

Овощи России

Научно-практический журнал
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» 13168

ISSN 2072-9146 (Print)

ISSN 2618-7132 (Online)

5 2024

VEGETABLE
crops of RUSSIA
Scientific peer-reviewed journal



на правах рекламы



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



ФГБНУ ФНЦО

ДЕНЬ РАБОТНИКА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

Уважаемые коллеги!

Всех, кто трудится на земле, чтобы обеспечивать население нашей страны отечественными качественными продуктами, поздравляем с Днем работника сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности! Ваш труд достоин восхищения и глубокого уважения!

От души желаем, чтобы ваши усилия были по достоинству оценены, чтобы ваши начинания были вознаграждены достойными урожаями, а погода только способствовала этому.

Пусть всегда и во всем вам сопутствует успех и удача!

Крепкого здоровья, счастья и благополучия всем вам на этом нелегком пути.

*Коллектив ФГБНУ
«Федеральный научный центр овощеводства»*



Пастернак Б.И.

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, директор, Научно-исследовательский институт защиты растений и технических культур МСХ Азербайджанской Республики

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. Ушаев – 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. Чекмарев – 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.

© ФГБНУ ФНЦО, оформление макета, 2024

Учредитель и 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, vegetables.of.russia@vniissok.ru
<http://www.vegetables.ru> Тел.: +7(495) 599-24-42

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.

Научная концепция издания предполагает публикацию современных достижений, результатов научных национальных и международных исследований в области овощеводства и садоводства, селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений, физиологии и биохимии растений, защиты растений, экономики сельского хозяйства и смежных дисциплин:

биологии, биотехнологии, интродукции и др.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 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.

Тираж 100 экземпляров.

Периодичность: 6 раз в год.

Дата выхода в свет: 27.09.2024

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.



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 FSVC), 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 FSVC), 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. Allahverdiev – Dr. Sci. (Biology), Professor, Bartin University, Turkey

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

Leonid F. Voloskiuk – 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), Scientific Research Institute of Plant Protection
and Technical Plants of the Ministry of Agriculture Republic of Azerbaijan

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 FSVC),
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 Agrarian 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 Research Scientific Institution 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 FSVC), Moscow, Russia

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

©FSBSI FSVC, Layout Design, 2024

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

Publication Frequency: 6 issue per year. Free price. 100 copies. Published: 27.09.2024

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-NonCommercial 4.0 License

The scientific concept of the journal involves the publication of modern achievements, the results of scientific national and international research in the field of vegetable growing and horticulture, breeding and seed growing of agricultural crops, physiology and biochemistry of plants, plant protection, agricultural economics and related disciplines: biology, biotechnology, introduction, etc.



СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ**Ковальчук М.В.**Сравнение эффективности различных способов
гибридизации салата-латука (*Lactuca sativa* L.) **5****Хунвану Н.В., Монахос Г.Ф., Монахос С.Г.**Фенотипический и молекулярно-генетический скрининг
устойчивости образцов томата к фитофторозу **12****Пугачева И.Г., Французёнок А.В.,****Баева И.Е., Бабак О.Г., Кильчевский А.В.**Практическое использование эффекта гетерозиса
по признакам урожайности и биохимического состава плодов
томата (*Solanum lycopersicum* L.) в открытом грунте **18****Бондарева Л.Л., Минейкина А.И.**Ускоренное размножение родительских линий капусты белокочанной
с использованием штеклингов и камер искусственного климата **26****Янченко А.В., Бухаров А.Ф., Федосов А.Ю.,****Иванова М.И., Меньших А.М., Белова С.В.**Современное состояние и открытые
вопросы праймирования семян лука репчатого **31****Соколкина А.И., Ханбабаева О.Е., Кудусова В.Л., Сорокопудов В.Н.**Изучение биологических особенностей цветения
культуры флокс метельчатый (*Phlox paniculata* L.) **38****Чернов Р.В., Казыдуб Н.Г., Кузьмина С.П.**Перспективность интродукции мезоамериканского
вида чиа *Salvia hispanica* L. в условиях южной лесостепи Западной Сибири **45****Полякова Н.В.**Подбор родительских пар при получении гибридов F₁
капусты белокочанной с устойчивостью
к ожогу верхушки внутренних листьев кочана **52****Королёв К.П., Алиева А.Н., Алиева Э.Н.**Адаптивность гибридных популяций
Linum usitatissimum L. в условиях Северного Зауралья **59****САДОВОДСТВО, ОВОЩЕВОДСТВО, ВИНОГРАДАРСТВО И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ****Голубкина Н.А., Багрикова Н.А., Лапченко В.А.,****Лапченко Е.В., Науменко Т.С., Левко Г.Д.**Биохимический состав натурализовавшихся
на территории Крымского полуострова *Opuntia humifusa*, *O. phaeacantha*,
O. engelmannii var. *lidheimeri* и перспективы их использования **64****Тютюма Н.В., Бондаренко А.Н.**Приемы повышения урожайности томата в условиях Астраханской области. **73****Марченко Л.А., Акимова С.В., Соловьев А.В., Макаров С.С.,****Самощенко Е.Г., Тер-Петросянц Г.Э., Зубков А.В.**Роль минеральных элементов в питании растений земляники садовой. **79****АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ****Мацшина Н.В., Собко О.А., Ермак М.В.**Пища как фактор, определяющий физиологическое состояние
популяций фитофагов-вредителей сельскохозяйственных культур. **84****ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО****Кашина Ю.Г., Белов Г.Л., Зейрук В.Н., Дмитриева Л.В.**Урожайность, качество и пригодность к переработке различных
сортов картофеля при выращивании в условиях Центрального региона РФ **91**

BREEDING, SEEDPRODUCTION AND PLANT BIOTECHNOLOGY

Kovalchuk M.V.

Comparison of the effectiveness of various lettuce
(*Lactuca sativa* L.) hybridization methods.5

Hounwanou N.V., Monakhos G.F., Monakhos S.G.

Evaluating tomato lines resistance to Late Blight
and molecular genetic screening with the use of molecular markers.12

Puhachova I.G., Frantsuzionak A.V.,

Bayeva I.E., Babak O.G., Kilchevsky A.V.

Practical application of heterosis on yield evidence
and fruits biochemical composition for tomato
(*Solanum lycopersicum* L.) in open ground.18

Bondareva L.L., Mineykina A.I.

Accelerated reproduction of the parental lines of white cabbage using rosette plants
(steckling) and artificial climate chambers.26

Yanchenko A.V., Bukharov A.F., Fedosov A.Yu.,

Ivanova M.I., Menshikh A.M., Belova S.V.

Current state and open
issues of priming onion seeds.31

Solkina A.I., Khanbabayeva O.E.,

Kudusova V.L., Sorokopudov V.N.

The research of the *Phlox paniculata* L. flowering biological features.38

Chernov R.V., Kazydub N.G., Kuzmina S.P.

The prospects for the introduction of a mesoamerican species *Salvia hispanica* L.
chia in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia.45

Polyakova N.V.

Selection of parental pairs when obtaining F₁ hybrids
of white cabbage with resistance
to the tip burn of the inner leaves.52

Korolev K.P., Yakubenko A.N., Yakubenko E.N.

Adaptability of hybrid populations
of *Linum usitatissimum* L.
in conditions of the Northern Transural region.59

HORTICULTURE, VEGETABLE PRODUCTION, VITICULTURE AND MEDICINAL CROPS

Golubkina N.A., Bagrikova N.A., Lapchenko V.A.,

Lapchenko H.V., Naumenko T.S., Levko G.D.

Biochemical composition of three *Opuntia species* *O. humifusa*,
O. phaeacantha, *O. engelmannii* var. *lidheimeri*. Prospects of their utilization.64

Tutuma N.V., Bondarenko A.N.

Techniques for increasing tomato yield in Astrakhan region.73

Marchenko L.A., Akimova S.V., Soloviyev A.V., Makarov S.S.,

Samoshchenkov E.G., Ter-Petrosyants G.E., Zubkov A.V.

Role of mineral elements in the nutrition of garden strawberry plants79

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE, PLANT PROTECTION AND QUARANTINE

Matsishina N.V., Sobko O.A., Ermak M.V.

Food as a factor determining the physiological state
of populations of the phytopagous pests of agricultural crops.84

AGRICULTURE AND PLANT PRODUCTION

Kashina Ju.G., Belov G.L., Zeyruk V.N., Dmitrieva L.V.

Productivity, quality and suitability for processing of various potato varieties when grown
in the conditions of the Central region of the Russian Federation.91

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-5-11>
УДК: 635.52:631.527.5

М. В. Ковальчук^{1,2*}

¹ ООО «НИИ селекции овощных культур»
127006, Россия, г. Москва, а/я 67

² ФГБОУ ВО РГАУ –
МСХА имени К.А. Тимирязева
127434, Россия, г. Москва,
ул. Тимирязевская, 49

*Автор для переписки: mariyak737@gmail.com

Конфликт интересов. Автор подтверждает отсутствие конфликта интересов при написании данной работы.

Вклад авторов: М.В. Ковальчук: концептуализация, методология, верификация и администрирование данных, ресурсы, проведение исследования, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование.

Для цитирования: Ковальчук М.В. Сравнение эффективности различных способов гибридизации салата-латука (*Lactuca sativa* L.). *Овощи России*. 2024;(5):5-11.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-5-11>

Поступила в редакцию: 01.07.2024

Принята к печати: 02.09.2024

Опубликована: 27.09.2024

Mariya V. Kovalchuk^{1,2*}

¹ LLC "Research Institute of Vegetable Breeding"
Moscow, 127006, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy (RSAU-MTAA)
49, Timiryazevskaya st., Moscow, Russia, 127434

Corresponding Author: mariyak737@gmail.com

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

Authors' Contribution: Kovalchuk M.V.: conceptualization, methodology, data verification and administration, resources, research, formal analysis, manuscript creation and editing.

For citation: Kovalchuk M.V. Comparison of the effectiveness of various lettuce (*Lactuca sativa* L.) hybridization methods. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):5-11. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-5-11>

Received: 01.07.2024

Accepted for publication: 02.09.2024

Published: 27.09.2024

Сравнение эффективности различных способов гибридизации салата-латука (*Lactuca sativa* L.)

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Салат-латук является распространенной зеленой культурой. Высокий спрос на саму продукцию, а также на новые сорта обуславливает развитие селекции салата по разным направлениям. Наиболее перспективно при селекции салата использовать для получения нового разнообразного исходного материала метод гибридизации. Однако, так как, салат культура самоопылитель с мелкими цветками, а также имеет непродолжительное по времени цветение (около трех часов), то техника кастрации и опыления сложна. Существующие методы гибридизации салата различаются по степени эффективности и трудоемкости. Цель данного исследования – сравнение эффективности трех способов гибридизации салата и получение с использованием этих методов исходного материала для селекции.

Материалы и методы. Были изучены 15 сортообразцов салата различных сортотипов в разных комбинациях. Гибридизацию проводили в условиях Московской области и Краснодарского края тремя способами: 1) с использованием мух в качестве насекомых опылителей; 2) с применением ручной кастрации, при которой срезали соцветия нераскрывшиеся бутоны с пылью внутри и последующей смывкой остатков пыльцы, после чего проводили ручное опыление («Clip and Wash» метод); 3) с применением ручной кастрации, при которой проводили однократное смывание пыльцы, после чего также опыляли вручную. Оценка уровня гибридности, а также отбор селекционного материала проводили по основным морфологическим и хозяйственно ценным признакам.

Результаты. Получены 529 гибридных растения за 2021-2023 годы при использовании трех методов гибридизации салата, для использования в дальнейшей селекции из них было отобрано 150 растений различных сортотипов и форм. Установлено, что при методе гибридизации «Clip and Wash» достигается максимальный процент гибридизации (92-100%) при меньших трудозатратах в организации скрещиваний. Гибридизация с применением для опыления насекомых менее эффективна и более трудозатратна, однако есть возможность благодаря этому методу проводить опыление большего количества соцветий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

салат, исходный материал, гибридизация, кастрация, опыление

Comparison of the effectiveness of various lettuce (*Lactuca sativa* L.) hybridization methods

ABSTRACT

Relevance. Lettuce is a widespread green crop. The high demand for lettuce products, as well as for new varieties, drives the development of different breeding practices for this crop. It is the most promising to use hybridization method in the lettuce breeding for a diverse source material production. However, lettuce is a self-pollinating plant with small flowers and a short flowering period (about three hours), so the technique of castration and pollination is difficult. The current methods of lettuce hybridization vary in efficiency and labor intensity. This study aims to compare the effectiveness of three different hybridization methods and to obtain a source material for lettuce breeding using these methods.

Materials and methods. 15 varieties of different variety types of lettuce were studied in various combinations. Three hybridization methods was conducted in the conditions of the Moscow region and the Krasnodar Territory: 1) using flies as pollinating insects, 2) using manual castration by cutting off the inflorescence of unopened buds with pollen inside and washing off pollen residues followed by manual pollination ("Clip and Wash" method), and 3) using manual emasculatation with a single pollen wash, also followed by manual pollination. The hybridity level assessment and the breeding material selection were performed according to the main morphological and economically valuable characteristics.

Results. In the period from 2021 to 2023, 529 hybrid plants were produced using three different hybridization methods of lettuce. Out of these, 150 plants of various variety types and forms were selected for further breeding. The "Clip and Wash" method was found to be the most effective in terms of achieving the highest hybridization percentage (92-100%) with less labor costs in organizing crosses. However, the hybridization process using insect pollination was less effective and required more labor, but it was also possible to pollinate a larger number of inflorescences using this method.

