>
- Rojas W., Pinto M., Soto J.L., Alcocer Y.E. Quinoa genetic resources and ex situ conservation. 2013. *The Paz, Bolivia*. https://agritrop.cirad.fr/575494/1/document_575494.
- Jacobsen S.E.; Mujica A., Ortiz R. La importancia de los cultivos andinos Fermentum. *Revista Venezolana de Sociología y Antropología*. 2003;13(36):14–24. <https://www.redalyc.org/pdf/705/70503603>.
- Apaza R., Smeltkop H., Flores Y., Almanza G., Salcedo L. Effect of (*Chenopodium quinoa* Willd) saponins against phytopathogen (*Cercospora beticola* Sacc). *Revista de Protección Vegetal*. 2016;31(1):63–69.
- Angeli V., Silva P.M., Massuela D.C., Khan M.W., Hamar A., Khajehei F., Graeff-Hönninger S., Piatti C. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An Overview of the Potentials of the “Golden Grain” and Socio-Economic and Environmental Aspects of Its Cultivation and Marketization. *Foods*. 2020;(9):216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
- Delgado G.T.C., Tapia K.C., Huamani M.C.P., B.R. Hamaker Peruvian Andean grains: Nutritional, functional properties and industrial uses. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2022;(11):1–14. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2073960>.

Об авторах:

Валери Мендоса – аспирант,
автор для переписки, 1072188115@rudn.ru
Роберто Мендоса – доктор наук, профессор,
<https://orcid.org/0000-0002-7743-1082>
Дмитрий Владимирович Дмитриев – агроном

About the Authors:

Valeri Mendoza – Graduate Student,
Corresponding Author, 1072188115@rudn.ru
Roberto Mendoza Rendon – Doc. Sci. (Genetics), Prof.,
<https://orcid.org/0000-0002-7743-1082>
Dmitry V. Dmitriev – Agronomist

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-123-128>
УДК 635.21:635-152

Е.С. Караваева

Мурманская государственная сельскохозяйственная опытная станция – филиал ВИР
Россия, Мурманская область,
п. Молочный, ул. Совхозная, 1

*Автор для переписки:

karavaevavolkova@mail.ru

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Караваева Е.С. Результаты испытания сортов картофеля в условиях Европейского Севера. *Овощи России*. 2023;(6):123-128. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-123-128>

Поступила в редакцию: 17.10.2023

Принята к печати: 16.11.2023

Опубликована: 04.12.2023

Ekaterina S. Karavaeva

Murmansk State Agricultural Experiment Station – branch of the VIR
Sovkhoznyaya st. 1, v. Molochny,
Murmansk region, Russia

*Corresponding Author:

karavaevavolkova@mail.ru

Conflict of interest. The author declare that there are no conflicts of interest.

For citation: Karavaeva E.S. Results of testing potato varieties in the European North. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):123-128. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-123-128>

Received: 17.10.2023

Accepted for publication: 16.11.2023

Published: 04.12.2023

Результаты испытания сортов картофеля в условиях Европейского Севера



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Сорта картофеля Евразия и Онежский выведены в результате сотрудничества Мурманской сельскохозяйственной опытной станции и Ленинградского НИИСХ «Белогорка» и внесены в Госреестр РФ в 2014 году (Онежский) и в 2017 году (Евразия). Для определения перспективности выращивания на Кольском Севере сорта были испытаны в условиях Мурманской области.

Материал и методика исследований. Исследования проводили на опытном поле Мурманской ГСХОС – филиала ВИР в 2018-2020 годах. Образцы картофеля Евразия и Онежский получены из Ленинградского НИИСХ «Белогорка». Делянка в опыте включала 4 ряда по 15 клубней в каждом рядке. Схема посадки – 70х35 см. Повторность – четырехкратная. Расположение делянок систематическое со смещением делянок по ярусам. Оценку скороспелости проводили по одной пробной копке на 70-е сутки после посадки. В качестве стандарта использовали сорт Елизавета. Результаты обработаны методом дисперсионного анализа по Доспехову.

Результаты. Результаты исследований показали, что сорт Онежский отличается высокой крахмалистостью, не темнеющая мякоть и хороший вкус, устойчив к возбудителям болезней: *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival, *Streptomyces scabies* (Thaxter), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens, относительно устойчив к *Phytophthora infestans* (Mont. De Bary), слабо поражается Potato virus Y (PVY), Potato leaf roll virus (PLRV). Сорт Онежский в среднем за три года исследований превысил показатели стандартного образца по урожайности и продуктивности растений. Сорт Евразия обладает высокой крахмалистостью, хорошим вкусом, кулинарным типом В, устойчив к возбудителям болезней: Potato virus Y (PVY), Potato leaf roll virus (PLRV), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens, *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival, умеренно восприимчив к *Phytophthora infestans* (Mont. De Bary). Сорт Евразия также превысил показатели стандартного образца по урожайности и продуктивности растений. Таким образом, сорта картофеля Онежский и Евразия рекомендуются для выращивания на Кольском Севере.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

экологическое испытание, модель идеального сорта, адаптивная селекция, устойчивость к стрессам, урожайность, Крайний Север

Results of testing potato varieties in the European North

ABSTRACT

Relevance. Potato varieties Eurasia and Onezhskiy were developed as a result of cooperation between the Murmansk State Agricultural Experiment Station – branch of the VIR and the Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture "Belogorka" and were included in the State Register of the Russian Federation in 2014 (Onezhskiy) and in 2017 (Eurasia). To determine the prospects for cultivation in the Kola North, the varieties were tested in the conditions of the Murmansk region.

Materials and methods. The research was carried out on the experimental field of the Murmansk State Agricultural Experiment Station – branch of the VIR in 2018-2020. Potato varieties Eurasia and Onezhskiy were obtained from the Leningrad Research Institute of Agriculture "Belogorka". The plot in the experiment included 4 rows of 15 tubers in each row. The planting pattern is 70x35 cm. Repetition – four times. The location of the plots is systematic with the plots being shifted along tiers. Early maturity was assessed using one test coping on the 70th day after planting. The Elizabeth variety was used as a standard. The results were processed using the method of analysis of variance according to Dospekhov.

Results. The research results showed that the Onezhskiy variety is distinguished by high starchiness, non-darkening flesh and good taste, is resistant to pathogens: *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival, *Streptomyces scabies* (Thaxter), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens, relatively resistant to *Phytophthora infestans* (Mont. De Bary), is weakly affected by Potato virus Y (PVY), Potato leaf roll virus (PLRV). The Onezhskiy variety, on average, over three years of research exceeded the standard sample in terms of yield and plant productivity. The Eurasia variety has high starch content, good taste, culinary type B, is resistant to pathogens: Potato virus Y (PVY), Potato leaf roll virus (PLRV), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens, *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival, moderately susceptible to *Phytophthora infestans* (Mont. De Bary). The Eurasia variety also exceeded the standard sample in terms of yield and plant productivity. Thus, the Onezhskiy and Eurasia potato varieties are recommended for cultivation in the Kola North.

KEYWORDS:

ecological testing, model of the ideal variety, adaptive breeding, stress resistance, yield, Far North

Введение

Формирование и развитие внутреннего агропромышленного потенциала северных территорий в долгосрочной перспективе включает проведение научных исследований, учитывающих специфику сельскохозяйственного производства в условиях приполярных широт. Создание благоприятных и безопасных с точки зрения обеспеченности продовольствием условий жизни людей подразумевает комплексный подход, включающий в себя, в том числе, исследования в области адаптивной селекции, например, разработке научно обоснованных моделей адресных сортов картофеля, выявлению наиболее адаптированных, с максимальной и устойчивой продуктивностью в экологических условиях региона сортов и гибридов. В Мурманской области работы по этим направлениям ведутся уже более 25 лет на базе комплексного научно-исследовательского учреждения Мурманская государственная сельскохозяйственная опытная станция – филиал ВИР.

Первоначальными задачами опытной станции являлись разработка для условий Крайнего Севера научно обоснованной модели сорта картофеля, отвечающей требованиям различных групп производителей и перерабатывающей промышленности, а также проведение исследований в области повышения качества и эффективности выращивания картофеля – по разработке ресурсосберегающей методики производства картофеля для условий Крайнего Севера.

В дальнейшем, на основании специально разработанной для местных условий методики экологического испытания [1], обеспечивающей ускоренное выявление лучших из перспективных образцов селекции, с наиболее устойчивой продуктивностью в условиях региона, исследования дополнились решением задач в области адаптивной селекции по созданию гибридов картофеля на основе мобилизации и расширения генетического разнообразия исходного материала новых молекулярно-генетических методов идентификации ценных генов в условиях Европейского Севера.

Суровые климатические условия Мурманской области не стали помехой для развития в регионе агропромышленного комплекса. Практически с момента начала активного производственного освоения этих земель берет и свое начало история Мурманской государственной сельскохозяйственной опытной станции – филиала ВИР. В 1926 году по предложению «Комитета Севера» над руководством Наркомзема РСФСР, под эгидой создаваемой сети ветеринарно-зоотехнических опытных станций для стационарного изучения оленеводства, открылся оленеводческий опорный пункт в п. Оксина Ловозерского района, в 3-х км от с. Краснощелье. В 1934 году вся опытная сеть института оленеводства была передана в ведение Всесоюзного арктического института ГУ СМИ, а опытная станция стала называться

Мурманская зональная оленеводческая станция (МЗОС) вплоть до 1938 года, когда перешла в подчинение НИИ полярного земледелия, животноводства и промыслового хозяйства, затем получившего название НИИ сельского хозяйства Крайнего Севера.

В зависимости от развития агропромышленного комплекса региона, смены запросов производства, ведомственной подчиненности и наличия научных кадров изменялись и приоритеты научных исследований опытной станции, дополнялись новыми направлениями и задачами. В 1957 году МЗОС из глубины Ловозерского района была переведена на станцию Лопарская Кольского района, укреплена присоединением Каневского оленеводческого совхоза и в 1959 году переименована в Мурманскую оленеводческую опытную станцию (МООС). Однако в связи с увеличением числа направлений научных исследований по свиноводству, птицеводству, молочному промышленному животноводству МООС в 1978 году была переведена в п. Молочный Кольского района и передана в подчинение Отделения ВАСХНИЛ по НЗ РСФСР, превратившись в комплексное научно-исследовательское учреждение [2]. С 2001 года организация была переименована в Мурманскую государственную сельскохозяйственную опытную станцию. В сентябре 2023 года станция присоединилась к Всероссийскому институту генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) и стала называться Мурманская государственная сельскохозяйственная опытная станция – филиал ВИР.

С 90-х годов XX века, на фоне экономического спада, в агропромышленном комплексе Мурманской области проявилась тенденция снижения производственных площадей, занятых под картофель [3]. Для изучения причин и поиска методов преодоления возникшего кризиса в региональной отрасли на базе опытной станции исследования в растениеводстве расширились областью картофелеводства.

Экологически безопасные ресурсосберегающие технологии возделывания картофеля в условиях Крайнего Севера для фермерских и крестьянских хозяйств Мурманской области, научно-исследовательские разработки по определению перспективных сортов, а также влияние агротехнических приемов на продуктивность картофеля в условиях заполярных широт были одними из первых направлений исследований отдела картофелеводства опытной станции.

Изначально работы на опытной станции проводили преимущественно с зарубежными сортами (рис.1). В дальнейшем, число принятых к изучению сортов отечественной селекции расширилось. С 1996 года для экологической проверки выращивания в местных условиях были приняты сорта картофеля Амазон, Сантэ, Троль, Снэгг, Ван-Гог, Бинтже, Остара, Глория, Браген, Сабина, Велокс, Суви, Сату, Адора,



Рис. 1. Сотрудничество с финскими коллегами по селекции картофеля



Рис. 2. Образцы картофеля для экологического испытания



Рис. 3. Экспериментальный участок

Сини. Из образцов отечественной селекции на испытание взяли сорт Имандра.

С 1999 года работа опытной станции успешно проводилась в тесном сотрудничестве и координации с Северо-Западным научно-исследовательским институтом сельского хозяйства (СЗНИИСХ). Для экологического испытания продуктивности, вкусовых качеств и адаптивных свойств были приняты сорта картофеля селекции СЗНИИСХ Елизавета, Невский, Снегирь, Жаворонок, Изора, Рождественский, а в дальнейшем и перспективные сортообразцы (гибриды) (рис.2).

Для населения многих районов нашей страны картофель является важным источником витамина С. В свежесобранном картофеле содержится в среднем 20 мг% витамина С, представленного почти целиком восстановленной формой аскорбиновой кислоты (на долю дегидроформы приходится 2-3 мг%) [4]. Экологические испытания и подбор лучших сортообразцов различной скороспелости, высокоурожайных, высокотоварных, с повышенным содержанием крахмала, белка и витаминов в клубнях, обладающих хорошими вкусовыми качествами и лёжкостью при хранении, устойчивых к заболеваниям, пригодных для использования на продовольствие и к промышленной переработке [5] для почвенно-климатических условий Мурманской области проводятся на опытной станции и сейчас.

Материалы и методика

Агрометеорологические условия Заполярья (табл. 1) не всегда позволяют даже ранним сортам картофеля сформировать урожай с высоким содержанием питательных веществ и способностью к длительному зимнему хранению. Оценка климатического потенциала территории была проведена по гидротермическому коэффициенту (ГТК) Селянинова, её результаты представлены в таблице 1.

В условиях полярного дня многие ранние сорта склонны к образованию внутренних пустот, а избыточная влажность проявляется в клубнях в виде их уродства и растрескивания.

Среднеранние сорта дают клубни лучшего качества за счет наполнения мякотью, но недостаток тепла в течение вегетационного периода приводит к снижению содержания крахмала и накоплению сухого вещества. Поэтому, чтобы накапливать высокий процент крахмала в этих условиях, сорт изначально должен быть выбран с повышенным содержанием крахмала.

Изучение с целью выявить сортообразцы картофеля, наиболее приспособленные к неблагоприятным климатическим условиям, проводится методом сравнения с разработанной моделью идеального сорта для индустриальных технологий в условиях Крайнего Севера (рис.3), включающую комплекс уникальных требований к технико-экономическим показателям, обусловленных агроклиматическими особенностями заполярных областей [6].

Исследования проводили на опытном поле Мурманской ГСХОС – филиала ВИР в п. Молочный в 2018-2020 годах. Сорта картофеля Евразия и Онежский получены из Ленинградского

научно-исследовательского института сельского хозяйства «Белогорка».

Характеристика опытного участка: почва дерновослабоподзолистая, pH солевой вытяжки – 5,5 подвижный фосфор – 20,0 мг и обменный калий – 14,0 мг на 100 г почвы, содержание гумуса – 2,8%. Делянка в опыте включала 1 рядок из 30 клубней. Повторность – четырёхкратная. Расположение делянок систематическое со смещением делянок по ярусам. Предшественник – картофель. Внесено по 500 кг/га удобрения «Азофоска» (нитроаммофоска) N:P:K=16:16:16, по 80 мг/кг действующего вещества каждого элемента.

Перед посадкой клубни проращивали в течение 20 дней: освещенность 60 Вт/м², температура в течение 10 дней составляла 14°C, в последующие дни поддерживалась температура около 20°C. Уход за посадками включал три дождевые обработки, два послеуборочных окучивания. Из-за особенностей климатического и светового режима заполярных территорий, удаление ботвы не производили. Для оценки сортов на способность формировать ранний урожай, проводили пробную копку – на 70 суток после посадки. Выкапывали 10% кустов с делянки в четырёх повторностях. Все результаты обработаны методом дисперсионного анализа по Доспехову [7].

В качестве стандарта использовали сорт Елизавета (СЗНИИСХ) – столовый тип, является среднеранним для Мурманской области.

Метод оценки картофеля по модели идеального сорта для условий Крайнего Севера позволяет выделить максимально адаптированные среди образцов с оптимальным сочетанием характеристик для конкретных условий окружающей среды. Способность гибридов картофеля формировать количество и массу клубней выше стандарта в полярный день, под воздействием негативных агроклиматических факторов [8] относит их в разряд перспективных для выращивания в районах Европейского Севера (рис.4).

Сопоставление результатов измерений изучаемых сортов и селекционных образцов картофеля с моделью идеального сорта (табл. 2) позволяет обосновано с высокой степенью достоверности оценивать свойства сортов и селекционных образцов по их устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам, по биологическим и хозяйственным признакам в условиях Европейского Севера [9].

Картофель относится к числу культур, в сильной степени поражаемых болезнями. В значительной степени это обусловлено особенностями биологии растения картофеля [10]. Устойчивость определялась к возбудителям болезней (*Phytophthora infestans* (Mont. De Bary), *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival, *Streptomyces scabies* (Thaxter), *Ditylenchus destructor* (Thorne), *Fusarium sambucinum*).

Выращивание картофеля в Мурманской области необходимо для создания продовольственной независимости в регионе [11]. Для стабилизации сборов картофеля в области

Таблица 1. Агрометеорологические условия Заполярья в 2018-2020 годах
Table 1. Agrometeorological conditions of the Arctic in 2018-2020

Год опыта	Дата посадки	От посадки до первой копки (70 дней)			
		Σ среднесуточных температур, С°	Σ осадков, мм	ГТК	Категория зоны по классификации влагообеспеченности
2018	07.06.18	1037,05	117,3	1,13	слабозасушливая
2019	03.06.19	413,2	44,7	1,08	слабозасушливая
2020	11.06.20	940,8	103,8	1,08	слабозасушливая



Рис.4. Оценка ранней продуктивности



Рис. 5. Клубни сорта Онежский

необходимы высокоурожайные сорта, обладающие высокой резистентностью к вредителям и болезням, лежкие в период хранения. Полученные в процессе изучения экспериментальные данные, характеризующие высокий биологический и экономический потенциал исследуемых сортов, подтверждают перспективность и обоснованность работы в направлении адаптивной селекции с целью эффективного использования природных ресурсов [12, 13].

Результаты и их обсуждение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – довольно популярная в России сельскохозяйственная культура, клубни которой являются основным продуктом питания населения. Для Севера актуально пополнять ассортимент ранних сортов картофеля, приспособленных к выращиванию в экстремальных условиях [14]. Растения данной культуры обладают широкой адаптивностью и пластичностью, что позволяет

размножать картофель в различных почвенных условиях, а также возделывать несколько сортов одновременно [15]. Многолетние исследования выявили общие закономерности воздействия биотических и абиотических стрессоров на растительный организм картофеля на Европейском Севере [16].

На основе многолетних наблюдений и изучения взаимодействия «генотип-окружающая среда» определены следующие обязательные характеристики и требования [17] к разрабатываемым сортам:

- картофель для созревания должен быть раннеспелым или среднеранним;
- стебли должны иметь морфологически ограниченный рост;
- картофель должен обладать способностью к клубнеобразованию в течение полярного дня;
- увеличение массы клубней должно происходить в течение всего вегетационного периода.

Таблица 2. Характеристика модели идеального сорта картофеля для Кольского Севера.
Table 2. Characteristics of the ideal potato variety model for the Kola North.

№ п.п.	Наименование хозяйственно ценных признаков	Единица измерения	Технико-экономические показатели
1.	Сроки созревания	дни	55-60
2.	Урожайность	т/га	20-25
3.	Товарность	%	90
4.	Куст		прямостоячий, компактный
5.	Число стеблей	шт.	4-8
6.	Количество клубней в гнезде	шт.	9-12
7.	Гнездо		компактное
8.	Способность к клубнеобразованию		в период полярного дня
9.	Наращение массы клубней		весь период вегетации
10.	Способность усваивать питательные вещества		высокая
11.	Содержание крахмала в клубне		высокое
12.	Глазки		среднего заглубления
13.	Вкус клубня		хороший
14.	Мякоть после варки		не должна темнеть
15.	Структура мякоти		плотная
16.	Дуплистость		отсутствие
17.	Лёжкость	%	90
18.	Устойчивость к возбудителям болезней		<i>Phytophthora infestans</i> (Mont. De Bary), <i>Synchytrium endobioticum</i> (Schilbersky) Percival, <i>Ditylenchus destructor</i> (Thorne), <i>Streptomyces scabiei</i> (Thaxter), <i>Fusarium sambucinum</i> , <i>Globodera rostochiensis</i> (Wollenweber) Behrens
19.	Устойчивость		к засухе, переувлажнению, пониженным температурам.

Таблица 3. Продуктивность картофеля, 2018-2020 годы
Table 3. Potato productivity, 2018-2020

	Урожайность т/га		Товарность, %	Масса клубней с куста, г		Количество клубней, шт./куст		Масса одного клубня, г	
	товарная	средняя	средняя	товарная	средняя	товарная	средняя	товарная	средняя
2018 год									
Стандарт	25,26	27,11	93	619	665	8,0	11,3	79,3	59,8
Онежский	19,9*	21,56*	92,3	488*	528**	8,0	11,3	60,5**	47,8
Евразия	12,5***	15,45***	84,3	306***	338***	8,0	11,3	39,3***	31,0***
2019 год									
Стандарт	12,42	13,27	93,45	304	325	6	8	52,2	41,5
Онежский	18,04***	19,75***	91,48	442***	484***	10,75***	13,25***	40,7***	36,7***
Евразия	22,73***	24,46***	92,73	557***	599***	9,7***	12,75***	56,7***	47,7***
2020 год									
Стандарт	0,62	1,04	59,2	16	27	0,75	2,75	32,2	10,75
Онежский	2,69***	3,45***	77,8***	65,7***	84,5***	2,0***	3,75**	32,2	22,0***
Евразия	0,38	0,98	38,5***	9,2	24,0	0,5	3,75**	21,7***	7,0**

*значение между $HSP_{0,5}$ и $HSP_{0,1}$ (различие от стандарта достоверно на первом уровне значимости)

**значение между $HSP_{0,1}$ и $HSP_{0,01}$ (различие от стандарта достоверно на втором уровне значимости)

***значение больше $HSP_{0,01}$ (различие от стандарта достоверно на третьем уровне значимости)

В результате сотрудничества Мурманской сельскохозяйственной опытной станции и Ленинградского научно-исследовательского института сельского хозяйства «Белогорка» в 2006 году были выведены сорта Евразия и Онежский и внесены в Госреестр РФ: Онежский – в 2014 году и Евразия – в 2017 году.