KEYWORDS:

lettuce, source material, hybridization, emasculatation, pollination

Введение

Салат-латук наиболее распространенная культура среди зеленных овощей. Селекция салата ведется по различным направлениям во всем мире [1-4]. Наиболее часто как основной метод селекции используют индивидуальный отбор и гибридизацию. Гибридизация является более перспективным методом так как, с помощью скрещиваний осуществляется рекомбинация генотипов и как следствие получение нового разнообразного исходного материала для селекции, что представляет собой большой практический интерес. Однако, в связи с особенностями строения и небольшой величиной цветка салата, приспособленного к самоопылению, а также биологии цветения, сама техника гибридизации салата достаточно сложная [5-8]. Известны различные методы гибридизации салата, отличающиеся по эффективности и трудоемкости. Так как салат является самоопылителем, важное место в изучении возможной гибридизации отводится удалению пыльцы с материнских цветков. Изначально использовалась кастрация при которой пинцетом удалялись пыльники до начала цветения [9]. Позже появились данные о использовании для кастрации тумана или распыскивания различных химических веществ [10]. При этом, исследователи не дают однозначных оценок и рекомендаций по использованию этих методов, в том числе из-за того, что нередко успех гибридизации зависит от условий ее проведения и подбора родительских пар [9-12]. В данной работе проведена оценка эффективности трех методов гибридизации салата: двух способов ручной гибридизации и одного метода с использованием мух в качестве насекомых опылителей. Цель исследования – сравнение эффективности трех способов гибридизации салата и получение с использованием этих методов исходного материала для селекции. Для этого необходимо подобрать родительские пары (определив источники ценных признаков), провести ручную кастрацию и опыление, а также опыление при помощи мух, провести оценку гибридности полученных растений, отобрать лучшие гибриды для дальнейшей селекции.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2021-2023 годах в условиях Московской области и Краснодарского края на базе ССЦ «Гавриш-Слободской» и ССЦ «Гавриш-Крымский». Для комбинаций подбирались сорта различных сортотипов преимущественно имеющие контрастные признаки (различную форму и окраску листа, различную степень пузырчатости и волнистости листа и др.). Это сорта сортотипа Батавия такие как Хризолит (Гавриш), Нефрит (Гавриш), Конвершн (Rijk Zwaan), Орбитал (Rijk Zwaan); сорта Маслянистого салата - Лимпопо (Гавриш) и Кейси (Enza Zaden); дуболистный сорт Кредо (Гавриш) и Гренадин (Vilmorin); сорта типа Лолла Росса – Сатин (Rijk Zwaan), Кармези (Rijk Zwaan) и Грейс (Гавриш); многолистный салат Экзам (Rijk Zwaan) и Бинекс (Rijk Zwaan); салат «Фриллис» сорта Форт (Гавриш) и салат ромен Цезарь (Гавриш). Для того чтобы при идентификации и отборе полученных гибридных растений легче определять роди-

тельские признаки и переходные формы, было необходимо заранее провести оценку и описание сортов-родителей. Также выделяли предполагаемые источники ценных признаков. Данные 15 сортов высаживали в различных комбинациях.

Изучали три метода гибридизации салата. Два из них включают ручной способ опыления (при разных способах кастрации), а в третьем гибридизация проводилась с использованием насекомых в качестве опылителей, без кастрации. Метод «Clip and wash» (C&W) включает способ кастрации, при котором сначала срезаются венчики в соцветии (перед открытием цветков), а после остатки пыльцы смываются водой (при появлении пестика) и при раскрытии долей рыльца в форме «V» проводят опыление посредством переноса пыльцы с соцветия отцовского растения [9] (рис.1). С ним сравнивался метод кастрации при котором проводился только однократный смыв пыльцы при открывании цветков (метод «однократного смывания пыльцы») [9]. Растения для скрещиваний высаживались в необогреваемую пленочную теплицу, каждого сорта было высажено по три растения (24 комбинации в 2022 году и 30 комбинаций в 2023 году). В 2022 году высадка проводилась 25 апреля – более поздних сортов и 11 мая – более ранних сортов, в 2023 году 24 апреля – более поздних сортов и 3 мая – более ранних сортов (Московская область, защищенный грунт). Кастрацию и ручное опыление в соцветиях проводили в течение трех недель (II и III декада августа) примерно с 7:00 до 10:00 (время цветения салата) в зависимости от погодных условий.

Растения для скрещиваний с использованием в качестве опылителей мух *Lucilia caesar* (также называемыми зелеными падальными мухами) [13], высаживались в Московской области в необогреваемую пленочную теплицу 7 мая в 2021 году (25 комбинаций) и 11 мая в 2022 году (25 комбинаций). После подвязывания растений с уже сформированными цветоносами, проводили изоляцию сетчатым материалом каждой комбинации (по 6 растений под изолятором) и при цветении осуществляли ввод насекомых-опылителей (50-100 мух на 1 м²). Опыт с мухами был продублирован в условиях открытого грунта в Краснодарском крае. Высадку проводили 23 апреля (поздние сорта) и 4 мая (ранние сорта) в 2021 году (25 комбинаций), а в 2022 году более поздние сорта высадили 26 апреля и ранние 3 мая (65 комбинаций).

Семена с растений, где использовалась ручная гибридизация срезались в пакеты из крафт-бумаги вместе с частью стебля (для предотвращения осыпания семян) и маркировкой на нем. Семена с растений опыленными мухами собирались полностью. Полученные семена высевались весной следующего года в кассеты, и оценка гибридности проводилась на 30-40 суток от посева в самих кассетах или после высадки в открытый грунт в стадии товарной зрелости. При оценке предположительно гибридных растений руководствовались методическими указаниями: «Визуальное фенотипирование в селекции растений» [14] и «Методика проведения испытаний на отличимость, однородность, стабильность. Салат (*Lactuca sativa* L.)» [15].



Рис. 1. Соцветие салата при кастрации методом «Clip and wash». (I) Соцветие перед раскрытием венчиков, пунктир указывает на место среза. (II) Соцветие со срезанными венчиками и пылью внутри них. (III) Соцветие, в котором цветки в стадии выхода пестика (дополнительно промывается водой). (IV) Цветок, готовый к нанесению пыльцы (доли рыльца пестика открыты в форме «V»)

Fig.1. Lettuce inflorescence during emasculation by the "Clip and wash" method. (I) The inflorescence before opening the corollas, the dotted line indicates the place of cutting. (II) An inflorescence with cut corollas and pollen inside them. (III) An inflorescence in which the flowers are in the pistil exit stage (additionally washed with water). (IV) A flower ready for pollen application (the lobes of the stigma of the pistil are open in the form of a "V")

Результаты и их обсуждение

Эффективность, а также уровень трудоемкости представленных трех методов гибридизации выражаются в первую очередь в количестве соцветий на растении, в которых удастся провести опыление. При ручном опылении на эту величину влияет уровень сложности кастрации – чем сложнее и дольше, тем меньше соцветий можно успеть опылить за время, пока цветки открыты. Кастрация при использовании метода «C&W» фактически включает в себя метод «Однократного смывания пыльцы», смывание пыльцы проводится в момент, когда становится хорошо ее видно (также отчетливо становятся видны две доли рыльца), а момент среза еще не раскрывшихся венчиков соответственно попадает на время до цветения. Таким образом времени на метод «C&W» тратится больше, но не ценного времени самого цветения, когда кроме кастрации необходимо также перенести пыльцу с отцовского растения. Кроме того, соцветие со срезанным венчиком визуально легче определить в отличие от соцветий где только смыта пыльца (хотя перед кастрацией и делается соответствующая маркировка), поэтому и само опыление проводить немного легче и незначительно быстрее при методе «C&W». На комбинациях изучаемых в данной работе при методе «C&W» семена завязались и были собраны с 1-5 соцветий на комбинацию, при методе «Однократного смывания пыльцы» с 1-8 соцветий на комбинацию. Однако, стоит отметить, что время на кастрацию и опыление более перспективных комбинаций тратилось больше и гибридизация проводилась на большем количестве соцветий, также задача стояла успеть провести гиб-

ридизацию как в можно большем количестве различных сочетаний и в день проводилась гибридизация сразу нескольких комбинаций. С использованием метода «C&W» и «Однократного смывания пыльцы» за три часа цветения салата в день проводили кастрацию и ручное опыление в среднем 20-25 соцветий различных комбинаций. В одном соцветии завязывалось от 1 до 19 семян (в среднем 14 шт.) – при методе «Однократного смывания пыльцы» и от 15 до 19 семян (с средним 16) – при методе «C&W». Несмотря на то, что средние значения завязываемости семян в соцветии у этих методов отличаются незначительно, однако, можно сделать вывод, что более качественно гибридизация проводится по методу «C&W», так как при методе «Однократного смывания пыльцы» в нескольких соцветиях семена завязались не полностью (в сравнении с контролем - количеством семян в соцветии каждого отдельного сорта). За максимально возможное количество семян одного соцветия каждого сорта, принимали данные с контрольных соцветий этих сортов без кастрации и опыления, также ориентировались на ботанические особенности культуры [8].

При опылении мухами кастрация не проводится [11, 13], под изоляторами находились растения целиком и цвели в течении двух-трех недель (в день открыты от нескольких штук до нескольких десятков соцветий одновременно), соответственно собирались все завязавшиеся семена на растении, а это от 1 до 10 г семян или 1000-10000 шт. семян с растения в зависимости от сорта, наличия или отсутствия болезней, погодных условий на момент созревания семян [8].

Семена, полученные с растений в 2021 и 2022 годах, высевали соответственно в 2022 и 2023 годах для оценки полученных из них растений на гибридность и пригодность для дальнейшей селекции.

Метод «Однократного смывания пыльцы».

Количество завязавшихся семян в 2022 году составило от 27 до 129 штук с комбинации (табл. 1), что соответствовало от 2 до 8 соцветий с комбинации.

Количество завязавшихся семян в 2023 году составило от 28 до 134 шт. с комбинации (табл. 1), что соответствовало от 2 до 9 соцветий с комбинации. На одну комбинацию приходилось от 0 до 70 гибридных растений.

Из 54 комбинаций (за два года) было получено 257 гибридных растений (80 штук за 2022 год и 177 шт. за 2023 год) с 25 комбинаций (от 2 до 81% гибридности). В среднем процент гибридности по методу «Однократного смывания пыльцы» – 29%.

Метод «Clip and wash».

Кастрация и опыление по методу «Clip and wash» были проведены на 8 комбинациях и семена были получены со всех соцветий, участвовавших в гибридности. Количество завязавшихся семян составило от 15 до 75 штук, что соответствует от 1 до 5 соцветий с комбинации (табл. 1). Количество полученных гибридных растений от 15 до 73 с комбинации (всего 272 гибридных растения). В среднем процент гибридности по методу «Clip and wash» – 98%.

Опыление с использованием насекомых (мух *Lucilia caesar*).

Так как с большинства растений было получено по несколько тысяч семян, посев которых занял бы

большие площади и объёмы работ, то высевали по 300 семян с каждой комбинации (или меньше, если семян завязалось менее 300).

Из 90 комбинаций изучаемых в условиях открытого грунта в Краснодарском крае (за два года) с чуть больше половины (48 комбинаций) не были получены гибридные растения, т.е. отмечалась гибридность 0%. В оставшихся 42 комбинациях процент гибридности составлял от 1 до 76%. В таблице 2 представлены комбинации которые дали наибольшее количество гибридных растений. В среднем процент гибридности по методу опыления с помощью мух в условиях открытого грунта в Краснодарском крае – 13%.

Из 50 комбинаций изучаемых в условиях защищенного грунта в Московской области (за 2 года) гибридные растения были получены с 18 комбинаций, процент гибридности составлял от 1 до 34% (табл. 2). В среднем процент гибридности по методу опыления с помощью мух в условиях защищенного грунта в Московской области – 8%.

За три года исследований (с 2021 – 2023) было получено и оценено 529 гибридных растений, для использования в дальнейшей селекции из них было отобрано 150 растений различных сортоформ и форм (рис. 2 и 3). Оценка гибридных растений проводилась по основным морфологическим и хозяйственно ценным признакам (строение розетки листьев, размер розетки, ширина и высота листовой пластинки, окраска листовой пластинки и ее интенсивность, волнистость, пузырчатость и глянецовитость листа, количество листьев, консистенция ткани листа, скороспелость, рассеченность листа, наличие гетерозиса, наличие краевого ожога и др.).