С целью определения перспективности сортов Онежский и Евразия для условий Мурманской области, была проведена оценка продуктивности и ранней урожайности сортов на 70 сутки после посадки (табл. 3). Для сравнения представлено три сорта ($I=3$), каждый вариант в 4-х повторностях ($n=4$). Общее число наблюдений в опыте $N=In=3 \cdot 4=12$, $N=12$ [7]. Общее число степеней свободы $N-1=12-1=11$, степень свободы для вариантов (числителя) $I-1=3-1=2$, степень ошибки (знаменателя) $N-I=12-3=9$. Значение критерия F на 5%-ном уровне значимости (вероятность 95%) = 4,26.

Сорт Онежский (ранее гибрид 9681/4N) при выращивании в условиях очень короткого прохладного северного лета формирует урожай выше стандартного сорта. Имеет нейтральное отношение к длинному световому дню. Благодаря своей адаптивной способности увеличивать урожай в условиях недостаточных температур сорт имеет преимущество с точки зрения урожайности. Его отличает высокая крахмалистость, не темнеющая мякоть и хороший вкус. Сорт устойчив к возбудителям болезней: *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival, *Streptomyces scabies* (Thaxter), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens, относительно устойчив к *Phytophthora infestans* (Mont. De Bary), слабо поражается Potato virus Y (PVY), Potato leaf roll virus (PLRV). Кроме того, сорт показал высокий уровень сохранности и длительный период послеуборочного покоя. Это очень ценное свойство для регионов с длительным сроком хранения картофеля. По результатам исследований картофель сорта Онежский в 2019

году превысил показатели стандартного образца (сорт Елизавета) по урожайности, массе клубней с одного куста, количеству клубней с куста. На третий год исследований сорт по всем показателям превысил значения стандарта (табл. 3).

Сорт Евразия обладает способностью увеличивать урожай в условиях недостаточных температур, демонстрируя превосходство в урожайности в неблагоприятные годы. Сорт обладает высокой крахмалистостью, хорошим вкусом, кулинарным типом В. Сорт Евразия устойчив к возбудителям болезней: Potato virus Y (PVY), Potato leaf roll virus (PLRV), *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens, *Synchytrium endobioticum* (Schilbersky) Percival, умеренно восприимчив к *Phytophthora infestans* (Mont. De Bary). Сорт показал высокий уровень лёжкости и длительный период послеуборочного покоя. По результатам исследований картофель сорта Евразия в 2019 году превысил показатели стандартного образца по урожайности, массе клубней с одного куста, количеству клубней с куста, массе одного клубня (табл. 3).

Заключение

Проведенные в 2018-2020 годах исследования в условиях Мурманской области показали, что сорта картофеля Онежский и Евразия в условиях очень короткого прохладного северного лета формируют урожай выше стандартного сорта, устойчивы к основным болезням и могут быть рекомендованы для выращивания на Кольском Севере.

Выращивание сортов картофеля, неприхотливых к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям Арктики, с надежными качественными показателями высокой урожайности в сочетании с раннеспелостью, позволит гарантированно обеспечить население северного региона биологически полноценными, свежими продуктами питания.

• Литература / References

1. Синицына С.М., Евдокимова З.З., Данилова Т.А., Стефанова Н.А. Методические указания по выполнению научных исследований в НИУ СЗНЦ Россельхозакадемии по заданию 17.01.03 НТП "Агро-Северо-Запад-2005". Санкт-Петербург-Пушкин, 2001. 18 с. EDN VMPNMB.
2. Фирсов В.И., Кузьмина Л.Н., Карташова А.П. История создания Мурманской государственной сельскохозяйственной опытной станции. Решение актуальных проблем продовольственной безопасности Крайнего Севера: сборник статей, посвященный 90-летию создания Мурманской государственной сельскохозяйственной опытной станции / [отв. ред. В.И. Фирсов]. Мурманск: МАГУ, 2016. С. 3-9. EDN XFXCSX.
3. Челнокова В.В., Карташова А.П. Анализ самообеспеченности продовольствием Мурманской области. *АПК: экономика, управление*. 2020;(11):52-61. ADOI 10.33305/2011-52. EDN NWBVHT.
4. Пшеченков П.А., Зейрук В.Н., Еланский С.Н., Мальцев С.В. Технологии хранения картофеля. «Картофелевод», 2007. 191 с. EDN FNPNUC.
5. Евдокимова З.З., Калашник М.В. Использование генетических резервов сложных межвидовых гибридов картофеля для создания сортов, устойчивых к био- и абиотическим факторам среды. Развитие земледелия в Нечерноземье: проблемы и их решение : Сборник трудов по итогам международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург - Пушкин, 09 ноября 2016 года. Санкт-Петербург - Пушкин: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка», 2016. С. 66-72. EDN YTTJZL.
6. Нелюбина Н.А. Модель сорта картофеля для условий Крайнего Севера: НТП. Молочный, МГСХОС, 2005. С. 7-8.
7. Доспехов В.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. С. 256.
8. Мельничук Г.Д., Костюк В.И., Куликова Н.Т. Физиология и биохимия картофеля на Кольском Севере. Апатиты, 1997. С. 7-8.
9. Челнокова В.В., Евдокимова З.З. Оценка биологического и хозяйственного потенциала гибридов картофеля в условиях Европейского Севера России. *Аграрная Россия*. 2019;(5):21-25. DOI 10.30906/1999-5636-2019-5-21-25. EDN IYUDCQ.
10. Попкова К.В., Шнейдер Ю.И., Воловик А.С., Шмыгля В.А. Болезни картофеля. Москва «Колос», 1980. С. 6.
11. Архипов М.В., Синицына С.М., Данилова Т.А. Роль сорта в обеспечении продовольственной независимости Северо-Запада России. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;(54):276-281. EDN UXKNCB.
12. Евдокимова З.З., Калашник М.В., Котова З.П. Инновации в создании скороспелых сортов картофеля для условий Северо-Запада и Европейского Севера РФ. Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири : Монография. В 5 томах. Под редакцией В.Г. Сычева, Л. Мюллера. Том I. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. С. 496-499. DOI 10.5072/1863.2018.1722.001. EDN YNPPLF.
13. Жигадло Т.Э. Биологические особенности развития ранних сортов картофеля в условиях Мурманского региона. *Овощи России*. 2022;(4):40-45. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-4-40-45>. EDN CWETFS.
14. Травина С.Н. Урожайность и продовольственные качества картофеля на Крайнем Севере. *Проблемы современной науки и образования*. 2018;5(125):33-39. DOI 10.20861/2304-2338-2018-125-003. EDN YVVRWK.
15. Симakov Е.А., Митюшкин А.В., Жарова В.А., Григорьев Г.В., Журавлев А.А., Гайзатулин А.С. Использование эколого-географических факторов для повышения результативности селекции картофеля. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(11):44-46. EDN VBBIKD.
16. Евдокимова З.З., Калашник М.В., Головина Л.Н., Челнокова В.В., Котова З.П. Подбор перспективных гибридов картофеля по параметрам их адаптивности для условий Европейского Севера. *Аграрный вестник Урала*. 2019;7(186):26-32. DOI 10.32417/article_5d52af44264156.24918284. EDN SCOTBP.
17. Челнокова В.В. Экологическое испытание сортообразцов картофеля в условиях Мурманской области. *Экология и строительство*. 2018;(1):60-65. DOI 10.24411/2413-8452-2018-00010. EDN XQZIEP.

• References

1. Sinitsyna S.M., Evdokimova Z.Z., Danilova T.A., Stefanova N.A. Guidelines for the implementation of scientific research of the NRU SZNTS on the topic January 17, 2003 NTP "Agro- North-West of the Russian Federation 2005". SPb.-Pushkin, 2001. 18 p. EDN VMPNMB. (In Russ.)
2. Firsov V.I., Kuzmina L.N., Kartashova A.P. The history of the creation of the Murmansk State Agricultural Experimental Station. Solving urgent problems of food security in the Far North: a collection of articles dedicated to the 90th anniversary of the creation of the Murmansk State Agricultural Experimental Station. [resp. ed. V.I. Firsov]. Murmansk: MAGU, 2016. Pp. 3-9. EDN XFXCSX. (In Russ.)
3. Chelnokova V.V., Kartashova A.P. Analysis of self-reliance on food in the Murmansk region. *AIC: economics, management*. 2020;(11):52-61. DOI 10.33305/2011-52. EDN NWBVHT. (In Russ.)
4. Pshechenkov P.A., Zeiruk V.N., Elansky S.N., Maltsev S.V. Potato storage technologies. "Potato grower", 2007. 191 p. EDN FNPNUC. (In Russ.)
5. Evdokimova Z.Z., Kalashnik M.V. Use of genetic reserves of complex interspecific potato hybrids to create varieties resistant to bio- and abiofactors of the environment. // Development of agriculture in the Non-Chernozem region: problems and their solution: Proceedings of the intern. sci. and pract. conf. SPbGAU. St. Petersburg, 2016. Pp. 66-72. EDN YTTJZL. (In Russ.)
6. Nelyubina N.A. Potato variety model for the conditions of the Far North: STP. Molochniy, MGSPOS, 2005. Pp. 7-8. (In Russ.)
7. Dospekhov V.A. Metodika polevogo opyta. M.: Kolos, 1979. P. 256. (In Russ.)
8. Melnichuk G.D., Kostyuk V.I., Kulikova N.T. Physiology and biochemistry of potatoes in the Kola North. Apatity, 1997. Pp. 7-8. (In Russ.)
9. Chelnokova V.V., Evdokimova Z.Z. Evaluation of the biological and economic potential of potato hybrids in the European North of Russia. *Agricultural Russia*. 2019;(5):21-25. DOI 10.30906/1999-5636-2019-5-21-25. EDN IYUDCQ. (In Russ.)
10. Popkova K.V., Shneider Yu.I., Volovik A.S., Shmyglya V.A. Potato diseases. Moscow "Kolos", 1980. P. 6. (In Russ.)
11. Arhipov M.V., Sinitsyna S.M., Danilova T.A. Role of the grade and seeds in providing food security of the North-West of Russia. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015;(54):276-281. EDN UXKNCB. (In Russ.)
12. Evdokimova Z.Z. [et al.] Innovations in the creation of early-ripening potato varieties for the conditions of the North-West and the European North. New methods and results of landscape studies in Europe, Central Asia and Siberia: a collective monograph. In 5 volumes. The landscape in the XXI century: analysis of the state, the basic processes and concepts of research. Under the editorship of academician of RAS V.G. Sychev, L. Muller. Moscow: publishing house of the Federal State Scientific Institution "Institute of agricultural chemistry", 2018. P. 496-499. DOI 10.5072/1863.2018.1722.001. EDN YNPPLF. (In Russ.)
13. Zhigadlo T.E. Biological features of the development of early potato varieties in the Murmansk region. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(4):40-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-4-40-45>. EDN CWETFS.
14. Travina S.N. Productivity and food quality of potatoes in the Far North. *Problems of modern science and education*. 2018;5(125):33-39. DOI 10.20861/2304-2338-2018-125-003. EDN YVVRWK. (In Russ.)
15. Simakov E.A., Mityushkin V.A., Zharova A.V., Grigoriev G.V., Zhuravlev A.A., Gayzatulin A.S. Use of ecological and geographic factors to improve the efficiency of potato breeding. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2015;29(11):44-46. EDN VBBIKD. (In Russ.)
16. Evdokimova Z.Z., Kalashnik M.V., Golovina L.N., Chelnokova V.V., Kotova Z.P. Perspective potato hybrids selection by their adaptability factors in the European North conditions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;7(186):26-32. DOI 10.32417/article_5d52af44264156.24918284. EDN SCOTBP. (In Russ.)
17. Chelnokova V.V. Provenance trials of variety samples of potato under the conditions of Murmansk region. *Ekologiya i stroitelstvo*. 2018;(1):60-65. DOI 10.24411/2413-8452-2018-00010. EDN XQZIEP. (In Russ.)

Об авторе:

Екатерина Сергеевна Караваева – старший научный сотрудник, karavaevavolkova@mail.ru.

About the Author:

Ekatereina S. Karavaeva – Senior Researcher, karavaevavolkova@mail.ru.

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-129-135>
УДК 633.63:581.144.043

П.А. Верник¹, В.Н. Зеленков^{2,3*},
В.В. Латушкин¹, А.А. Кособрюхов⁴,
В.Б. Новиков¹, Л.Н. Путилина⁵,
М.И. Иванова⁵, С.В. Гаврилов¹

¹ Автономная некоммерческая организация

«Институт стратегий развития»

107031, Россия, г. Москва,

ул. Петровка, д. 15/13, стр. 5

² Всероссийский научно-исследовательский инсти-

тут овощеводства – филиал Федерального госу-

дарственного бюджетного научного

учреждения «Федеральный научный центр

овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО)

140153, Россия, Московская область, Раменский

район, д. Верея, стр. 500

³ Федеральное государственное бюджетное научное

учреждение «Всероссийский

научно-исследовательский институт

лекарственных и ароматических растений»

117216, Россия, г. Москва, ул. Грина, д. 7

⁴ Федеральное государственное бюджетное научное

учреждение Институт фундаментальных проблем

биологии «Федеральный

исследовательский центр «Пушкинский научный

центр биологических исследований

Российской академии наук»

142290, Россия, Московская область,

г. Пушкино, Проспект Науки, д. 3.

⁵ Федеральное государственное бюджетное научное

учреждение «Всероссийский

научно-исследовательский институт

сахарной свеклы имени А.Л. Мазлумова»

396030, Россия, Воронежская область, Рамонский

район, п. ОПХ ВНИИСС, д. 86

*Автор для переписки: zelenkov-raen@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют

об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали

в анализе материалов, написании текста статьи и

формировании выводов.

Для цитирования: Верник П.А., Зеленков

В.Н., Латушкин В.В., Кособрюхов А.А., Новиков В.Б.,

Путилина Л.Н., Иванова М.И., Гаврилов С.В. Влияние

увеличения доли дальней красной области в полно-

спектральном световом излучении на рост и раз-

витие растений сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L. ssp.

vulgaris var. *saccharifera* Alef.) в закрытых агробихно-

системах. *Овощи России*. 2023;(6):129-135.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-129-135>

Поступила в редакцию: 28.08.2023

Принята к печати: 19.10.2023

Опубликована: 04.12.2023

Petr A. Vernik¹, Valery N. Zelenkov^{2,3*},

Vyacheslav V. Latushkin¹,

Anatoly A. Kosobryukhov⁴,

Vladimir B. Novikov¹, Lyudmila N. Putilina⁵,

Maria I. Ivanova⁵, Sergey V. Gavrilo¹

¹Independent NPO Institute for Socio-Economic

Strategies and Development Technologies (Institute for

Development Strategies)

15/13, bldg. 5, Petrovka str.,

Moscow, 107031, Russia

²All-Russian Research Institute of Vegetable Growing –

branch of the Federal State Budgetary Scientific

Institution

"Federal Scientific Vegetable Center"

p. 500, Vereya village, Ramensky district,

Moscow region, 140153, Russia

³All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal

and Aromatic Plants.

ароматических растений»

7, Grina str., Moscow, 117216

⁴Institute of Basic Biological Problems

of Russian Academy of Sciences (IBBP RAS)

3, Prospekt Nauki, Pushchino,

Moscow region, Russia, 142290

⁵The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute

of Sugar Beet and Sugar

86, VNISS, Ramonsky district,

Voronezh region, Russia, 396030

*Corresponding Author: zelenkov-raen@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare that there are

no conflicts of interest.

Authors' Contribution. All authors participated in the

analysis of materials, writing the text of the article and

forming conclusions.

For citation: Vernik P.A., Zelenkov V.N., Latushkin V.V.,

Kosobryukhov A.A., Novikov V.B., Putilina L.N., Ivanova

M.I., Gavrilo S.V. The effect of increasing the propor-

tion of the far red region in full-spectrum LED irradiation

on the growth and development of sugar beet plants

(*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *saccharifera* Alef.) in

closed agrobiotechnological systems. *Vegetable crops*

of Russia. 2023;(6):129-135. (In Russ.)

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-129-135>

Received: 28.08.2023

Accepted for publication: 19.10.2023

Published: 04.12.2023

Влияние увеличения доли даль- ней красной области в полноспектральном светодиодном облучении на рост и развитие растений сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L. ssp. *vul-* *garis* var. *saccharifera* Alef.) в закрытых агробихносистемах



РЕЗЮМЕ

Актуальность и методология. С целью определения влияния увеличения доли дальнего красного света (различного соотношения красного и дальнего красного света) в общем спектре полихромного облучения на показатели роста растения сахарной свеклы гибрида Смена выращивали в течение 82 суток при светодиодном освещении в условиях регулируемого климата в цифровом устройстве «Синерготрон» модели ИСР 2.01 с двукратным увеличением доли дальнего красного света по сравнению с контролем.

Результаты. Увеличение доли дальнего красного света приводило к повышению удельной массы листьев при меньшей их площади в начальный период роста растений, более высоким значениям квантового выхода фотосинтеза, скорости электронного транспорта и снижению потерь энергии преимущественно в тепло. Биометрические показатели растений изменялись в зависимости от периода онтогенеза. В начальный период превалировала биомасса надземной части, в последующий – биомасса корнеплодов. В опытном варианте накопление биомассы в надземной части растений в начальный период эксперимента оказалась меньше, чем в контроле, и только в конце эксперимента отмечено превышение общей биомассы в опытном варианте на 12,2%. Происходило повышение накопления биомассы корнеплода по сравнению с контролем на 38,7%. Преобладающую часть надземной биомассы сахарной свеклы составляли листовые пластинки, доля черешков значительно меньше и практически не зависела от состава света. В конце периода выращивания содержание сухих веществ в корнеплодах возрастало на 2,44% по сравнению с контролем, сахаристость – на 0,65%. Полученные данные могут быть использованы при разработке технологии искусственного освещения сахарной свеклы при выращивании в закрытых агробихносистемах с целью повышения урожайности и сахаристости корнеплодов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

синерготрон, закрытая агробихносистема, свекла сахарная, дальний красный свет, спектральный состав, флуоресценция хлорофилла, биометрические показатели

The effect of increasing the proportion of the far red region in full-spectrum LED irradiation on the growth and develop- ment of sugar beet plants (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *saccharifera* Alef.) in closed agrobiotechnological systems

ABSTRACT

Relevance and methodology. In order to determine the effect of increasing the proportion of far red light (different ratio of red and far red light) in the total spectrum of polychrome irradiation on the growth rates of sugar beet plants of the Smena hybrid, they were grown for 82 days under LED lighting under controlled climate conditions in a Synergotron digital device of the ISR 2.01 model with a twofold increase in the proportion of far red light compared to control.

Results. An increase in the proportion of far red light led to an increase in the specific weight of leaves with a smaller area of leaves in the initial period of plant growth, higher values of the quantum yield of photosynthesis, the rate of electron transport, and a decrease in energy losses mainly to heat. The biometric indicators of plants changed depending on the period of ontogeny. In the initial period, the biomass of the aerial part prevailed, in the subsequent period, the biomass of root crops. In the experimental variant, the accumulation of biomass in the aerial parts of plants in the initial period of the experiment turned out to be less than in the control, and only at the end of the experiment was an excess of the total biomass in the experimental variant by 12.2%. There was an increase in the accumulation of root biomass compared to the control by 38.7%. The predominant part of the aboveground biomass of sugar beet was made up of leaf blades, the proportion of petioles was much less and practically did not depend on the composition of the light. At the end of the growing period, the dry matter content in root crops increased by 2.44% compared to the control, sugar content – by 0.65%. The data obtained can be used in the development of technology for artificial lighting of sugar beets when grown in closed agrobiotechnosystems in order to increase the yield and sugar content of root crops.

KEYWORDS:

synergotron, closed agrobiotechnosystem, sugar beet, far red radiation, spectral composition, chlorophyll fluorescence, biometric indicators

Введение

Повышение эффективности выращивания растений в светокультуре во многом связано с внедрением технологий, включающих создание оптимального светового режима. Использование светодиодных облучателей (СД) позволяет резко сократить энергозатраты, подобрать наиболее благоприятный для роста и развития растений спектральный состав облучения. В этой связи не удивительно значительное количество работ, направленных на изучение роста и развития растений, активность фотосинтетического аппарата и ряда метаболических процессов растений при различном соотношении основных спектральных диапазонов [1,2].

Большинство растений поглощают свет в сине-фиолетовой области (от 380 до 490 нм) и в оранжево-красной области (от 595 до 710 нм), но пропускают или отражают свет в дальнем красном (ДКС) диапазоне (от 700 до 800 нм). Таким образом, свет, отраженный от надземной части растений, имеет пониженное отношение красного (КС) к дальнему красному (ДКС) свету (КС/ДКС). Например, отношение КС/ДКС дневного света составляет около 1,19 по сравнению с 0,13 внутри полога листьев растения плюща (*Hedera spp.*) [3]. Растения развили способность чувствовать и реагировать на изменения качества света с использованием семейства фоторецепторов, в частности, криптохромов и фитохромов, которые действуют как молекулярные переключатели в ответ на сине-фиолетовый свет и соотношение КС/ДКС, соответственно [4]. Спектр солнечного излучения представляет собой смесь ультрафиолетовой радиации и фотосинтетически активного излучения, света дальнего красного и ближнего инфракрасного диапазонов от 280 до 1100 нм [5]. Световая энергия оказывает влияние на рост и развитие растений, активность многих метаболических процессов. Облучение растений светом с низким соотношением КС/ДКС приводит к увеличению апикального доминирования, что является одной из наиболее распространенных ответных реакций, так как способствует более быстрому образованию листьев и прохождению фаз онтогенеза [6]. На уровне листьев происходит увеличение длины черешка и листа, уменьшение массы и площади листа, содержание хлорофилла и соотношение хлорофилла а/б [7]. Наряду с влиянием дальнего красного света на морфологию и развитие растений, имеет место изменение активности фотосинтетического аппарата. Изменение соотношения КС и ДКС может привести к более высокой скорости ассимиляции углерода и роста листовой поверхности растений [8,9]. В настоящее время появляется все больше работ по изучению действия светодиодного облучения с измененным спектральным составом в области КС и ДКС на растения, активность фотосинтетического аппарата [10-12].