Также получен и оценен материал F₂-F₃, благодаря чему подтверждена гибридность предположительно гибридных растений (посредством наличия расщепления в F₂). Сорта Орбитал, Хризотил, Конвершн,



Рис. 2. Лист гибридного растения (в центре) от скрещивания ♀ Форт x ♂ Орбитал
Fig.2. Lettuce leaf of a hybrid plant (in the center) from crossing ♀ Fort x ♂ Orbital



Рис. 3. Лист гибридного растения (в центре) от скрещивания ♀ Экзам х ♂ Кейси
Fig.3. Lettuce leaf of a hybrid plant (in the center) from crossing ♀ Exam х ♂ Casey

Таблица 1. Результаты межсортных скрещиваний салата двумя методами ручной гибридизации в условиях Московской области защищенного грунта (2022-2023 гг.)
Table 1. The results of intersort crossings of lettuce by two methods of manual hybridization in the conditions of the Moscow region of protected soil (2022-2023)

Комбинация	2022			2023		
	Завязавшихся семян, шт	Гибридных растений, шт	% гибридизации	Завязавшихся семян, шт	Гибридных растений, шт	% гибридизации
Метод однократного смывания пыльцы (wash)						
♀Хризолит х ♂Нефрит (к)	93	10	11	97	23	24
♀Кейси х ♂Орбитал	36	10	28	103	2	2
♀Кармези х ♂Кредо	27	2	7	134	0	0
♀Кармези х ♂ Экзам	52	5	10	28	17	61
♀Цезарь х ♂Грейс	27	13	56	84	37	44
♀Кредо х ♂Грейс	129	11	9	115	24	21
♀Форт х ♂Орбитал	36	2	6	112	0	0
♀Сатин х ♂Кейси	113	27	24	86	70	81
♀Конвершн х ♂Сатин	56	0	0	69	4	58
Метод Clip and wash						
♀Хризолит х ♂Нефрит (к)				35	35	100
♀Кейси х ♂Сатин				45	45	100
♀Хризолит х ♂Сатин				19	19	100
♀Экзам х ♂Кейси				15	15	100
♀Хризолит х ♂ Конвершн				33	32	97
♀Кейси х ♂Бинекс				29	29	100
♀Бинекс х ♂Кейси				26	24	92
♀Экзам х ♂Хризолит				75	73	97

Таблица 2. Результаты межсортных скрещиваний салата с использованием мух (*Lucilia caesar*) в качестве насекомых опылителей в условиях открытого и защищенного грунта (Московская область и Краснодарский край, 2022-2023 годы)
Table 2. Results of intersort crossings of lettuce using flies (*Lucilia caesar*) as pollinating insects in open and protected ground conditions (Moscow Region and Krasnodar Territory, 2022-2023)

Комбинация	2021		2022	
	Гибридных растений, шт	% гибридизации	Гибридных растений, шт	% гибридизации
<i>Краснодарский край, открытый грунт</i>				
♀Хризолит х ♂Нефрит (к)	4	9	6	3
♀Грейс х ♂Лимпопо	5	14	36	76
♀Цезарь х ♂Нефрит	0	0	27	18
♀Лимпопо х ♂Кредо	18	20	2	1
♀Цезарь х ♂Гренадин	25	12	0	0
♀Хризолит х ♂Кредо	46	54	17	24
♀Кредо х ♂Туска	0	0	11	8
♀Квинтус х ♂Меркурий	13	7	5	14
<i>Московская область, защищенный грунт</i>				
♀Хризолит х ♂Нефрит (к)	10	12	2	4
♀Лимпопо х ♂Грейс	0	0	2	1
♀Лимпопо х ♂Кредо	19	11	2	1
♀Нефрит х ♂Кредо	3	5	1	3
♀Грейс х ♂Нефрит	23	12	12	6
♀Нефрит х ♂Грейс	27	6	0	0
♀Грейс х ♂Хризолит	56	34	8	15
♀Хризолит х ♂Кредо	0	0	24	30

Кредо и Экзам отмечены как доноры хозяйственно ценных признаков (интенсивная антоциановая окраска листа, высокая степень гляцевитости, сильная волнистость края листа, раннеспелость (формирование товарной зелени на 28-30 сутки от посева), большое количество листьев.

Выводы

По итогам оценки эффективности способов гибридизации салата-латука установлено, что при методе гибри-

дизации «Clip and Wash» достигается максимальный процент гибридизации (92-100%) при меньших трудозатратах в проведении кастрации и опылении. Гибридизация с использованием мух (*Lucilia caesar*) в качестве насекомых опылителей менее эффективна и более трудозатратна, однако есть возможность благодаря этому методу проводить опыление значительно большего количества соцветий. Гибридизация салата-латука может успешно применяться в селекционной работе для получения разнообразного исходного материала.

В результате использования трех методов гибридизации от межсортовых скрещиваний получены и отобраны гибридные растения, а также растения поколений F₂-F₃ и установлены доноры хозяйственно ценных признаков, таких как интенсивная антоциано-

вая окраска листа, высокая степень глянцевого блеска, сильная волнистость края листа, скороспелость, количество листьев, размер розетки листьев, размер листовой пластинки (Орбитал, Хризолит, Конвершн, Кредо, Гоген и др.).

• Литература

1. Ловчикова Е.И., Волченкова А.С., Зверева Г.П. Перспективы и тенденции развития отрасли овощеводства. *Вестник аграрной науки*. 2023;3(102):161-167. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.3.161> <https://www.elibrary.ru/eeoieh>
2. Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф., Пышная О.Н., Гуркина Л.К., Пинчук Е.В. Селекция и семеноводство овощных культур – на инновационный путь развития. *Овощи России*. 2023;(1):5-13. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-5-13> <https://www.elibrary.ru/wzovbp>
3. Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф., Харченко В.А., Иванова М.И. Селекция листовых и пряно-ароматических культур: состояние и направления. 2019;(3):7-14. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-7-14> <https://www.elibrary.ru/hjoprc>
4. Пинчук Е.В., Беспалько Л.В., Козарь Е.Г., Балашова И.Т., Сирота С.М., Шевченко Т.Е. Ценная овощная зелень на гидропонике для круглогодичного потребления. *Овощи России*. 2019;(3):45-53. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-45-53> <https://www.elibrary.ru/gkuvhv>
5. Han R., Truco M.J., Lavelle D.O., Michelmore R.W. A Composite Analysis of Flowering Time Regulation in Lettuce. *Front. Plant Sci.* 2021;(12):632708. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.632708>
6. Ryder E.J. Ten lettuce genetic stocks with early flowering genes Ef-1ef-1 and Ef-2ef-2. *Hortscience*. 1996;(31):473-475. <https://doi.org/10.21273/Hortsci.31.3.473>
7. Silva E.C., Maluf W.R., Leal N.R., Gomes L.A.A. Inheritance of bolting tendency in lettuce *Lactuca sativa* L. *Euphytica*. 1999;(109):1-7. <https://doi.org/10.1023/A:1003698117689>
8. Лудилев В.А., Иванова М.И. Редкие и малораспространенные овощные культуры. М.: Росинформагротех, 2009. 195 с.
9. Nagata R.T. Clip-and-wash method of emasculation for lettuce. *HortScience*. 1992;27(8):907-908.
10. Ryder E.J., Johnson A.S. Mist despoliation of Lettuce flowers. *HortScience*. 1974;(9):584.
11. Goubara M., Takasaki T. Pollination effects of the sweat bee *Lasioglossum villosulum* trichopse (Hymenoptera: Halictidae) on genic male-sterile lettuce. *Applied entomology and zoology*. 2004;39(1):163-169.
12. D'Andrea L., Felber F., Guadagnuolo R. Hybridization rates between lettuce (*Lactuca sativa*) and its wild relative (*L. serriola*) under field conditions. *Environmental Biosafety Research*. 2008;7(2):61-71.
13. Пат. 2593940 Российская Федерация МПК A01H 1/02, A01H 5/00, A01H 5/10. Получение семян гибрида *Lactuca sativa*/ Херве М., Тьерри С.; патентообладатель Вилморин. – № 2009131326/10; заявл. 10.04.2011 Бюл. № 10; 10.08.2016 Бюл. № 22. 40 с.
14. Цаценко Л. В., Савиченко Д. Л. Визуальное фенотипирование в селекции растений. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2017;(128):1039-1051. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-128-071> <https://www.elibrary.ru/yosryr>
15. UPOV, TG /13/11 от 14.06.2019 «Методика проведения испытаний на отличимость, однородность, стабильность. Салат (*Lactuca sativa* L.)»

• References

1. Lovchikova E.I., Volchenkova A.S., Zvereva G.P. Prospects and trends in the development of the vegetable growing industry. *Bulletin of agrarian science*. 2023;3(102):161-167. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.3.161> <https://www.elibrary.ru/eeoieh>
2. Soldatenko A.V., Pivovarov V.F., Pyshnaya O.N., Gurkina L.K., Pinchuk E.V. Selection and seed production of vegetable crops – on an innovative path of development. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(1):5-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-5-13> <https://www.elibrary.ru/wzovbp>
3. Soldatenko A.V., Pivovarov V.F., Kharchenko V.A., Ivanova M.I. Selection of leaf and spicy aromatic agricultural crops: status and directions. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(3):7-14. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-7-14> <https://www.elibrary.ru/hjoprc>
4. Pinchuk E.V., Bepalko L.V., Kozar E.G., Balashova I.T., Sirota S.M., Shevchenko T.E. Valuable vegetable green on hydroponics for seasonal use. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(3):45-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-45-53> <https://www.elibrary.ru/gkuvhv>
5. Han R., Truco M.J., Lavelle D.O., Michelmore R.W. A Composite Analysis of Flowering Time Regulation in Lettuce. *Front. Plant Sci.* 2021;(12):632708. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.632708>
6. Ryder E.J. Ten lettuce genetic stocks with early flowering genes Ef-1ef-1 and Ef-2ef-2. *Hortscience*. 1996;(31):473-475. <https://doi.org/10.21273/Hortsci.31.3.473>
7. Silva E.C., Maluf W.R., Leal N.R., Gomes L.A.A. Inheritance of bolting tendency in lettuce *Lactuca sativa* L. *Euphytica*. 1999;(109):1-7. <https://doi.org/10.1023/A:1003698117689>
8. Ludilov V.A., Ivanova M.I. Rare and rare vegetable crops. M.: Rosinformagrotekh, 2009. 195 p. (In Russ.)
9. Nagata R.T. Clip-and-wash method of emasculation for lettuce. *HortScience*. 1992;27(8):907-908.
10. Ryder E.J., Johnson A.S. Mist despoliation of Lettuce flowers. *HortScience*. 1974;(9):584.
11. Goubara M., Takasaki T. Pollination effects of the sweat bee *Lasioglossum villosulum* trichopse (Hymenoptera: Halictidae) on genic male-sterile lettuce. *Applied entomology and zoology*. 2004;39(1):163-169.
12. D'Andrea L., Felber F., Guadagnuolo R. Hybridization rates between lettuce (*Lactuca sativa*) and its wild relative (*L. serriola*) under field conditions. *Environmental Biosafety Research*. 2008;7(2):61-71.
13. Pat. 2593940 Rossijskaya Federaciya MPK A01H 1/02, A01H 5/00, A01H 5/10. Production of *Lactuca sativa* hybrid seeds/ Herve M., Terri S.; patentoobladatel' Vilmorin. № 2009131326/10; yayavl. 10.04.2011 Byul. № 10; 10.08.2016 Byul. № 22. 40 p. (In Russ.)
15. Tsatsenko L.V., Savichenko D.L. Visual phenotyping in plant breeding. *Polythematic Online Scientific Journal Of Kuban State Agrarian University*. 2017;(128):1039-1051. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-128-071> <https://www.elibrary.ru/yosryr>
16. UPOV, TG /13/11 dated 14/06/2019 (Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability. Lettuce (*Lactuca sativa* L.)).

Об авторе:

Мария Вячеславовна Ковальчук – научный сотрудник ООО "НИИ селекции овощных культур", аспирант кафедры Ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА им.К.А.Тимирязева, автор для переписки, mariyak737@gmail.com, SPIN-код: 4683-6840, <https://orcid.org/0009-0006-5685-5763>

About the Author:

Mariya V. Kovalchuk – Researcher LLC "Research Institute of Vegetable Breeding", PhD-student, Department Botany, Plant Breeding and Seed Technology, RSAU-MTAA, Corresponding Author, mariyak737@gmail.com, SPIN-code: 4683-6840, <https://orcid.org/0009-0006-5685-5763>

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-12-17>
УДК: 635.64-047.37:632.444.2

Н.В. Хунвану^{1*}, Г.Ф. Монахос², С.Г. Монахос¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» 127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49

² ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева» 127550, Россия, Москва, ул. Пасечная, д.5

*Автор для переписки:
hounvinic87@yahoo.com

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением 075-15-2023-220 на поддержку программы развития университета «Приоритет-2030».

Конфликт интересов. Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Монахос Г.Ф., Монахос С.Г.: концептуализация, методология, верификация и администрирование данных, ресурсы, редактирование рукописи; Хунвану Н.В.: проведение исследования, формальный анализ, создание рукописи.

Для цитирования: Хунвану Н.В., Монахос Г.Ф., Монахос С.Г. Фенотипический и молекулярно-генетический скрининг устойчивости образцов томата к фитофторозу. *Овощи России*. 2024;(5):12-17. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-12-17>

Поступила в редакцию: 15.08.2024

Принята к печати: 02.09.2024

Опубликована: 27.09.2024

Nicaise V. Hounwanou^{1*}, Grigory F. Monakhos², Sokrat G. Monakhos¹

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy” 49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia

² Breeding Station named after N.N. Timofeev 5, Pasechnaya str., Moscow, 127550, Russia

*Corresponding Author: hounvinic87@yahoo.com

Acknowledgements. The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance with agreement 075-15-2023-220 to support the University’s development program «Priority-2030».

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interests.

Authors’ Contribution: Monakhos G.F., Monakhos S.G.: conceptualization, methodology, data verification and administration, resources, editing of the manuscript; Hounwanou N.V.: conducting research, formal analysis, manuscript creation.

For citation: Hounwanou N.V., Monakhos G.F., Monakhos S.G. Evaluating tomato lines resistance to Late Blight and molecular genetic screening with the use of molecular markers. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):12-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-12-17>

Received: 15.08.2024

Accepted for publication: 02.09.2024

Published: 27.09.2024

Фенотипический и молекулярно-генетический скрининг устойчивости образцов томата к фитофторозу

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Фитофтороз томата, вызываемый *Phytophthora infestans*, в прохладных и влажных условиях среды может приводить к потере практически 100% урожая в условиях открытого грунта. При этом генетические особенности *P. infestans* позволяют со временем преодолевать генетическую устойчивость растений-хозяев, что требует от селекционеров искать новые гены устойчивости к фитофторозу и получать новые сорта, обладающие сразу несколькими генами устойчивости.