Вместе с тем, исследования по изучению красной – дальней красной области спектра на растения продолжают активно проводиться, поскольку во многом остается невыясненным действие различного соотношения КС/ДКС при различных интенсивностях облучения, а также необходимость учета видовых особенностей растений.

Целью данного исследования явилась оценка влияния увеличения доли ДКС (различного соотношения

КС/ДКС) в спектре полихромного облучения на ростовые показатели и активность фотосинтетического аппарата в онтогенезе растений сахарной свеклы при их выращивании в контролируемых условиях.

Объект и методы исследования

Объект и условия выращивания растений

Объектом исследований служили растения свеклы сахарной (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *saccharifera* Alef.) гибрида Смена. Растения выращивали в синерготроне модели ИСП 2.01 конструкции АНО «Институт стратегий развития» (г. Москва) при облучении растений свеклы светом разного состава: полихромное (контроль) и полихромное с увеличенной долей в дальнем красном диапазоне. Фотопериод составлял 18 часов, температура воздуха день/ночь 25/22°C при относительной влажности 70-80%. Спектры облучения определяли на спектрометре PG 100 N компании UPRtek, Тайвань. Растения выращивали гидропонным методом на минераловатном субстрате. В лотках размером 1000x540 мм помещалось 28 растений. В онтогенезе, по срокам определения, отбирали по 4 растения из каждого варианта.

Устройство для выращивания растений

Синерготрон – цифровое устройство для культивирования биологических объектов на основе программно-управляемой внутренней среды, облачной обработки информации и разработанного языка описания с обратной связью по параметрам влажности, состава культивационных сред, температуры, освещения, акустических воздействий, газового состава, движения воздуха и других [13]. В устройстве использовали разработанные АНО «Институт стратегий развития» (г. Москва) светодиодные светильники со светодиодами компании Cree (США) с диапазоном излучения в области от 365 до 1980 нм, т.е. от ультрафиолетового до инфракрасного излучения. Потребляемая единичная мощность от 300 до 1300 Вт. Мощность облучения в области ФАР на расстоянии 100 мм от светильников для 300-ваттного облучателя достигает 1900 мкмоль/м²·с, для 1300-ваттного 3600 мкмоль/м²·с. Светильники имеют программное управление 9-ю спектральными линейками, как по силе излучения определенного светового спектра, так и по их комбинированию в определенную световую гамму. В устройстве реализована возможность проведения испытаний индивидуально по 8 лоткам в рабочей секции с различной интенсивностью облучения, спектром, пульсацией. КПД светодиодного светильника составляет 36%.

В настоящем эксперименте, в соответствии с целью и задачами исследований, светильники запрограммированы на светодиодное облучение растений свеклы сахарной светом разного состава: полихромное (контроль) и полихромное с увеличенной долей в ДК диапазоне.

В экспериментах использовали комбинированный субстрат: минераловатные маты толщиной 70 мм, однако в точках посева семян вырезали отверстия диаметром 70 мм и глубиной 60 мм и заполняли подготовленным кокосовым субстратом. Посев проводили по 3 соплодия в гнездо, после появления всходов оставляли одно наиболее развитое растение. Схема посева

135x150 мм. Полив проводили гидропонным питательным раствором следующего состава (в мг/л): N-NO₃ – 140; N-NH₄ – 5; P – 41; K – 275; Ca – 100; Mg – 24; S – 30; Fe – 0,94; Mn – 0,14; B – 0,16; Cu – 0,03; Zn – 0,13; Mo – 0,03; pH 5,5-6,0; EC 1,5-2.

Определение ростовых показателей и накопления сахаров

В период роста растений, в динамике, определяли содержание сухого вещества в корнеплодах и надземной части (листьях) на анализаторе влажности (влажнере) MX-50 (A&D Company, Япония) путем высушивания образцов при 105°C до постоянной массы.

В период вегетации в динамике (на 41, 50, 56, 63, 70, 77 и 82 день после посева семян) растения взвешивали для определения сырой биомассы растения в целом (в граммах) и его отдельных органов (корнеплодов, листьев, надземной биомассы в целом). Также в динамике определяли среднюю площадь листьев в расчете на одно растение (см² /растение) и удельную массу листовой пластинки (г/см²).

Определение сахаристости корнеплодов проводилось во ВНИИ сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова способом холодного водного диспергирования в соответствии с «Инструкцией по химико-техническому контролю и учету сахарного производства» (Киев, ВНИИСП, 1989) и ГОСТ Р 53036-2008 «Свекла сахарная. Методы испытаний». Определение проводили у растений в возрасте 82 суток от посева семян, т.е. при завершении эксперимента. Одновременно определяли содержание сухого вещества в корнеплодах по стандартной методике.

Измерение параметров переменной флуоресценции.

С помощью метода переменной флуоресценции, с использованием прибора мини-ПАМ-Junior (PAM-Junior, Heinz Walz, Germany), определяли активность фотосистемы 2 (ФС2). Листья растений экспонировали в темноте в течение 15 мин., затем освещали их вспышками света [14].

Определяли: F_v/F_m – показатель функционального состояния ФС2, где F_v – фотоиндуцированные изменения флуоресценции; $Y(II)$ – эффективный квантовый выход ФС 2 (при интенсивности измерения флуоресценции); F_m – максимальная флуоресценция, NPQ –

нефотохимическое тушение флуоресценции (NPQ), оценивает часть энергии, которая используется растением для нефотохимических реакций; ETR – относительная скорость транспорта электронов, косвенный показатель скорости фотосинтеза.

Статистическая обработка результатов опытов

Эксперименты выполняли в 4-кратной аналитической и 3-кратной биологической повторности. Общая закономерность не изменялась по вариантам опыта, поэтому результаты приведены по данным одной биологической повторности. Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета программ Excel. На рисунках приведены средние арифметические значения (M) со стандартной ошибкой (\pm SEM). Достоверность различий определяли по t-критерию Стьюдента при P=0,95.

Результаты исследований

На рис. 1 приведены спектральные характеристики светодиодных облучателей при выращивании растений в камерах синерготрона.

Освещение полихромное (полноспектрное). Однако, в связи с целью исследований основное внимание при разработке схемы освещения уделяли соотношению и интенсивности красного и дальнего красного света. В результате в опытном варианте реализовано почти двукратное повышение отношения FR/Red (0,387) по сравнению с контролем (0,197). В опытном варианте (рис. 1B) интенсивность света в дальней красной области составляла 186,3 мкмоль/м²·с. В контроле – 75,1 мкмоль/м²·с (рис. 1A). Интенсивность света в области красного света соответственно 481,7 и 381 мкмоль/м²·с.

Из-за конструктивных особенностей светодиодов абсолютно точное выравнивание интенсивностей облучения и спектральных линеек в опытном и контрольном вариантах практически невозможно. Фактическая интенсивность по всем спектральным линиям в опыте и контроле составляла в контроле 955,1, в опыте – близкая величина 905,5 мкмоль/м²·с. Интенсивности облучения в других областях спектра (синем, зеленом, ультрафиолетовом) по вариантам различается в значительно меньшей степени, чем вариативность соотношения К/ДК спектров, что позволяет получать сопоставимые данные и выделить влияние именно ДК диапазона (табл. 1).

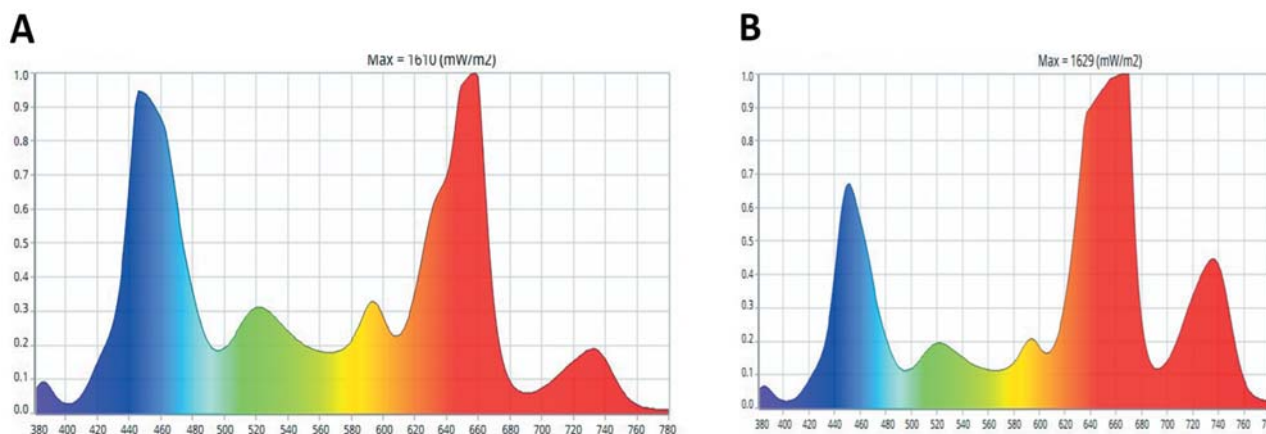


Рис. 1. Спектральные характеристики светодиодных облучателей при выращивании растений в камерах синерготрона
Fig. 1. Spectral characteristics of LED irradiators when growing plants in synergotron chambers

Таблица 1. Анализ световых режимов выращивания сахарной свеклы (данные спектров) в камере синерготрона ИСП 2.01
Table 1. Analysis of light modes of sugar beet cultivation (spectra data) in the IPS 2.01 Synergotron Camera

Вариант	Интенсивность освещения по видам спектра, мкмоль/м ² ·с и соотношение спектров						
	PPFD*	PFD*	UV	Red	Far red	UV/PPFD	FR/ Red
Контроль	824,5	905,5	6,8	381,0	75,1	0,0082	0,197
Опыт (ДК)	765,3	955,1	5,0	481,7	186,3	0,0065	0,387
Вариант	PPFD*	PFD*	Blue	Green	Red	B/R B /G +R	G/R G/B+R
Контроль	824,5	905,5	263,5	183,4	381,0	0,69 0,47	0,48 0,28
Опыт (ДК)	765,3	955,1	168,9	117,0	481,7	0,35 0,28	0,24 0,18

* UV ультрафиолет, Blue –синий, Green –зеленый, Red –красный, Far red –дальний красный, PPFD – фотосинтетически активная радиация, PFD радиация, включает ультрафиолет + дальний красный + фотосинтетически активная радиация.