Цель. Фенотипический и молекулярно-генетический скрининг коллекции томата на устойчивость к *P. infestans* и оценка возможности использования молекулярных маркеров для маркер-опосредованной селекции.

Материалы и методы. Из коллекции Селекционной станции имени Н.Н. Тимофеева были получены 12 линий томата, что в общей сложности составило 335 растений, которые были высажены в условия искусственного инфекционного фона. 12 растений линии Кр6 были использованы для молекулярно-генетического скрининга с маркерами, ассоциированными с генами устойчивости паслёновых к фитофторозу *Ph-3*, *R1*, *R3a*.

Результаты. Фенотипическая оценка устойчивости томата к фитофторозу на искусственном инфекционном фоне выявила 1 линию без симптомов поражения заболеванием, 5 линий полностью пораженных фитофторозом, и 6 линий, в которых наблюдали расщепление по проявлению симптомов поражения. Молекулярно-генетическое исследование выявило, что устойчивые растения были гетерозиготами по гену *Ph-3*. Кроме того, большая часть исследованных растений имела ген *R1*, который, однако, при отсутствии гена *Ph-3*, не обеспечивал устойчивость растений к фитофторозу.

Заключение. В результате фенотипического и молекулярно-генетического скрининга генетической коллекции томата выявлены образцы-доноры устойчивости к фитофторозу томата для использования в селекции. Показана возможность использования ДНК-маркеров, ассоциированных с генами *Ph-3* и *R1*, для маркер-опосредованного отбора. Кроме того, было подтверждено, что наличие двух генов устойчивости обеспечивает растениям томата более эффективную защиту от *P. infestans*.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

томат, фитофтороз, маркер-опосредованный отбор, устойчивость, генетическая коллекция



Evaluating tomato lines resistance to Late Blight and molecular genetic screening with the use of molecular markers

ABSTRACT

Relevance. Tomato late blight caused by *Phytophthora infestans* can cause almost 100% yield loss in open ground in cool and humid conditions. At the same time, the genetic characteristics of *P. infestans* allow it to overcome the genetic resistance of host plants over time, which requires breeders to look for new genes for resistance to late blight and to obtain new varieties that have several resistance genes at once.

Material and methods. 12 tomato lines, or a total of 335 plants, were obtained from the N.N. Timofeev breeding station collection and planted in an artificially infected background. For molecular genetic screening, 12 plants from the Kr6 line were used. The markers linked to the late blight resistance genes *Ph-3*, *R1*, and *R3a* were utilized.

Results. On an artificial infectious background, phenotypic evaluation of tomato resistance to late blight showed 1 line of plants free of pathogen damage, 5 lines of plants fully afflicted by late blight, and 6 lines with only partial plant damage. According to molecular genetic investigation the resistant plants were heterozygotes for the *Ph-3* gene. Furthermore, the *R1* gene was present in most of the plants under study; but, without the *Ph-3* gene, this gene did not provide plant resistance against late blight.

Conclusions. The results of this research led to the selection of tomato plants for further breeding that were resistant to late blight. It was shown that markers linked to the *Ph-3* and *R1* genes might be used for marker-mediated selection. Furthermore, it has been established that tomato plants are more effectively protected against *P. infestans* when several resistance genes are present.

KEYWORDS:

tomato, late blight, marker-assisted selection, resistance, germplasm

Введение

Фитофтороз, вызываемый оомицетом *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, – одна из основных болезней представителей паслёновых, в том числе и томата (*Solanum lycopersicum* L.), по всему миру, особенно в регионах с относительно низкими температурами и высокой влажностью [1]. При этом потери урожая томата из-за поражения фитофторией могут достигать от 41 до 100% в открытом грунте и от 12 до 65% в открытом грунте при использовании фунгицидов [2]. Единственным способом эффективного и устойчивого контроля за распространением *P. infestans* прежде всего остаётся использование созданных ранее и создание новых устойчивых сортов томата, дополненное селективным применением фунгицидов, удаление поражённых растений и рядом других агротехнических приёмов [3, 4].

Естественная устойчивость к фитофторозу была обнаружена у ряда диких родственников томата, таких как *S. pimpinellifolium* L., *S. habrochaites* S.Knapp & D.M.Spooner и *S. pennellii* Correll, и было выделено 6 генов (*Ph-1*, *Ph-2*, *Ph-3*, *Ph-4*, *Ph-5-1* и *Ph-5-2*), отвечающих за этот признак [5]. Гены *Ph-1* и *Ph-2* были первыми картированы и переданы от *S. pimpinellifolium* к *S. lycopersicum*, однако устойчивость к *P. infestans*, которую получили новые сорта, была со временем преодолена патогеном [6]. Впоследствии к *S. lycopersicum* был передан ген *Ph-3*, который обеспечивал устойчивость к тем расам *P. infestans*, которые преодолели устойчивость к генам *Ph-1* и *Ph-2* [3]. Ген *Ph-3* активно используется в различных селекционных программах [2], однако устойчивость к поражению фитофторозом, которую он обеспечивает, оказалась так же раса-специфичной и на данный момент уже преодолена рядом рас *P. infestans* [2, 5].

Ряд других генов, например, *R1* и *R3a*, обеспечивающих устойчивость к *P. infestans*, известных для паслёновых в целом, лучше всего были охарактеризованы у картофеля (*S. tuberosum* L.) и его близких родственников, таких как, например, *S. demissum* Lindl., хотя и их устойчивость была частично преодолена [7-9].

Преодоление устойчивости в создаваемых сортах томата *P. infestans* обусловлено генетическими особенностями её генома [5]. Способность преодолевать защитные механизмы растения-хозяина обеспечивает изменение плоидности, масштабным делециям, которые могут удалять из генома факторы, распознаваемые растением-хозяином, изменениями в паттернах экспрессии генов и высокой активностью транспозонов [10]. В связи с этим, одним из направлений селекции томата на устойчивость к фитофторозу представляется накопление в растении множества генов устойчивости, которые в совокупности позволяют лучше защитить растение, что уже было продемонстрировано на примере взаимного действия *Ph-2* и *Ph-3* генов [11].

В России, хотя фитофтороз является одним из самых вредоносных заболеваний томата, выращиваемого в открытом грунте, научные работы, посвященные поиску генов-маркеров устойчивости томата к фитофторозу, практически отсутствуют. В связи с этим, целью настоящей работы стало тестирование ряда известных молекулярных маркеров, ассоциированных

с генами устойчивости к фитофторозу, на возможность их дальнейшего использования в маркер-опосредованной селекции, фенотипический и молекулярно-генетический скрининг генетической коллекции томата.

Материалы и методы

Генетическая коллекция образцов томата была получена из ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева». Для проведения исследования были использованы 12 линий томата, которые были высажены и выращены в открытом грунте на территории Селекционно-семеноводческого центра овощных культур ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А.Тимирязева в 2023 году. В общей сложности было изучено 335 растений.

Для создания искусственного инфекционного фона были собраны образцы *P. infestans* в естественной среде. Пораженные *P. infestans* листья собирали и выдерживали при температуре +4°C в течение 4 часов. Затем зараженные листья переносили в дистиллированную воду на 15 минут для создания суспензии инокулята. Полученную суспензию ооспор *P. infestans* использовали для двукратной инокуляции растений томата.

Раствор инокулята ооспор *P. infestans* наносили на все растения томата около 10 часов утра за несколько дней до цветения. Оценку устойчивости растений проводили только на основании факта наличия или отсутствия поражения фитофторозом по стандартной методике [12]. Симптомы поражения определяли визуально по характерным признакам: наличие пятен на листьях и плодах томата с белым мицелием, которые со временем увеличивались в размерах и становились черными, наличие коричневой мраморности на плодах.

Для проведения молекулярно-генетического скрининга устойчивости к *P. infestans* была отобрана линия томата Kp6 с четкой фенотипической дифференциацией растений на пораженные фитофторозом растения и растения без симптомов поражения. С каждого растения было собрано 100-150 мг молодых листьев для выделения ДНК методом СТАВ (цетилтриметиламмония бромид) [13]. Концентрацию и качество выделенной ДНК оценивали на спектрофотометре NanoPhotometer N50 (Implen, Германия).

Выделенную ДНК использовали для проведения ПЦР реакции по стандартной методике с 0,25 ед. ДНК-полимеразы Taq (Евроген, Россия) в соответствии с рекомендациями производителя в амплификаторе Bio-Rad T100 (Bio-Rad, США) по программе, описанной Mullis [14].

Для выявления наличия гена *Ph-3* в исследуемых образцах использовали разработанный прежде для картофеля CASP (Cleaved Amplified Polymorphic Sequences) молекулярный маркер TG328 [12]. Для амплификации маркера TG328 размером 500 п.н. использовали прямой праймер 5-GGTGATCTGCTTATAGACTTGGG-3 и обратный 5-AAGGTCTAAAGAAGGCTGGTGC-3. Гидролиз ампликонов проводили в течение 16 часов с использованием 0,9 ед. на 10 мкл ПЦР-продукта эндонуклеазы рестрикции BstNI. Ожидаемые фрагменты ДНК после успешного гидролиза продуктов амплификации составляют 260 и 240 п.н.

Наличие *R*-генов *R1* и *R3a* в исследуемых растениях определяли при помощи разработанных ранее SCAR (Sequence-Characterized Amplified Region) молекулярных маркеров [8, 15]. Для выявления гена *R1* использовали молекулярные маркеры *R1*-1400 (прямой праймер 5-CACTCGTGACAT-ATCCTCACTA-3; обратный 5-CAACCCTGGCATGCCACG-3) и *R1*-1250 (прямой праймер 5-CACTCGTGACATATCCTCACTA-3; обратный 5-GTAGTACCTATCT-TATTTCTGCAAGAAT-3) с ожидаемыми размерами продуктов амплификации 1400 п.н. и 1250 п.н. соответственно [8]. Для выявления гена *R3a* использовали молекулярные маркеры *RT-R3a* (прямой праймер 5-ATCGTTGT-CATGCTATGAGATTGTT-3; обратный 5-CTTCAAGGTAGTGGGCAG-TAGCTT-3) и *R1380* (прямой праймер 5-TCCGACATGTATTGATCTCCCTGAGCCA-3; обратный 5-CTTCAGCTTCTTACAGTAGG-3) с ожидаемыми размерами продуктов амплификации 1000 п.н. и 1380 п.н. соответственно [16].

Продукты амплификации окрашивали интеркалирующим красителем GelRed и разделяли методом электрофореза в 1,5% агарозном геле по стандартной методике. В качестве маркера молекулярных весов использовали ДНК-маркер Step100 (Биолабмикс, Россия), содержащий фрагменты ДНК длиной от 100 до 1000 п.н.

Результаты

Оценка фенотипического проявления признака устойчивости к фитофторозу на искусственном инфекционном фоне

Изучение фенотипического проявления устойчивости среди изучаемых 12 линий растений томата выявило одну линию томата, в которой растения не демонстрировали признаков поражения *P. infestans*, 6 линий,

в которых наблюдались как пораженные *P. infestans* растения, так и растения без признаков поражения, и 5 линий, в которых все растения демонстрировали признаки поражения *P. infestans* (см. рис. 1; см. табл. 1).

Среди 6 расщепляющихся линий, в которых встречались как пораженные *P. infestans* растения, так и растения без следов поражения, фенотипическое расщепление по признаку отсутствия или наличия поражения патогеном варьировало от 1,6:1 до 4,4:1 (см. табл. 1). Лишь в одной линии, Кр4, соотношение соответствует 3:1. При этом стоит отметить, что после инокуляции патогеном поражение растений происходило не одновременно. В ряде случаев отдельные растения начинали демонстрировать признаки поражения *P. infestans* только в конце вегетационного периода.

Молекулярно-генетический скрининг генетической коллекции томата на наличие генов устойчивости к фитофторозу

Для проведения молекулярно-генетического скрининга растений томата на наличие устойчивости к фитофторозу были отобраны 12 растений линии Кр6, часть которых характеризовалась наиболее ярким фенотипическим проявлением симптомов поражения *P. infestans*, а другая часть демонстрировала полное отсутствие поражения патогеном.

Амплификация выделенной ДНК из растений линии Кр6 с праймерами маркера TG328, ассоциированного с геном *Ph-3*, показала наличие фрагмента длиной 500 п.н. у всех исследованных растений (см. рис. 2а). Последующая обработка рестриктазой BstNI выявила наличие сайта рестрикции в амплифицированных фрагментах ДНК у растений Кр6-1, Кр6-2, Кр6-3 и Кр6-4. В этих образцах присутствовал как фрагмент 500 п.н., так и фрагмент длиной 240–260 п.н. (см. рис. 2б).