Изменение соотношения ДКС/КС в спектре облучения растений приводило к изменению морфологических показателей растений с течением времени (Рис. 2). Так, повышение ДКС в спектре облучения приводило к снижению скорости нарастания площади листовой поверхности у растений по сравнению с контролем в течение большего периода вегетации. Только после 70 суток после посева семян наблюдалось снижение за счет оттока ассимилянтов в корнеплоды и частичного отмирания нижних листьев. В опыте с повышенным содержанием света в ДК области облучения нарастание площади листьев происходило в течение более длительного времени (до 77 суток после посева семян).

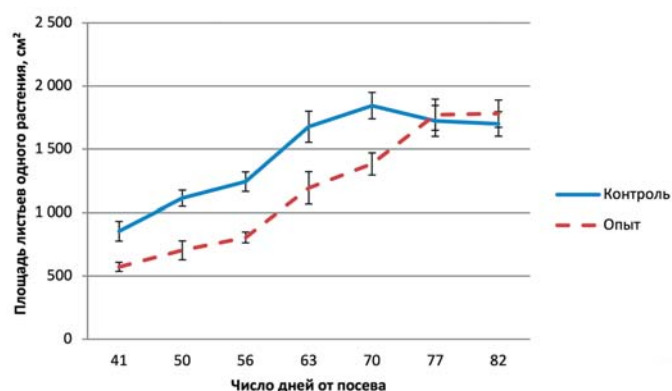


Рис. 2. Динамика развития листового аппарата сахарной свеклы в зависимости от доли ДКС в спектре освещения
Fig. 2. Dynamics of the development of sugar beet leaf apparatus depending on the share of far red light range in the spectrum of light

Следует отметить, что при меньшей площади листьев растений, выращиваемых при относительном повышении доли ДКС в спектре облучения, удельная масса листьев была выше по сравнению с контролем (табл. 2). Разница сохранялась на протяжении всего периода выращивания растений.

Наряду с изменениями площади листовой поверхности и толщины листьев можно было ожидать, что растения в условиях различного спектрального состава облучения формируют фотосинтетический аппарат, различающийся по своей активности. Определение активности световой стадии фотосинтеза показало, что повышение доли дальнего красного света в спектре облучения приводит к повышению реального квантового выхода фотосинтеза $\Phi(II)$ и скорости электронного транспорта (ETR), а также к снижению нефотосинтетического тушения флуоресценции NPQ (рис. 3).

Более эффективное использование световой энергии фотосинтетическим аппаратом у растений в опытном варианте (при повышенном отношении ДКС/КС) вместе с тем не реализуется в полной мере растениями, поскольку решающим фактором в накоплении биомассы растениями является увеличение площади листовой поверхности (рис. 2). В опытном варианте накопление биомассы в надземной части растений в начальный период проведения эксперимента оказалась меньше, чем в контроле (рис. 4).

Только в конце периода выращивания, на 77-82 сутки после посева семян, отмечено большее накопление биомассы в надземной части растений в опыте по сравнению с контролем (на 12,2%). В этот период происходило также активное накопление биомассы в корнеплодах (рис. 5). Если в начальный период роста

Таблица 2. Удельная масса листовой пластинки в зависимости от режимов освещения, г/см²
Table 2. The specific mass of the leaf blade depending on the lighting modes, g/cm²

Вариант	Сутки после посева семян						
	41	50	56	63	70	77	82
Контроль	0,0553±0,0038	0,0600±0,0042	0,0611±0,0051	0,0664±0,0044	0,0672±0,0043	0,0671±0,0048	0,0679±0,0029
Опыт (ДКС)	0,0689±0,0037	0,0756±0,0051	0,0761±0,0072	0,0798±0,0057	0,0760±0,0034	0,0748±0,0059	0,0751±0,0032

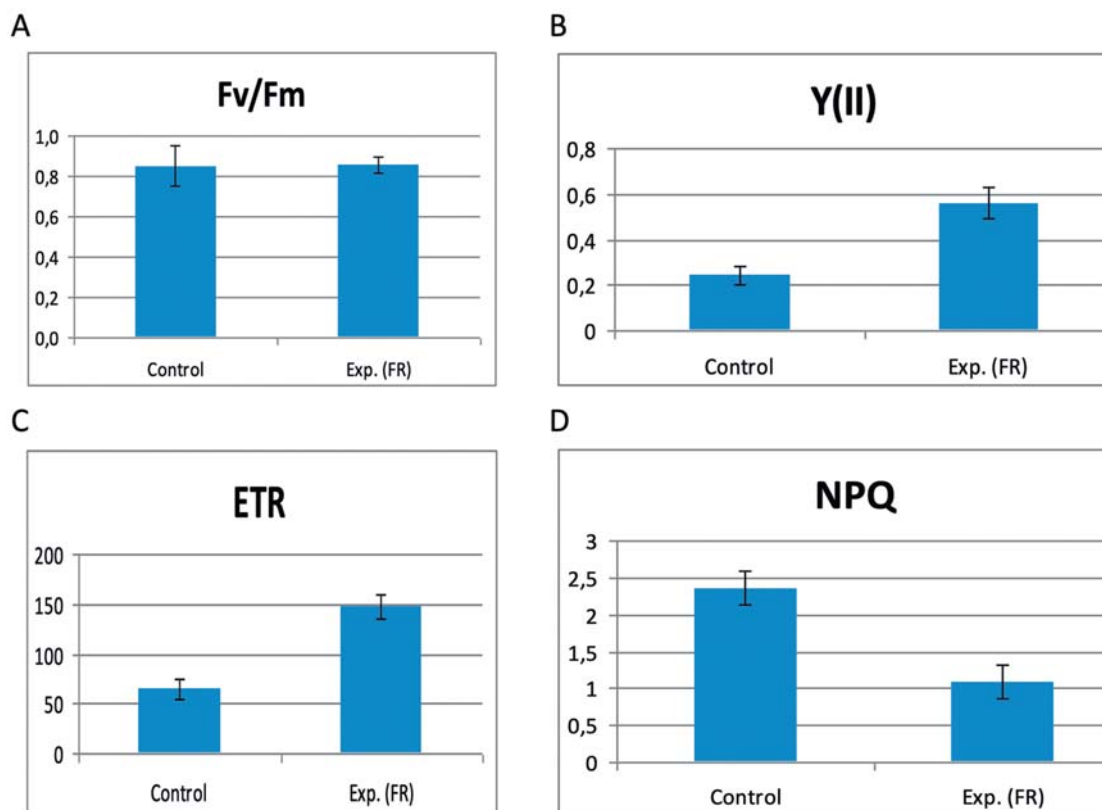


Рис. 3. Параметры переменной флуоресценции растений сахарной свеклы, выращенной в условиях синерготрона ИСП 2.01 *Fv/Fm* максимальный квантовый выход, *Y(II)* реальный квантовый выход фотосинтеза, *NPQ* – нефотохимическое тушение, *ETR* – скорость электронного транспорта

Fig. 3. Parameters of the variable fluorescence of sugar beet plants grown in the conditions of synergotron IPR 2.01 *Fv/Fm* maximum quantum output, *Y(II)* real quantum output of photosynthesis, *NPQ* – non-photochemical quenching, *ETR* – electronic vehicle

соотношение КС/ДКС незначительно влияло на накопление биомассы в корнеплодах сахарной свеклы, то, начиная с 70-х суток после посева, увеличение доли ДКС приводило к существенному (на 38,7%) росту биомассы корнеплода по сравнению с контролем. Таким образом, параллельное определение нарастания сырой массы корнеплодов и надземной части растений сахарной свеклы (рис. 4–5) показало, что не наблюдается прямой корреляции между этими показателями во вторую половину эксперимента (после 65–70 суток). Вероятно, это связано с оттоком части пластических веществ из листьев в корнеплоды.

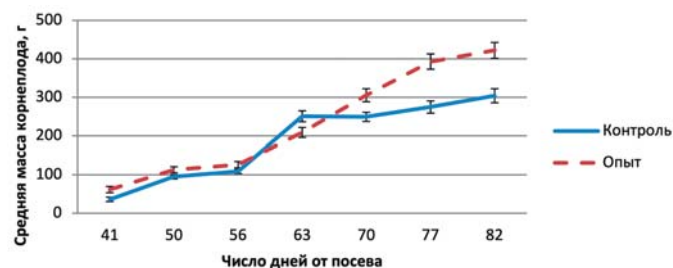


Рис. 5. Динамика накопления биомассы корнеплодов сахарной свеклы в зависимости от освещения

Fig. 5. The dynamics of the accumulation of biomass of root crops of sugar beets depending on the lighting

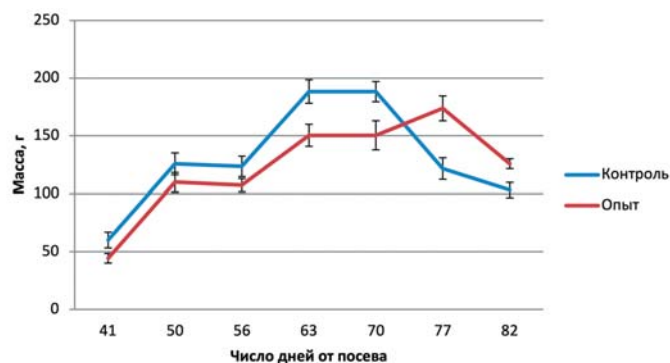


Рис. 4. Динамика накопления надземной биомассы сахарной свеклы в зависимости от светового режима выращивания растений

Fig. 4. Dynamics of accumulation of above-ground biomass of sugar beet plants depending on the lighting

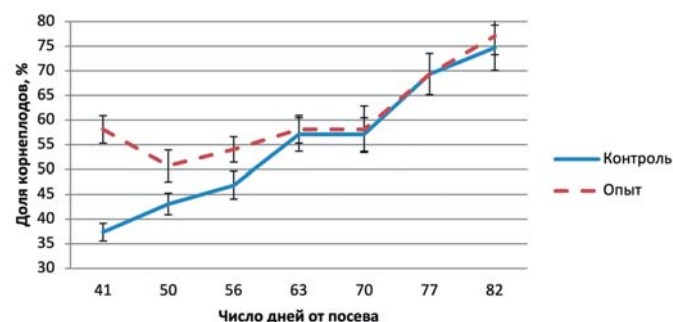


Рис. 6. Доля корнеплодов (подземной части) в общей биомассе растения сахарной свеклы в зависимости от освещения

Fig. 6. Proportion of root crops (underground) in the general biomass plant of sugar beets depending on the lighting

Доля корнеплодов в общей биомассе растений на начальных сроках их образования была выше по сравнению с контролем при увеличении доли КС, однако затем разница практически исчезала (рис. 6).

В онтогенезе растений происходило снижение доли листьев (надземной части растения) и увеличения доли корнеплодов - подземной части вследствие оттока ассимилянтов в корнеплоды (рис. 7).