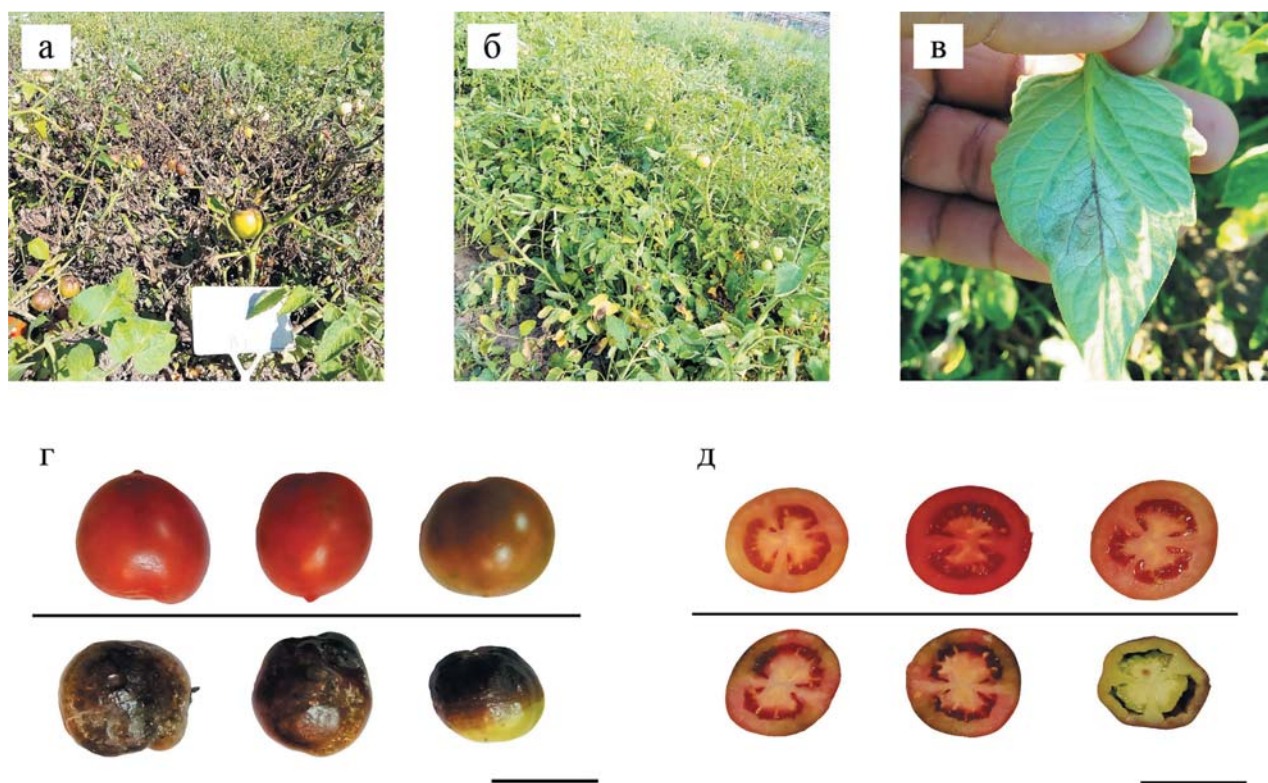


Рис. 1. Симптомы поражения фитофторозом растений томата. а – растения с симптомами поражения; б – растения без симптомов поражения; в – пораженные листья, г, д – пораженные фитофторозом плоды (снизу) и плоды без симптомов поражения (сверху). Размерные линейки: 5 см

Fig. 1. Symptoms of Late Blight of tomato plants. а – plants with disease symptoms; б – plants without symptoms; в – affected leaves, д, е – fruits affected by Late Blight (from below) and fruits without symptoms (from above). Size ranges: 5 cm

Таблица 1. Результаты фенотипической оценки коллекции образцов томата на устойчивость к фитофторозу на искусственном инфекционном фоне

Table 1. Results of a Late Blight disease assay of a collection of tomato accessions

Название линии	Общее число растений	Число растений		Соотношение растений с признаками поражения и без признаков поражения
		Без признаков поражения	С признаками поражения	
Кр1	24	0	24	-
Кр2	28	0	28	-
Кр4	32	24	8	3 : 1
Кр5	28	0	28	-
Кр6	28	18	10	1,8 : 1
Кр7	32	26	6	4,3 : 1
Кр8	24	0	24	-
Кр9	26	16	10	1,6 : 1
Кр10	32	20	12	1,67 : 1
Кр11	24	0	24	-
Кр12	27	17	10	1,7 : 1
Кр14	30	30	0	-

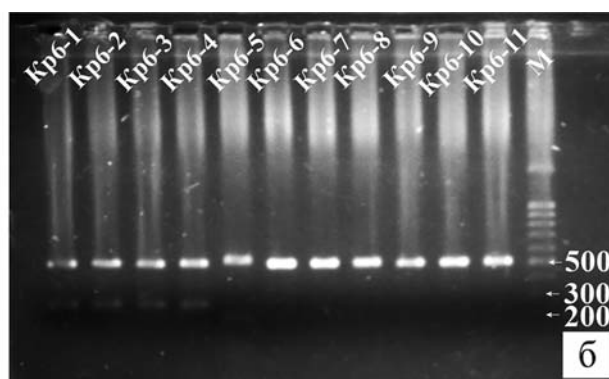
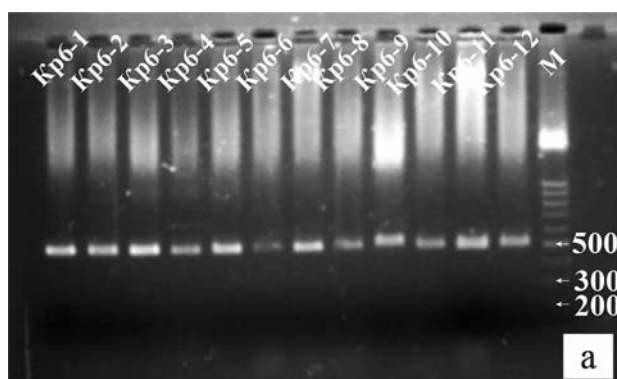


Рис. 2. Результаты молекулярно-генетического скрининга на присутствие маркера TG328 в линии Кр6. а – до обработки рестриктазой BstNI; б – после обработки рестриктазой BstNI. Сверху указаны номера образцов, справа отмечены длины фрагментов ДНК, М – маркер длин фрагментов ДНК

Fig. 2. Results of molecular genetic screening for the presence of the TG328 marker in the Kr6 line. а – before treatment with BstNI restrictase; б – after treatment with BstNI restrictase. The accession numbers are shown above, the lengths of DNA fragments are marked on the right, and M is a marker for the lengths of DNA fragments

ПЦР с праймерами маркера R1-1400, ассоциированного с геном R1, привела к получению двух фрагментов, длинами 1400 п.н. и 1000 п.н. (см. рис. 3а) у всех исследованных растений, кроме Кр6-3, Кр6-7 и Кр6-9. У

растения Кр6-3 выявлялся только фрагмент 1000 п.н. В то же время амплификация с праймерами маркера R1-1205 привела к получению фрагмента длиной около 190 п.н. (см. рис. 3б).

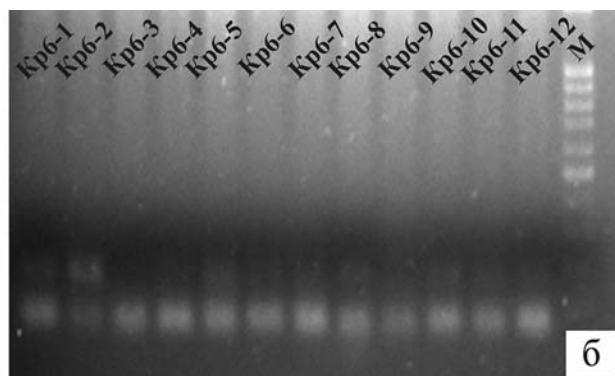
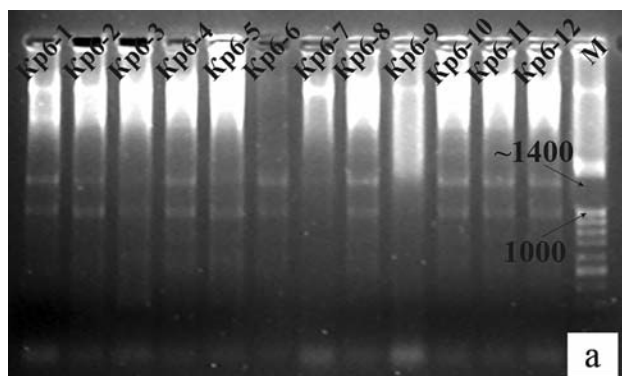


Рис. 3. Результаты молекулярно-генетического скрининга на присутствие маркеров R1-1400 (а) и R1-1205 (б) генов устойчивости к фитофторозу. Сверху указаны номера образцов, М – маркер длин фрагментов ДНК

Fig. 3. Results of molecular genetic screening for the presence of markers R1-1400 (а) and R1-1205 (б) of Late Blight resistance genes. The accession numbers are shown above, and M is a marker for the lengths of DNA fragments

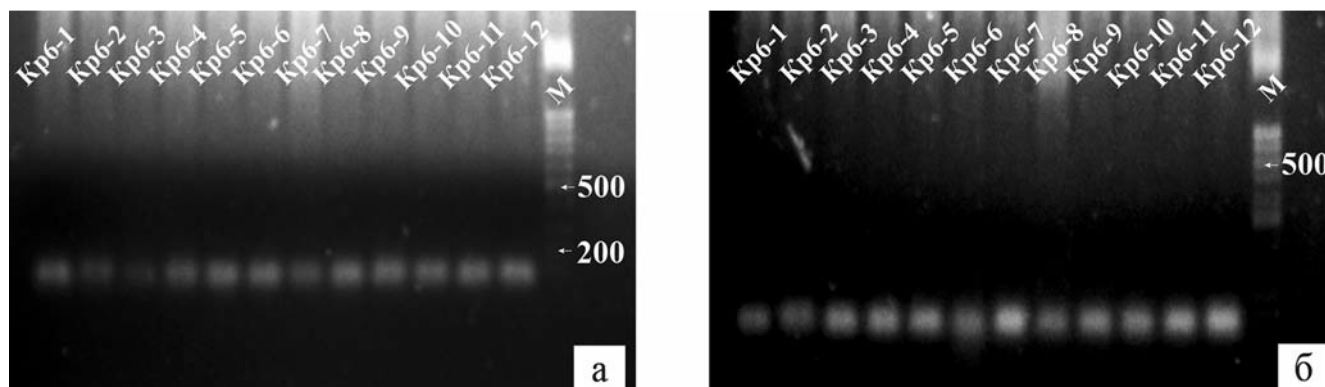


Рис. 4. Результаты молекулярно-генетического скрининга на присутствие маркеров R3-1380 (в), RT-R3a (г). Сверху указаны номера образцов, М – маркер длин фрагментов ДНК

Fig. 4. Results of molecular genetic screening for the presence of markers R3-1380 (b), RT-R3a (d). Accession numbers are indicated above, M is a marker for the lengths of DNA fragments

В результате амплификации ДНК с праймерами маркеров R3-1380 и RT-R3a целевых фрагментов обнаружено не было (см. рис. 4).

Обсуждение

Наши результаты показали, что ген устойчивости Ph-3 является доминантным. Эти результаты согласуются с результатами, полученными Hanson *et al.*, которые показали в 2016 г., что ген *Ph-3* устойчивости к фитофторозу является доминантным [17]. Однако к концу вегетации количество полностью устойчивых растений в расщепленных популяциях снизилось у линий, полученных от гетерозиготных родителей типа Кр6. По нашему мнению, только линии, полученные от гомозиготных доминантных родителей, таких как линия Кр14, проявили полную устойчивость к фитофторозу. Из этих анализов следует, что эффект доминирования, наблюдаемый в этом гене, не является полным доминированием, а скорее неполным. Это подтверждает результаты, полученные в 2002 году Chunwongse *et al.*, показали, что этот ген *Ph-3* представляет собой ген с неполным доминированием, но чья устойчивость превосходит таковую у генов *Ph-1* и *Ph-2* [3].

Наличие фрагмента размером 500 п.н. указывает на отсутствие сайта рестрикции на этом фрагменте. Эта последовательность соответствует рецессивному аллелю гена устойчивости *Ph-3* к фитофторозу. Наличие фрагментов размером 240 /260 п.н. свидетельствует о существовании на этом фрагменте сайта рестрикции *BstN1*. Эта последовательность соответствует аллелю устойчивости. Эти два фрагмента примерно одинаковы по размерам и очень близки друг к другу (см. рис. 3). Аналогичные результаты были получены М. Mutschler и представлены R. Shekasteband *et al.*, в 2015 г., которые показали, что этот маркер не разделяет четко два фрагмента, образующихся в результате расщепления эндонуклеазой рестрикции [18]. Однако само наличие сайта рестрикции на этой последовательности гена свидетельствует об эффективности маркера в идентификации этого гена.

Растения Кр6-1, Кр6-2, Кр6-3 и Кр6-4 несут аллели устойчивости и восприимчивости гена *Ph-3*, поэтому имеют гетерозиготный генотип (Р/Т). С другой стороны, растения Кр6-5, Кр6-6, Кр6-7, Кр6-8, Кр6-9, Кр6-10, Кр6-11 и Кр6-12 являются двойными носителями восприимчивого аллеля гена *Ph-3*. Они имеют гомозиготный генотип (Т/Т). Хотя полная устойчивость была достигнута, когда ген *Ph-3* был высоко экспрессирован под его нативным промотором, абсолютная корреляция между уровнем экспрессии гена и устойчивостью не была обнаружена.

Наличие дополнительных, еще не определенных гипотетических генов, необходимо для обеспечения полной устойчивости. Кроме того, было установлено, что существуют новые изоляты *P. infestans*, которые способны преодолеть ген устойчивости *Ph-3* [17].

Образование нескольких продуктов в ПЦР реакции на наличие маркера R1-1400 может говорить о присутствии нескольких аллельных вариантов этого маркера, в одном из которых произошла делеция. Отсутствие других маркеров генов R1 и R3a можно связать с невозможностью применения этих маркеров для видов вне секции Petota, к которым относятся представители рода Solanum, образующие клубни.

Подтвержденная эффективность маркера TG328 в обнаружении гена *Ph-3* устойчивости томата к фитофторозу является важным преимуществом, которое может быть использовано в будущих программах селекции томата на устойчивость к этому заболеванию. Однако следует подчеркнуть, что для эффективной борьбы со всеми расами этого заболевания необходимо создавать сорта томата, сочетающие в своем геноме гены *Ph-2* и *Ph-3*, и по возможности другие гены устойчивости.

Заключение

Устойчивость растений томата к фитофторозу, являющегося одним из наиболее вредоносных заболеваний томата, в настоящее время может идентифицироваться как на искусственном инфекционном фоне, так и с помощью молекулярных маркеров на известные гены устойчивости. Нами было показано, что маркер TG328 позволяет эффективно выявлять наличие гена *Ph-3* у образцов исследованной генетической коллекции, которые могут быть в дальнейшем использованы в селекционных программах на устойчивость, основанных на использовании маркер-опосредованного отбора. Фенотипическая оценка устойчивости томата к фитофторозу на искусственном инфекционном фоне выявила 1 линию растений без симптомов поражения заболеванием, 5 линий растений, полностью пораженных фитофторозом, и 6 линий, в которых наблюдали расщепление по проявлению симптомов поражения. Молекулярно-генетическое исследование выявило, что устойчивые растения были гетерозиготами по гену *Ph-3*. Кроме того, большая часть исследованных растений имела ген R1, который, однако, при отсутствии гена *Ph-3*, не обеспечивал устойчивость растений к фитофторозу.

Таким образом, эти растения представляют ценный генетический материал для использования в селекционных программах на устойчивость томата к фитофторозу.

• Литература /References

- Andrion D. Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil. *Phytopathology*. 1995;85:1053-1056.
- Nowicki M., Foolad M.R., Nowakowska M., Kozik E.U. Potato and tomato late blight caused by *Phytophthora infestans*: an overview of pathology and resistance breeding. *Plant Disease*. 2012;96:1-17.
- 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.
- Poudel A., Pandey M., Shah K., Acharya B., Shrestha J. Evaluation of fungicides for management of late blight (*Phytophthora infestans*) of potato. *Agrica*. 2020;9(1):10-17. <https://doi.org/10.5958/2394-448X.2020.00004.8>
- Mazumdar P., Singh P., Kethiravan D., Ramathani I., Ramakrishnan N. Late blight in tomato: insights into the pathogenesis of the aggressive pathogen *Phytophthora infestans* and future research priorities. *Planta*. 2021;253:119. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03636-x>
- 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. <https://doi.org/10.1111.pbr.12395>
- Khavkin E., Sokolova E., Beketova M., Pankin A., Kuznetsova M., Kozlovskaya I., Spiglazova S., Statsyuk N., Yashina I., Potato resistance to late blight as related to the *R1* and *R3* genes introgressed from *S. demissum*. In: Schepers HTAM (ed.) PPO-Special Report no. 14. Wageningen, DLO Foundation. 2010. pp. 231-238.
- Sokolova E., Pankin A., Beketova M., Rogozina E., Kuznetsova M., Spiglazova S., Yashina I., Khavkin E. SCAR markers of the R-genes and germplasm of wild *Solanum* species for breeding late blight-resistant potato cultivars. *Plant Genetic Resources*. 2011;9(2):309-312. <https://doi.org/10.1017/S1479262111000347>
- Paluchowska P., Sliwka J., Yin Z. Late blight resistance genes in potato breeding. *Planta*. 2022;255(6):127.
- Matson M.E.H., Liang Q., Lonardi S., Judelson H.S. Karyotype variation, spontaneous genome rearrangements affecting chemical insensitivity, and expression level polymorphisms in the plant pathogen *Phytophthora infestans* revealed using its first chromosome-scale assembly. *PLoS Pathog.* 2022;18(10):e1010869. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010869>
- 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(1):63-75. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0729-6>
- Robbins M.D., Masud M.A.T., 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. *Hortic. Sci.* 2010;45:1424-1428.
- Doyle J. DNA Protocols for Plants. In: Hewitt, G.M., Johnston, A.W.B., Young, J.P.W. (Eds). *Molecular Techniques in Taxonomy*. Berlin, Heidelberg: Springer. 1991. 283-293. https://doi.org/10.1007/978-3-642-83962-7_18
- Mullis K.B. The unusual origin of the polymerase chain reaction. *Sci Am*. 1990;262:56-61.
- Ballvora A., Ercolano M.R., Weiss J., Meksem K., Bormann C.A., Oberhagemann P., Salamini F., Gebhardt C. The *R1* gene for potato resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) belongs to the leucine zipper/NBS/LRR class of plant resistance genes. *Plant J*. 2002;30(3):361-71. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2001.01292.x>
- Huang, S., Van Der Vossen, E.A.G., Kuang, H., Vleeshouwers, V.G.A.A., Zhang, N., Borm, T.J.A., Van Eck, H.J., Baker, B., Jacobsen, E. and Visser, R.G.F. Comparative genomics enabled the isolation of the *R3a* late blight resistance gene in potato. *The Plant Journal*. 2005;42:251-261. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02365.x>
- Hanson P., Lua S.-F., Wang J.-F., Chena W., Kenyona L., Tana C.-W., Teeb K.L., Wang Y.-Y., Hsua Y.-C., Schafleitner R., Ledesmaa D., Yanga R.-Y. Conventional and molecular marker-assisted selection and pyramiding of genes for multiple disease resistance in tomato. *Scientia Horticulturae*. 2016;201:346-354. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.020>
- Shekasteband R., Hutton S.F., Scott J.W. Designing new DNA markers and determining the effective size of *Ph-2* and *Ph-3* introgressions for late blight resistance stacking purposes in tomato. *TGC REPORT*. 2015;65:22-31.

Об авторах:

Хунвану Вининь Никээ – аспирант кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА

имени К.А. Тимирязева, автор для переписки, hounvinic87@yahoo.com

Григорий Федорович Монахос – к.с.-х. н., генеральный директор ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева», SPIN-код: 3741-6845, <https://orcid.org/0000-0002-6603-6933>

Сократ Григорьевич Монахос – д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, SPIN-код: 7130-9663, <https://orcid.org/0000-0001-9404-8862>, Researcher ID: L-5962-2013

About the Authors:

Nicaise V. Hounwanou – postgraduate student of the Department Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Corresponding Author, hounvinic87@yahoo.com

Grigory F. Monakhos – Cand. Sci. (Agriculture), Director of the Breeding Station named after N.N. Timofeev, SPIN-code: 3741-6845, <https://orcid.org/0000-0002-6603-6933>

Sokrat G. Monakhos – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Botany, Plant Breeding and Seed Technology Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, SPIN-code: 7130-9663, <https://orcid.org/0000-0001-9404-8862>, Researcher ID: L-5962-2013

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-18-25>
УДК: 635.64-02:631.527.57

И.Г. Пугачева^{1*}, А.В. Французёнок¹,
И.Е. Баева¹, О.Г. Бабак², А.В. Кильчевский²

¹ Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия 213407, Беларусь, Могилевская область, г. Горки, ул. Мичурина, д. 5

² Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси 220072, Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, д. 27

*Автор для переписки:
puhachova.irlina@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов при написании данной работы.

Вклад авторов: Пугачёва И.Г.: концептуализация, методология, верификация и администрирование данных, ресурсы, проведение исследования, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование. Французёнок А.В.: проведение исследования, создание черновика рукописи, формальный анализ. Баева И.Е.: проведение исследования, создание черновика рукописи, формальный анализ. Бабак О.Г.: концептуализация, верификация данных, ресурсы, создание рукописи и её редактирование. Кильчевский А.В.: научное руководство исследованием, ресурсы.

Для цитирования: Пугачева И.Г., Французёнок А.В., Баева И.Е., Бабак О.Г., Кильчевский А.В. Практическое использование эффекта гетерозиса по признакам урожайности и биохимического состава плодов томата (*Solanum lycopersicum* L.) в открытом грунте. *Овощи России*. 2024;(5):18-25.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-18-25>

Поступила в редакцию: 17.05.2024
Принята к печати: 03.07.2024
Опубликована: 27.09.2024

Iryna G. Puhachova^{1*}, Anastasiya V. Frantsuzionak¹, Iryna E. Bayeva¹, Olga G. Babak², Aleksander V. Kilchevsky²

¹ Belarusian State Agricultural Academy 5 Michurina Str., Gorki, 213407, Republic of Belarus

² Institute of Genetics and Cytology of National Academy of Science of Belarus 27, Akademicheskaya st., Minsk, 220072, Republic of Belarus

Corresponding Author:
puhachova.irlina@gmail.com

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

Authors' Contribution: Puhachova I.G.: conceptualization, methodology, data verification and administration, resources, research, formal analysis, manuscript creation and editing. Frantsuzionak A.V.: research, drafting the manuscript, formal analysis. Bayeva I.E.: research, drafting the manuscript, formal analysis. Babak O.G.: conceptualization, data verification, resources, manuscript creation and editing. Kilchevsky A.V.: scientific management of the study, resources.

For citation: Puhachova I.G., Frantsuzionak A.V., Bayeva I.E., Babak O.G., Kilchevsky A.V. Practical application of heterosis on yield evidence and fruits biochemical composition for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in open ground. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):18-25. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-18-25>

Received: 17.05.2024
Accepted for publication: 03.07.2024
Published: 27.09.2024

Практическое использование эффекта гетерозиса по признакам урожайности и биохимического состава плодов томата (*Solanum lycopersicum* L.) в открытом грунте

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Исследования посвящены изучению особенностей проявления истинного гетерозиса по признакам урожайности и биохимического состава плодов томата.

Материал и методика исследований. Работа проведена в 2021–2023 гг. в условиях открытого грунта на опытном поле Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (Могилевская обл., Беларусь). Объектами исследований являлись 30 гибридов и 11 родительских образцов с различным уровнем хозяйственно ценных признаков и составом генов устойчивости к патогенам и накопления ликопина. Целью исследований являлось создание высокоурожайных гетерозисных гибридов F₁ томата, адаптированных к условиям открытого грунта Беларуси, с ценным биохимическим составом плодов.

Результаты. Лучшие гибридные комбинации показали раннюю 0,90–2,49 кг/м², товарную 7,50–11,40 кг/м², общую 8,22–13,12 кг/м² урожайность. Установлен высокий истинный гетерозис по ранней (88,9–291,0%), товарной (36,0–111,2%), общей (28,6–97,8%) урожайности у некоторых гибридов. Между гибридами установлены достоверные отличия по накоплению сухого вещества, общих каротиноидов, растворимых углеводов. Выделены гибридные комбинации с наибольшим значением истинного гетерозиса по накоплению сухого вещества (18,3–21,6%), каротиноидов (20,2–22,9%), растворимых углеводов (15,7–38,9%). Наследование ранней, товарной и общей урожайности, содержания сухого вещества, каротиноидов и растворимых углеводов преимущественно проходило по типу положительного сверхдоминирования, массы плода – по типу промежуточного наследования, содержания витамина С – по типу отрицательного сверхдоминирования. Гибриды Брусничный F₁, Мансиата F₁, Рада F₁ переданы в ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений» и успешно прошли этап испытания в 2023 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

томат, селекция, гетерозис, гибрид, качество плодов, урожайность, открытый грунт

Practical application of heterosis on yield evidence and fruits biochemical composition for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in open ground

ABSTRACT

Relevance. The research is devoted to studying the peculiarities of the high-parent heterosis manifestation which connected with yield traits and the biochemical composition of tomato fruits.

Materials and Methods. The work was carried out in 2021–2023 in open field conditions on the experimental plot of the Belarusian State Agricultural Academy (Mogilev region, Belarus). The objects of research were 30 F₁ hybrids and 11 parental forms with different levels of economically valuable traits and with the specific set of genes for pathogen resistance and lycopene accumulation. The aim of the research was to create high-yield heterotic F₁ tomato hybrids, adapted to open field conditions in Belarus, with a valuable biochemical composition of fruits.

Results. The best hybrid combinations showed an early yield of 0.90–2.49 kg/m², a marketable yield of 7.50–11.40 kg/m², and a total yield of 8.22–13.12 kg/m². High heterosis effect was established for early (88.9–291.0%), marketable (36.0–111.2%), and total (28.6–97.8%) yield in some hybrids. Significant differences in the accumulation of dry matter, carotene, and soluble carbohydrates were ascertained between the hybrids. Hybrid combinations with the highest value of true heterosis on accumulation of dry matter (18.3–21.6%), carotene (20.2–22.9%), and soluble carbohydrates (15.7–38.9%) were identified. Inheritance of early, marketable and total yield, dry matter content, carotene and soluble carbohydrates predominantly took place according to the positive overdominance, fruit weight – according to the intermediate inheritance, vitamin C content – according to the negative overdominance. Hybrids Brusnichny F₁, Mansiata F₁, Rada F₁ were transferred to the State Inspection for Testing and Protection of Plant Varieties of the Republic of Belarus and successfully passed the testing stage in 2023.

KEYWORDS:

tomato, selection, heterosis, hybrid, fruit quality, productivity, open ground

Введение

Томат (*Solanum lycopersicum* L.) занимает одно из первых мест среди овощей для функционального питания. При своей невысокой калорийности – 160 – 200 ккал/кг, плоды томата содержат 4–8% сухого вещества, 0,6–1,1% белков, 0,4–0,6% органических кислот, а также микроэлементы, каротиноиды, пектиновые вещества, витамины В₁, В₂, В₃, В₄, В₅, Н (биотин), фолиевую и аскорбиновую кислоты и обладают иммуностимулирующим и противовоспалительным действием [1, 2].