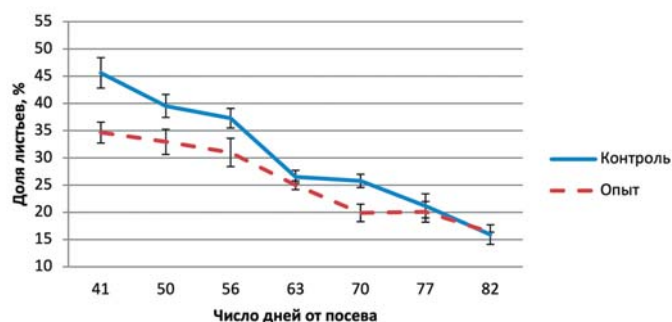


Рис. 7. Доля листьев (надземной части) в общей биомассе растения сахарной свеклы в зависимости от светового режима выращивания растений
Fig. 7. Proportion of leaf crops (above-ground) in the general biomass plant of sugar beets depending on the lighting

Увеличение доли дальнего красного света в спектре облучения растений приводило к изменению накопления сухого вещества в корнеплодах сахарной свеклы. В конце периода выращивания, на 77 сутки содержание сухого вещества повышалась на 1,9% по сравнению с контролем (рис. 8). Положительное влияние повышение доли дальнего красного света в спектре облучения на накопление сухого вещества

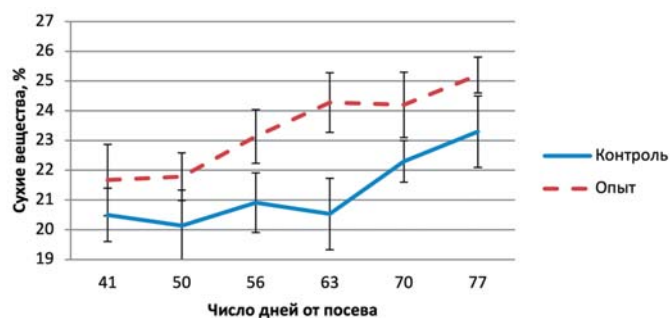


Рис. 8. Динамика накопления сухих веществ в корнеплодах сахарной свеклы в зависимости от светового режима выращивания растений
Fig. 8. Dynamics of accumulation of dry substances in the leaves (overhead biomass) of sugar beets depending on the lighting

проявлялось в течение всего периода эксперимента, начиная с момента образования и начального роста корнеплода.

Анализ корнеплодов в конце периода эксперимента (на 82 сутки после посева семян) показал увеличение накопления сухого вещества на 2,44% (таблица 3) в опытном варианте, при увеличении сахаристости на 0,65%, по сравнению с контролем. Различия статистически достоверны ($P=0,95$).

Таблица 3. Сахаристость и содержание сухих веществ в корнеплодах сахарной свеклы на 82 день после появления всходов в зависимости от освещения
Table 3. Sugar content and dry matter content in the root crops of sugar beets by 82 days after the appearance of shoots, depending on the lighting

Вариант	Содержание сухого вещества в корнеплодах, %	Сахаристость корнеплодов, %
Контроль	21,06±0,09	14,65 ±0,06
Опыт	23,05±0,08	15,30 ±0,08

Общий вид растений, выращиваемых в камере синерготрона ИСР 2.01. при облучении светом с различным соотношением КС/ДКС, приведен на рисунке 9.



Рис. 9. Фото образцов свеклы сахарной на 82 сутки эксперимента в камере синерготрона ИСР 2.01. Слева — контрольный образец, справа — опытный образец
Fig. 9. Photos of the beet samples on 82 days of experiment in Synergotron Camera IPR 2.01. On the left — a control sample, on the right — tested sample

Результаты исследований в камере синерготрона модели ИСР 2.01 показывают необходимость повышения доли ДК участка в спектре облучения растений сахарной свеклы для регулирования роста и развития, повышения активности фотосинтетического аппарата. Более низкие значения накопления биомассы растениями в опытном варианте в начале и середине онтогенеза связаны с медленным нарастанием площади листовой поверхности. При этом, однако, отмечены более высокие значения удельной массы листьев, более высокая активность фотосинтетического аппарата. В конечном итоге увеличение доли фотонов ДКС в спектре облучения растений в опытном варианте приводило к изменению накопления биомассы и химического состава корнеплодов. Происходило повышение накопления биомассы корнеплода на 38,7 %, сахаристости - на 0,65% по сравнению с контролем к 82 суткам.

Изменение соотношение КС/ДКС может влиять на морфогенез и ростовые процессы, фотосинтетический аппарат через фитохромную систему [15,16]. Характеристики растений, контролируемые фоторецепторами, включают размер, форму, высоту и углы формирования органов [17]. Li и Kubota [18] обнаружили значительное увеличение сухой массы, длины стебля, длины листьев и ширины листьев у растений листового салата с дополнительным ДКС по сравнению с белым светом, по-видимому, благодаря усиленному перехвату света увеличенной площадью листа под дополнительным

ДКС. Имеющиеся литературные данные показывают различное влияние ДК облучения и величины соотношения КС/ДКС на ростовые процессы, активность фотосинтетического аппарата и направленность метаболических процессов [19-20]. Очевидно, что реакция растений на действие света в красной области спектра определяется как величиной соотношения КС/ДКС, так и уровнем интенсивности света, видовыми особенностями растений, а также характером ответной реакции растений в процессе онтогенеза [21-23].

Полученные в работе результаты позволяют оценить влияние КС/ДКС на отдельные показатели роста и развития в онтогенезе растений, активность фотосинтетического аппарата в период активного нарастания листовой поверхности. Используемый подход и полученные данные могут быть использованы при разработке систем освещения растений сахарной свеклы на разных этапах онтогенеза при выращивании в закрытых контролируемых агробиотехносистемах для проведения селекционных работ в осенне-зимний-весенний периоды.

• Литература / References

1. Cary A., Mitchell F.S. LED advancements for plant-factory artificial lighting. Plant Factory (Second Edition). An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production / Editors Toyoki Kozai Genhua Niu Michiko Takagaki Acad. Press, 2020. P. 167-184. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00010-8>
2. Yuanchun Ma, An Xu, Zong-Ming (Max). Cheng Effects of light emitting diode lights on plant growth, development and traits a meta-analysis. *Horticultural Plant Journal*. November 2021;7(6):552-564. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.05.007>
3. Smith H. Light quality, photoperception, and plant strategy. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982;33(1):481-518. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182>
4. Casal J.J. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annu Rev Plant Biol*. 2013;(64):403-427. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120221>
5. Grant R.H. Partitioning of biologically active radiation in plant canopies. *Int. J. Biometeorol*. 1997;(40):26-40.
6. Leduc N., Roman H., Barbier F., Péron T., Huché-Thélier L., Lothier J. et al. Light signaling in bud outgrowth and branching in plants. *Plants*. 2014;(3):223. <https://doi.org/10.3390/plants3020223>
7. Sasidharan R., Chinnappa C.C., Staal M., Elzenga J.T.M., Yokoyama R., Nishitani K. et al. Light quality-mediated petiole elongation in arabidopsis during shade avoidance involves cell wall modification by xyloglucan endotransglucosylase/hydrolases. *Plant Physiol*. 2010;(154):978-990. <https://doi.org/10.1104/pp.110.162057>
8. Bongers F.J., Evers J.B., Anten N.P.R., Pierik R. From shade avoidance responses to plant performance at vegetation level: using virtual plant modelling as a tool. *New Phytol*. 2014; (204):268-272. <https://doi.org/10.1111/nph.1304>
9. Yujin Park, Erik S. Runkle. Far-red Radiation Promotes Growth of Seedlings by Increasing Leaf Expansion and Whole-plant Net Assimilation. *Environmental and Experimental Botany*. April 2017;(136):41-49. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.12.013>
10. Tarakanov I.G., Kosobryukhov A.A., Tovstyko D.A., Anisimov A.A., Shulgina A.A., Sleptsov N.N., Kalashnikova E.A., Vassilev A.V., Kirakosyan R.N. Effects of light spectral quality on the micropropagated raspberry plants during ex vitro adaptation. *Plants*, 2021;10(10):2071. <https://doi.org/10.3390/plants10102071>
11. Sergejeva D., Alsina I., Duma M., Dubova L., Augspole I., Erdberga I., Berzina K. Evaluation of different lighting sources on the growth and chemical composition of lettuce. *Agronomy Research*. 2018;16(3):892-899. <https://doi.org/10.1515/AR.18.133>
12. Kim H.-J., Yang T., Choi S., Wang Y.-J., Lin M.-Y., Liceaga A.M. Supplemental intracanopy far-red radiation to red LED light improves fruit quality attributes of greenhouse tomatoes. *Scientia Horticulturae*. 2020;(261):108985. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108985>
11. Kurepin L.V., Emery R.J., Pharis R.P., Reid D.M. Uncoupling light quality from light irradiance effects in *Helianthus annuus* shoots: putative roles for plant hormones in leaf and internode growth. *J Exp Bot*. 2007;58(8):2145-57. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm068>
12. Feng Yanga, Lingyang Fenga, Qinlin Liua, Xiaoling Wua,

- Yuanfang Fana., Muhammad Ali Razaa, Yajiao Chenga, Junxu Chena, Xiaochun Wang, Taiwan Yonga, Weiguo Liua, Jiang Liua, Junbo Dua, Kai Shua, Wenyu Yanga. Effect of interactions between light intensity and red-to-far-red ratio on the photosynthesis of soybean leaves under shade condition. *Environmental and Experimental Botany*. 2018;(150):79-87. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.03.008>
13. Zelenkov V.N., Vernik P.A., Latushkin V.V. Creating closed technobioecosystems (synergotron class) as a modern direction of using digital technologies for the development of Agrarian Science and solving tasks of the agrarian-industrial complex of Russia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019;(274):12101. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/274/1/>
 14. Гольцев В.Н., Каладжи Х.М., Кузманова М.А. Аллахвердиев С.И. Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла а – теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. 220 с. [Goltsev V.N., Kaladzhii H.M., Kuzmanova M.A. Allahverdiev S.I. Variable and delayed fluorescence of chlorophyll a – theoretical foundations and practical application in plant research. M.–Izhevsk: Institute of Computer Research, 2014. 220 p. (In Russ.)]
 15. Carvalho R.F., Campos M.L., Azevedo R.A. The role of phytochrome in stress tolerance. *J. Integr. Plant Biol*. 2011;53(12):920-929. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2011.01081.x>
 16. Kreslavski V.D., Los D.A., Schmitt F.-J., Zharmukhamedov S.K., Kuznetsov V.V., Allahverdiev S.I. The impact of the phytochromes on photosynthetic processes. *Biochim Biophys Acta Bioenerg*. 2018 May;1859(5):400-408. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2018.03.003>
 17. Franklin K.A., Lerner V.S., Whitelam G.C. The signal transducing photoreceptors of plants. *Int. J. Dev. Biol*. 2005;49(5-6):653-64. <https://doi.org/10.1387/ijdb.051989kf>
 18. Li Q., Kubota C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environ. Exp. Bot*. 2009;67(1):59-64. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.011>
 19. Heraut-Bron V., Robin C., Varlet-Grancher C., Afif D., Guckert A.. Light quality (red:far-red ratio): does it affect photosynthetic activity, net CO₂ assimilation, and morphology of young white clover leaves? *Canadian Journal of Botany*. February 2011;77(10):1425-1431. <https://doi.org/10.1139/b99-099>
 20. Zhen S.Y., van Iersel M.W. Far-red light is needed for efficient photochemistry and photosynthesis. *J. Plant Physiol*. 2017;(209):115-122. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.12.004>
 21. Ballaré C.L., Scopel A.L., Sánchez R.A. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth, and yield. *HortScience*. 1997;(30):1172-1181.
 22. Marchiori P.E.R., Machado, E.C., Ribeiro, R.V. Photosynthetic limitations imposed by self-shading in field-grown sugarcane varieties. *Field Crops Research*. January 2013;(155):30-37. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.09.025>
 23. Yang F., Huang S., Gao R.C., Liu W.G., Yong T.W., Wang X.C., Wu X.L., Yang W.Y. Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far-red ratio. *Field Crop Res*. 2014;(155):45-253. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.011>