В настоящее время в связи с дефицитом энергоресурсов особенно актуально возделывание томата в открытом грунте. Среди потребителей сохраняется устойчивый спрос на продукты с повышенным содержанием полезных для здоровья соединений. Пищевая ценность плодов томата определяется содержанием в них каротиноидов, полифенолов, растворимых сахаров, органических кислот, минералов и витаминов.

Важным условием получения высокого экономического эффекта при выращивании томата является создание и использование гибридов, обладающих сочетанием хозяйственно ценных признаков с проявлением эффекта гетерозиса. Многочисленные эксперименты по изучению гетерозиса у томата доказали эффективность внедрения гибридов F₁ в сельскохозяйственное производство [1].

Использование гетерозисных F₁ гибридов позволяет поднять урожайность сельскохозяйственных культур на 20–30%, иногда 50%, увеличить скороспелость, дружность созревания, повысить устойчивость к болезням и вредителям по сравнению с исходным материалом [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

В стремлении объяснить сущность эффекта гетерозиса в XX веке были сформулированы концепции на основе классических методов генетики и математической статистики (теория доминирования, теория сверхдоминирования, эпистаза, генетического баланса и др.) [11, 12, 13, 14]. С развитием передовых геномных (молекулярных) технологий и подходов математического анализа получены новые теоретические и экспериментальные результаты, на основании которых разработана и предложена для использования в селекционной практике концепция гетеротических групп. В этом случае молекулярные маркеры оказались эффективным инструментом для выявления исходного генетического материала и его дифференциации при планировании скрещиваний. Вся совокупность знаний и сведений относительно гетерозиса, полученных к настоящему времени, свидетельствует, что гетерозисный эффект в F₁ реализуется через комплекс сложных взаимодействий на уровне генома, эпигенома, транскриптома и метаболома [15].

Важным направлением использования гетерозиса является создание для открытого грунта гетерозисных гибридов F₁ томата, отличающихся скороспелостью и дружной отдачей урожая, высокой продуктивностью, устойчивостью к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды [16].

Целью исследований являлось создание высокоурожайных гетерозисных гибридов F₁ томата, адаптированных к условиям открытого грунта Беларуси, с ценным биохимическим составом плодов. Для достижения

цели были поставлены следующие задачи: 1) провести гибридизацию с использованием образцов с различным уровнем хозяйственно ценных признаков и составом аллелей устойчивости к патогенам и накопления форм ликопина, 2) оценить гибриды F₁ по признакам урожайности и биохимического состава плодов, 3) проанализировать величину истинного гетерозиса и особенности наследования изучаемых признаков, 4) выделить перспективные гибриды для передачи в систему государственного сортоиспытания.

Материалы и методы исследования

Исследования выполняли в 2021–2023 годах на опытном поле Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (Могилевская обл., Беларусь). Материалом послужили 30 гибридных комбинаций, полученных на основе исходных форм различного эколого-географического происхождения из коллекций Белорусской государственной сельскохозяйственной академии и Института генетики и цитологии НАН Беларуси, используемых в рамках совместных исследований. В скрещивания были включены образцы, протестированные при помощи генетических маркеров, связанных с устойчивостью к кладоспориозу (*Cf-4*, *Cf-9*), фузариозному увяданию (*I-2*), фитофторозу (*Ph-3*), вирусу мозаики томата (*Tm-2^s*) и накоплением различных изомеров ликопина (*t*, *og^c*). В качестве материнских форм выступали фертильные линии (Линия 16–8 (*I-2*, *Cf-4*, *Cf-9*), Линия 16–57 (*og^c*), Линия 19–612 (*t*, *og^c*), Линия 19–645, Линия 19–652 и партенокарпическая Линия № 4 (*Tm-2^s*) с функциональной мужской стерильностью. Отцовскими формами являлись сорта Zafar, Желтый жемчуг (*Ph-3*, *I-2*, *Cf-4*, *Cf-9*), Ирма, а также Линия 217 (*t*) и Линия 221 (*og^c*, *I-2*) [17]. Контролем являлся гибрид F₁ Адапт.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, окультуренная, среднесуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке с содержанием гумуса 2,32 %, P₂O₅ – 224,4 мг/кг, K₂O – 190,4 мг/кг. Полив – при необходимости в первую половину вегетации через систему капельного орошения. Схема посадки 70х30 см. Повторность опыта трехкратная, расположение делянок рендомизированное. Возделывание томата осуществлялось в соответствии с рекомендациями [18]. Учеты и наблюдения за растениями проведены по общепринятым методикам [19]. Статистическая обработка результатов исследований выполнена методом двухфакторного дисперсионного анализа [20] с использованием компьютерной программы Microsoft Excel. Полевая оценка проводилась по следующим признакам: ранняя урожайность (первые три сбора плодов), товарная урожайность и общая урожайность, масса плода. Биохимический анализ качества плодов проводился в двукратной биологической повторности в химико-экологической лаборатории УО БГСХА: содержание сухого вещества – согласно ГОСТ 27548–97, растворимых углеводов – ГОСТ 26176–2019, общих каротиноидов – ГОСТ 13496.17–2019, аскорбиновой кислоты (витамин С) – ГОСТ 24556–89, общей кислотности – ГОСТ ISO 750–2013.

Истинный гетерозис оценивали как процент превышения значения признака у гибрида F₁ над значением

лучшего родителя $[(F_1 - P_{лучш}) / P_{лучш}] \times 100\%$. Характер наследования признаков определяли по коэффициенту фенотипического доминирования: $H_p = (F_1 - MP) / (P_{лучш} - MP)$, где F_1 – это значение изучаемого признака у гибрида, $P_{лучш}$ – лучший показатель у одной из исходных форм, MP – среднее значение признака у исходных форм [21].

Результаты и обсуждение

Погодные условия в период вегетации томата 2021–2023 годов отличались частым превышением средне-

суточной температуры воздуха над среднемноголетними значениями на 1,1–8,4°C и нехарактерным для северо-востока Беларуси дефицитом осадков. Это препятствовало распространению болезней, способствовало оптимальному фитосанитарному состоянию растений и реализации потенциала урожайности. Наиболее благоприятными были условия 2023 года, когда большинство изучаемых образцов сформировало 10–15 кг/м² товарных плодов. Значения признаков урожайности растений томата в открытом грунте и уровень истинного гетерозиса представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика гибридов F_1 по признакам урожайности и уровню истинного гетерозиса (среднее за 2021–2023 годы)
Table 1. Traits of F_1 tomato hybrids on yield and high-parent heterosis level (average for 2021–2023)

Образец	Ранняя урожайность		Товарная урожайность		Общая урожайность		Средняя масса плода	
	кг/м ² *	% **	кг/м ²	%	кг/м ²	%	г	%
Адапт F_1 контроль	1,91		5,56		6,37		63,17	
Линия 16-8 × Zafar	1,32	23,1	7,53	14,8	8,71	-3,8	96,94	-6,8
Линия 16-8 × Желтый жемчуг	2,49	291,0	9,81	98,7	10,64	90,3	30,19	-60,0
Линия 16-8 × Ирма	0,83	23,8	7,41	21,6	8,34	17,5	44,19	-41,7
Линия 16-8 × Линия 217	0,97	274,8	8,38	55,2	9,87	50,1	78,02	-5,8
Линия 16-8 × Линия 221	0,75	121,9	8,26	21,9	9,61	17,8	69,46	-17,9
Линия 16-57 × Zafar	0,83	-19,6	6,28	-9,5	7,83	-10,6	104,66	-1,0
Линия 16-57 × Желтый жемчуг	1,80	198,3	8,40	16,4	9,80	16,5	33,55	-68,0
Линия 16-57 × Ирма	1,42	94,9	9,94	36,0	10,76	29,7	54,36	-47,7
Линия 16-57 × Линия 217	0,51	44,8	7,04	-10,4	8,06	-11,2	88,15	-15,7
Линия 16-57 × Линия 221	0,33	-7,3	8,38	7,1	9,85	7,8	88,15	-15,9
Линия 19-612 × Zafar	0,69	-56,4	8,88	0,0	10,32	-1,9	138,02	-9,4
Линия 19-612 × Желтый жемчуг	0,97	90,6	11,40	62,4	13,12	57,5	39,78	-73,6
Линия 19-612 × Ирма	0,69	2,3	9,43	30,1	10,16	18,9	66,11	-56,1
Линия 19-612 × Линия 217	0,48	108,3	6,90	-4,4	8,37	-3,0	107,66	-29,5
Линия 19-612 × Линия 221	0,14	-1,6	10,14	39,2	10,90	28,6	112,75	-25,6
Линия 19-645 × Zafar	1,61	34,7	6,64	3,7	7,80	-7,2	94,99	-6,8
Линия 19-645 × Желтый жемчуг	1,55	59,1	7,30	26,9	8,13	19,9	29,53	-63,1
Линия 19-645 × Ирма	1,29	21,3	8,16	8,2	8,89	6,3	46,28	-42,4
Линия 19-645 × Линия 217	0,47	-60,4	5,57	-9,7	6,61	-11,6	75,52	-8,9
Линия 19-645 × Линия 221	0,70	-33,1	7,47	-10,1	8,54	-10,0	74,95	-7,9
Линия 19-652 × Zafar	1,09	-5,8	6,81	1,1	7,55	-15,3	83,58	-18,6
Линия 19-652 × Желтый жемчуг	1,08	-17,7	8,16	95,3	9,34	85,4	26,15	-55,4
Линия 19-652 × Ирма	0,87	-24,9	6,89	18,2	7,49	18,4	47,17	-19,8
Линия 19-652 × Линия 217	0,90	-15,3	7,50	49,4	8,22	43,0	72,32	-10,8
Линия 19-652 × Линия 221	0,74	-32,7	8,22	17,1	9,47	20,1	69,29	-9,4
Линия №4 × Zafar	1,31	-24,1	6,89	-3,4	7,64	-18,4	86,10	-16,8
Линия №4 × Желтый жемчуг	2,02	88,9	9,19	111,2	9,75	97,8	28,65	-47,3
Линия №4 × Ирма	0,41	-54,9	7,33	24,4	8,21	27,7	45,42	-16,9
Линия №4 × Линия 217	0,16	-85,1	4,10	-11,6	4,85	-9,9	76,53	-5,4
Линия №4 × Линия 221	0,76	-26,9	7,91	25,6	9,13	20,5	81,23	8,7
Линия 16-8	0,39		4,75		5,50		75,38	
Линия 16-57	0,53		7,75		8,85		105,22	
Линия 19-612	0,00		6,69		7,78		152,26	
Линия 19-645	1,05		6,73		7,78		80,46	
Линия 19-652	1,19		4,74		5,45		58,92	
Линия №4	1,09		4,19		4,76		54,59	
Zafar	1,28		7,29		9,44		102,90	
Желтый жемчуг	0,69		1,74		1,97		9,10	
Ирма	0,68		5,22		5,82		29,00	
Линия 217	0,01		3,98		4,95		80,49	
Линия 221	0,13		6,03		7,24		78,99	
Среднее по годам: 2021 год	0,85		4,80		5,45		70,07	
2022 год	0,77		4,26		4,77		64,04	
2023 год	1,10		12,30		14,13		80,35	
НСР ₀₅ фактор А (образцы)	0,373		1,367		1,545		15,767	
НСР ₀₅ фактор В (годы)	0,100		0,365		0,413		4,214	
НСР ₀₅ взаимодействие факторов АВ	0,058		0,211		0,238		2,433	

Примечание: * – значение признака, ** – величина истинного гетерозиса.

По результатам трехлетних испытаний гибрид F₁ Линия 16-8 × Желтый жемчуг существенно превосходил раннеспелый контроль Адапт F₁, сформировав 2,49 кг/м² зрелых плодов за первые три сбора. Кроме того, высокой ранней урожайностью (1,55-2,02 кг/м²) характеризовались гибриды Линия 16-57 × Желтый жемчуг, Линия 19-645 × Zafar, Линия 19-645 × Желтый жемчуг, Линия № 4 × Желтый жемчуг. Положительное значение эффекта гетерозиса в среднем за три года имели 50% гибридных комбинаций при величине от 2,3 до 291,0%. Наибольший гетерозис по данному признаку

(88,9–291,0%) наблюдался у гибридных комбинаций Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-8 × Линия 217, Линия 16-8 × Линия 221, Линия 16-57 × Желтый жемчуг, Линия 16-57 × Ирма, Линия 19-612 × Желтый жемчуг, Линия 19-612 × Линия 217, Линия №4 × Желтый жемчуг. При этом в ранее опубликованных работах по изучению гетерозиса у томата в открытом грунте Беларуси показано преобладание как положительного, так и отрицательного гетерозиса, либо промежуточных значений, в зависимости от года и условий минерального питания [22].