Об авторах:

Петр Аркадьевич Верник – директор института, <https://orcid.org/0000-0001-5850-7654>, petr@zolshar.ru

Валерий Николаевич Зеленков – к.х.н., д.с.-х.н., проф., гл. науч. сотр., <https://orcid.org/0000-0001-5481-2723>, автор для переписки, zelenkov-raen@mail.ru

Вячеслав Васильевич Латушкин – к.с.-х.н., вед. науч. сотр., <https://orcid.org/0000-0003-1406-8965>, slavalat@yandex.ru

Анатолий Александрович Кособрых – д.б.н., вед. науч. сотр., <https://orcid.org/0000-0003-3388-5784>, kosobr@rambler.ru

Людмила Николаевна Путилина – к.с.-х.н., вед. науч. сотр., <https://orcid.org/0000-0002-5991-5235>

Мария Ивановна Иванова – д.с.-х.н., проф. РАН, гл. науч. сотр., <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, ivanova_170@mail.ru

Владимир Борисович Новиков – нач. инженерного отдела, <https://orcid.org/0000-0003-1406-8965>, engin.food@gmail.com

Сергей Викторович Гаврилов – нач. отдела телеметрии, <https://orcid.org/0000-0003-2824-9302>, gavrilovr@mail.ru

About the Authors:

Petr A. Vernik – Director, <https://orcid.org/0000-0001-5850-7654>, petr@zolshar.ru

Valery N. Zelenkov – Doc. Sci. (Agriculture), Prof., Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-5481-2723>, Correspondence Author, zelenkov-raen@mail.ru

Vyacheslav V. Latushkin – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-1406-8965>, slavalat@yandex.ru

Anatoly A. Kosobryukhov – Doc. Sci. (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-3388-5784>, kosobr@rambler.ru

Vladimir B. Novikov – Head of Engineering Department, <https://orcid.org/0000-0003-1406-8965>, engin.food@gmail.com

Lyudmila N. Putilina – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5991-5235>

Maria I. Ivanova – Doc. Sci. (Agriculture), Prof., Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, ivanova_170@mail.ru

Sergey V. Gavrilov – Head of the Telemetry Department, <https://orcid.org/0000-0003-2824-9302>, gavrilovr@mail.ru



Равновесие, приносящее успех

Водорастворимые удобрения марки SOLAR Группы «Уралхим» пользуются заслуженно высоким спросом среди сельхозпроизводителей. Грамотное применение этих удобрений способно обеспечить посевы сельхозкультур всеми необходимыми микро- и макроэлементами, что способствует получению более высоких и качественных урожаев. В этой статье мы расскажем об одном из удобрений марки SOLAR – УНИВЕРСАЛ 18:18:18+3MgO+МЭ, эффективность которого доказана многочисленными производственными опытами.

Состав и сфера применения

SOLAR NPK micro УНИВЕРСАЛ 18:18:18+3MgO+МЭ – это удобрение с равновесным соотношением азота, фосфора и калия, дополненное магнием (3% в пересчёте на MgO) и сульфатами (2,5% в пересчёте на серу). Удобрение разработано для комплексного питания растения на всех стадиях его вегетации, оно обеспечивает правильное развитие культуры, стимулирует рост и обменные процессы, в том числе фотосинтез, повышает устойчивость к стрессам – воздействию пестицидов, неблагоприятных погодных условий и т.д. В результате использования SOLAR NPK micro УНИВЕРСАЛ 18:18:18+3MgO+МЭ повышается не только урожайность сельхозкультур, но и качество продукции.

Удобрение изготовлено из экологически чистого сырья и не содержит натрия, хлора и тяжёлых металлов. Напротив, в его составе содержатся важные для растений микроэлементы – бор (0,02%), медь (0,01%), железо (0,1%), марганец (0,05%), молибден (0,01%), цинк (0,01%), причём некоторые из них – в высокоэффективной хелатной форме. В результате это удобрение по-настоящему универсально и может использоваться на всех сельскохозяйственных культурах. В частности, SOLAR NPK micro УНИВЕРСАЛ 18:18:18+3MgO+МЭ можно применять для листовых подкормок культур открытого грунта, а также в системах фертигации и в сезонных грунтовых теплицах.

Схема производственного опыта

Производственный опыт, призванный определить эффективность удобрения SOLAR NPK micro УНИВЕРСАЛ 18:18:18+3MgO+МЭ на посевах подсолнечника, был проведён в ООО «ПХ «Лазаревское» (посёлок Лазарево Щекинского района Тульской области). Для проведения опыта был выбран гибрид подсолнечника P62LE10 продовольственного назначения. Площадь опытного участка составляла 30 га, площадь конт-

рольного участка с хозяйственным вариантом внесения удобрений – 48 га. Посев кукурузы состоялся 25 мая.

На обоих участках посев проводился по технологии с шириной междурядий 70 см. Предшественником в обоих случаях выступила озимая пшеница. Агрохимические показатели почвы на опытном и контрольном участках были идентичны: уровень гумуса – 5,10%, pH – 5,40, содержание P₂O₅ – 162 мг/кг, а K₂O – 119 мг/кг. По типу и гранулометрическому составу почва представляла собой чернозём выщелоченный, среднесуглинистый.

Осенью предшествующего года на обоих участках вносился сульфат аммония с заделкой в почву, доза внесения – 250 кг/га. А 1 мая, перед посевом, аналогичным способом была внесена диаммофоска NPK 10:26:26 в дозе 200 кг/га. Отличием опытного участка от контрольного стало использование на опытном участке удобрения SOLAR NPK micro УНИВЕРСАЛ 18:18:18+3MgO+МЭ: оно было внесено путём опрыскивания 24 июня, в фазу третьей пары листьев, в дозе 4,15 кг/га.

Общее количество элементов питания, полученных обоими участками в процессе внесения удобрений, зафиксировано в таблице 1.

Таблица 1

Внесено в д.в., кг/га	Опытный участок	Контрольный вариант
N	80,7	80,0
P ₂ O ₅	52,7	52,0
K ₂ O	52,7	52,0
S	52,5	52,5
Всего	238,7	236,5

Результаты промежуточного обследования

30 сентября на участках были отобраны образцы растений для определения биологической урожайности подсолнечника. Образцы взяли с площадей по 3 м², по 6 растений с каждого квадратного метра. Соответственно, общее число обследованных на каждом участке растений – 18 штук. Уже на этом этапе вегетации проявились различия между подсолнечником с разных участков. Эти различия отражены в таблице 2.

Предварительный анализ показал, что на варианте с применением удобрения «Уралхим» биологическая урожайность подсолнечника достигла 40,6 ц/га, а на хозяйственном варианте составляла 38,8 ц/га. В переводе на стандартную влажность (8%) биологическая урожайность подсолнечника составила 30,7 ц/га и 29,4 ц/га соответственно.

Стоимость использованных удобрений составила 9379,8 руб./га на опытном участке и 8944 руб./га на контроле. Внесение дополнительного удобрения от «Уралхим» обошлось в 435,8 рублей на каждый гектар. Так как листовая подкормка проводилась в баковой смеси с пестицидами, дополнительных агротехнических работ, влекущих отдельные траты, не потребовалось. Таким образом, при цене продукции в 28 рублей за килограмм стоимость собранной с одного гектара продукции составила на опытном участке 84168,39 руб./га, а на контрольном участке – 75608,43 руб./га. Иными словами, благодаря применению удобрения SOLAR NPK micro УНИВЕРСАЛ 18:18:18+3MgO+MЭ удалось получить дополнительные 8559,96 рублей с каждого гектара. Если вычесть из этой суммы стоимость дополнительных затрат на удобрения, то экономи-

Таблица 2

Показатель	Опытный вариант	Контрольный вариант
Средняя высота растений, см	186,9	185,1
Диаметр корзинки (средний), см	14,8	14,3
Масса семян в образце, г	1216,5	1164,3
Масса семян с одной корзинки, г	67,6	64,7
Масса семян на квадратный метр, г	405,5	388,1

Итоги производственного эксперимента

Уборку урожая на обоих участках провели 24 октября в оптимальных климатических условиях. Так как площадь контрольного варианта заметно превышала площадь опытного участка – 48 га против 30 га, валовый сбор до подработки на контроле составил 132 т, в то время как на опытном участке – 90 га. После подработки аналогичные показатели составили 129 и 90 т. Однако амбарная урожайность на участке с применением удобрения SOLAR NPK micro УНИВЕРСАЛ 18:18:18+3MgO+MЭ оказалась существенно выше – 30,06 ц/га по сравнению с 27 ц/га на хозяйственном варианте. Превышение составило 3,06 ц/га, или 11,3%.

ческая эффективность этого удобрения становится очевидной: разница достигает 8124,21 руб./га.

В условиях, когда российские аграрии ищут способы повышения продуктивности сельхозпроизводства, использование удобрений Группы «Уралхим» является значимым фактором рентабельного агробизнеса.

г. Москва, Пресненская набережная, д.6, стр.2

Тел.: +7 (495) 721-89-89

www.uralchem.ru

www.agro.uralchem.ru

E-mail: marketing@uralchem.com





ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН СЕМЯН
ФГБНУ ФНЦО

Наши сорта и технологии - гарантия урожая и качества

БОЛЬШОЙ ВЫБОР СЕМЯН от ведущего производителя в России

КОНТАКТЫ:

Отдел продаж ФГБНУ ФНЦО: +7(495)594-77-17, +7(903)190-46-55

E-mail: info@vniissok.com

Интернет-магазин: www.vniissok.com

Магазин "Семена ВНИССОК":

Адрес: 143080, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИССОК, ул. Липовая, д.2

График работы: понедельник-пятница 9.00-18.00, суббота 9.00-17.00, воскресенье 9.00-14.00

В нашем магазине Вы всегда можете самостоятельно купить семена, свежие овощи, рассаду, цветы, а также сопутствующие товары.



на правах рекламы

МАСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

www.vniissok.com