Таблица 2. Характеристика гибридов F₁ томата по биохимическому составу плодов и уровню истинного гетерозиса (среднее за 2022-2023 годы)
Table 2. Traits of F₁ tomato hybrids on biochemical composition of fruits and high-parent heterosis level (average for 2022-2023)

Образец	Сухое вещество		Каротиноиды		Витамин С		Раствор. углеводы	
	%*	%**	мг/кг	%	мг/100 г	%	%	%
Адапт F ₁ контроль	5,8		38,6		31,7		3,7	
Линия 16-8 × Zafar	5,7	-4,2	30,9	-13,9	35,5	2,5	2,5	-22,0
Линия 16-8 × Желтый жемчуг	5,4	-4,8	42,3	22,9	33,4	-7,1	2,7	-13,0
Линия 16-8 × Ирма	5,9	-12,8	38,9	10,0	33,9	-0,8	2,9	-7,1
Линия 16-8 × Линия 217	6,0	8,6	37,1	4,9	34,4	-7,9	2,9	-6,1
Линия 16-8 × Линия 221	5,7	0,2	33,6	-15,0	35,0	-5,5	3,2	2,2
Линия 16-57 × Zafar	6,1	-4,5	35,0	-9,4	32,9	-8,4	2,8	-9,8
Линия 16-57 × Желтый жемчуг	5,6	-11,1	37,8	-1,7	31,4	-12,6	2,7	-5,7
Линия 16-57 × Ирма	5,8	-15,0	31,1	-19,3	34,2	-7,1	3,4	12,0
Линия 16-57 × Линия 217	5,7	-9,8	41,4	7,5	36,9	-0,6	3,2	9,9
Линия 16-57 × Линия 221	5,9	-7,4	35,9	-9,2	34,0	-7,8	3,0	0,1
Линия 19-612 × Zafar	6,4	-2,0	37,9	-4,3	33,7	-2,8	3,0	-7,1
Линия 19-612 × Желтый жемчуг	6,5	0,0	36,1	-4,8	36,3	1,3	3,2	9,1
Линия 19-612 × Ирма	7,3	6,8	37,0	-5,8	33,3	-6,3	2,8	-9,2
Линия 19-612 × Линия 217	6,6	1,4	32,8	-16,6	32,1	-13,0	2,8	-6,3
Линия 19-612 × Линия 221	6,0	-8,7	37,7	-6,3	34,1	-7,4	4,3	38,9
Линия 19-645 × Zafar	5,9	0,0	33,3	-9,6	34,6	1,4	3,7	21,2
Линия 19-645 × Желтый жемчуг	5,9	4,6	31,1	-17,1	36,8	2,0	2,4	-16,1
Линия 19-645 × Ирма	6,0	-11,2	40,8	11,6	31,0	-8,4	2,5	-15,5
Линия 19-645 × Линия 217	5,8	5,5	33,7	-8,7	34,7	-5,4	3,0	2,8
Линия 19-645 × Линия 221	6,7	18,3	42,6	7,4	34,8	-5,2	3,4	15,7
Линия 19-652 × Zafar	5,7	-5,0	39,9	17,3	33,9	-4,0	3,2	5,3
Линия 19-652 × Желтый жемчуг	6,0	5,8	38,7	20,2	34,5	-5,8	3,4	17,2
Линия 19-652 × Ирма	6,4	-5,4	31,7	-1,8	33,5	-3,2	2,9	-3,5
Линия 19-652 × Линия 217	5,8	4,8	34,5	7,3	36,0	-5,2	2,8	0,0
Линия 19-652 × Линия 221	6,8	21,6	42,5	7,4	33,0	-10,7	2,9	-0,1
Линия №4 × Zafar	5,9	-3,4	37,4	0,4	33,9	-3,7	3,0	-3,2
Линия №4 × Желтый жемчуг	6,3	8,2	34,9	8,8	32,2	-10,4	3,0	17,2
Линия №4 × Ирма	7,2	6,4	33,2	-4,2	33,6	-5,2	3,0	1,0
Линия №4 × Линия 217	6,0	3,7	37,9	12,2	34,8	-6,0	2,8	7,3
Линия №4 × Линия 221	6,3	9,1	31,6	-22,5	34,5	-5,8	3,9	33,9
Линия 16-8	5,5		34,2		34,0		3,2	
Линия 16-57	6,3		38,4		35,9		2,9	
Линия 19-612	6,5		37,1		34,5		3,0	
Линия 19-645	5,5		36,8		33,3		2,9	
Линия 19-652	5,5		32,2		34,8		2,8	
Линия №4	5,8		34,1		34,8		2,5	
Zafar	5,8		34,5		34,0		3,1	
Желтый жемчуг	5,5		31,2		35,8		2,7	
Ирма	6,8		31,5		33,5		3,0	
Линия 217	5,4		31,7		36,6		2,5	
Линия 221	5,7		39,5		36,8		2,9	
Среднее по годам: 2022 г.	6,10		39,5		30,5		3,11	
2023 г.	5,91		32,20		37,80		2,87	
НСР ₀₅ фактор А (образцы)	0,710		7,085		Fφ<F ₀₅		0,809	
НСР ₀₅ фактор В (годы)	0,155		1,546		1,011		0,176	
НСР ₀₅ взаимодействие факторов АВ	0,110		1,093		Fφ<F ₀₅		Fφ<F ₀₅	

Примечание: * – значение признака, ** – величина истинного гетерозиса.

По величине товарной и общей урожайности практически все гибриды достоверно превышали значение контроля Адапт F₁: на 26,6–105,0% и на 27,6–106,0%, соответственно. Положительное значение эффекта гетерозиса отмечалось у 63–73% гибридных комбинаций, что согласуется с известными данными [5, 8, 9]. Выделены комбинации скрещивания с максимальным положительным гетерозисом по товарной (36,0–111,2%) и общей (28,6–97,8%) урожайности: Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-8 × Линия 217, Линия 16-57 × Ирма, Линия 19-612 × Желтый жемчуг, Линия 19-612 × Линия 221, Линия 19-652 × Желтый жемчуг, Линия 19-652 × Линия 217, Линия № 4 × Желтый жемчуг.

При достоверном превышении контроля Адапт F₁ по массе плода все гибриды F₁ с сортом Zafar в качестве отцовского компонента скрещивания, а также F₁ Линия 16-57 × Линия 217, F₁ Линия 16-57 × Линия 221, F₁ Линия 19-612 × Линия 217, F₁ Линия 19-612 × Линия 221, F₁ Линия №4 × Линия 221 имели наиболее крупные плоды массой около 100 г. В сравнении с другими признаками урожайности, добиться проявления истинного гетерозиса по массе генеративных органов не просто. Неоднократно отмечается более низкая частота проявления положительного истинного гетерозиса по массе плода у перца сладкого [15, с. 168; 23] томата [15, с. 179], огурца [24]. В наших исследованиях положительный эффект гетерозиса в среднем за три года был установлен только у F₁ Линия № 4 × Линия 221 при отрицательных значениях в остальных гибридных комбинациях.

В Республике Беларусь томат в открытом грунте убирают вручную, плоды употребляют в свежем виде, для цельноплодного консервирования или переработки на томатные продукты. Поэтому кроме урожайности, особые требования предъявляются к содержанию полезных веществ и вкусовым качествам. Согласно проведенному биохимическому анализу у 5 гибридов F₁ (Линия 19-612 × Ирма, Линия 19-612 × Линия 217, Линия 19-645 × Линия 221, Линия 19-652 × Линия 221, Линия № 4 × Ирма) отмечалось достоверное превышение по содержанию сухого вещества (6,6–7,3%) в сравнении с контролем Адапт F₁, при 5,4–6,5 % у остальных гибридов (табл. 2).

По общему содержанию каротиноидов изучаемые образцы практически не отличались между собой, однако можно выделить гибриды Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-57 × Линия 217, Линия 19-645 × Ирма, Линия 19-645 × Линия 221 и Линия 19-652 × Линия 221 с относительно высоким значением признака – 40,8–42,6 мг/кг. В наших исследованиях не выявлено разницы между образцами по накоплению витамина С, значения варьировали от 31,0 до 36,9 мг/100 г. Плоды большинства образцов содержали 2,9–3,9% растворимых углеводов и существенно не отличались по этому признаку от контроля. Известно, что вкус томата определяется соотношением сахаров и кислот. Лучшими вкусовыми качествами обладают плоды с сахарокислотным индексом не ниже 7 и содержанием сахаров выше 3% [25]. При уровне общей кислотности 0,24–

0,38%, сахарокислотный индекс у изучаемых гибридов варьировал от 7,3 до 12,5, что свидетельствует о достаточно сбалансированном вкусе, особенно у шестнадцати образцов с содержанием растворимых углеводов 3,0–4,3%.

Проявление истинного гетерозиса по биохимическим признакам менее выражено по сравнению с признаками урожайности. Доля гибридов с положительным значением истинного гетерозиса составляла по содержанию сухого вещества 46,7%, каротиноидов – 43,3%, витамина С – 10%, растворимых углеводов – 50%. Наибольший эффект гетерозиса по накоплению сухого вещества отмечен у F₁ Линия 19-645 × Линия 221 (18,3%) и F₁ Линия 19-652 × Линия 221 (21,6%); по накоплению каротиноидов – у F₁ Линия 16-8 × Желтый жемчуг (22,9%) и F₁ Линия 19-652 × Желтый жемчуг (20,2%); по накоплению растворимых углеводов – у F₁ Линия 19-612 × Линия 221 (38,9%), F₁ Линия 19-645 × Zafar (21,2%), F₁ Линия 19-645 × Линия 221 (15,7%), F₁ Линия 19-652 × Желтый жемчуг (17,2%), F₁ Линия №4 × Желтый жемчуг (17,2%) и F₁ Линия №4 × Линия 221 (33,9%).

Гибридные комбинации Линия 16-57 × Линия 217, Линия 19-645 × Линия 221, Линия 19-652 × Желтый жемчуг, Линия №4 × Желтый жемчуг и Линия №4 × Линия 221 имеют относительно высокие значения нескольких биохимических характеристик и положительные значения истинного гетерозиса по этим признакам.

Для качественной оценки проявления признаков в F₁ наряду с эффектом истинного гетерозиса был изучен характер наследования на основании анализа степени доминирования. На зависимость проявления доминантности от самых разных факторов (условий внешней среды, всего процесса развития организма, этапа онтогенеза, генетических особенностей компонентов скрещивания, анализируемого признака) указывал А. А. Жученко [26] на основании обобщения результатов исследований по данной теме. В наших экспериментах наследование ранней, товарной и общей урожайности преимущественно проходило по типу положительного сверхдоминирования, массы плода по типу промежуточного наследования (рис. 1). Однако, по ранней урожайности в 2023 г и по общей урожайности в 2022 году преобладало промежуточное наследование.

Тип наследования содержания сухого вещества в плодах томата изменялся от промежуточного в 2022 году до сверхдоминирования в 2023 году. Средние значения доли гибридов с различными значениями степени доминирования по содержанию сухого вещества, каротиноидов и растворимых углеводов свидетельствуют о преобладании сверхдоминирования при наследовании этих признаков: 50,0%, 46,7% и 50,0% соответственно. Накопление витамина С наследуется по типу отрицательного сверхдоминирования, так как значения $Hr < -1$ преобладают по сравнению с $-1 \leq Hr < 1$ и $Hr > 1$ (рис. 2).

В результате проведенных исследований три перспективных гибрида первого поколения – Брусничный F₁ (Ph-3, I-2, Cf-4, Cf-9), Мансиата F₁ (I-

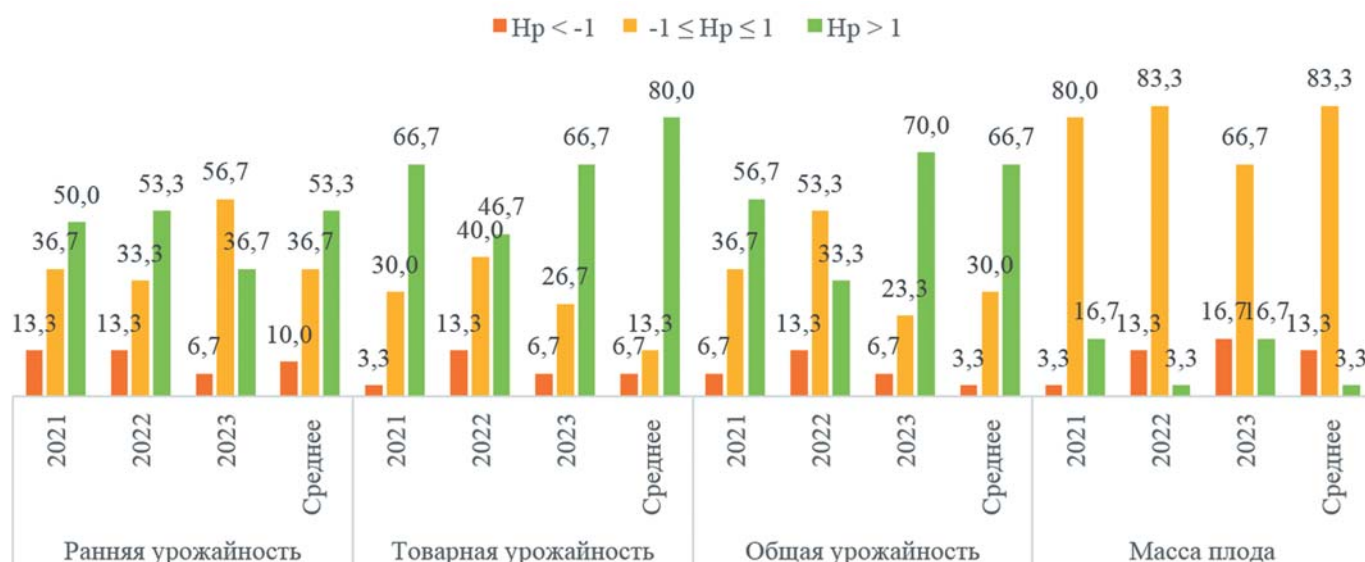


Рис. 1. Доля гибридов томата с различной степенью доминирования (H_r) по признакам урожайности, %
Fig. 1. Percentage of tomato hybrids with varying degrees of dominance (H_r) on yield traits, %

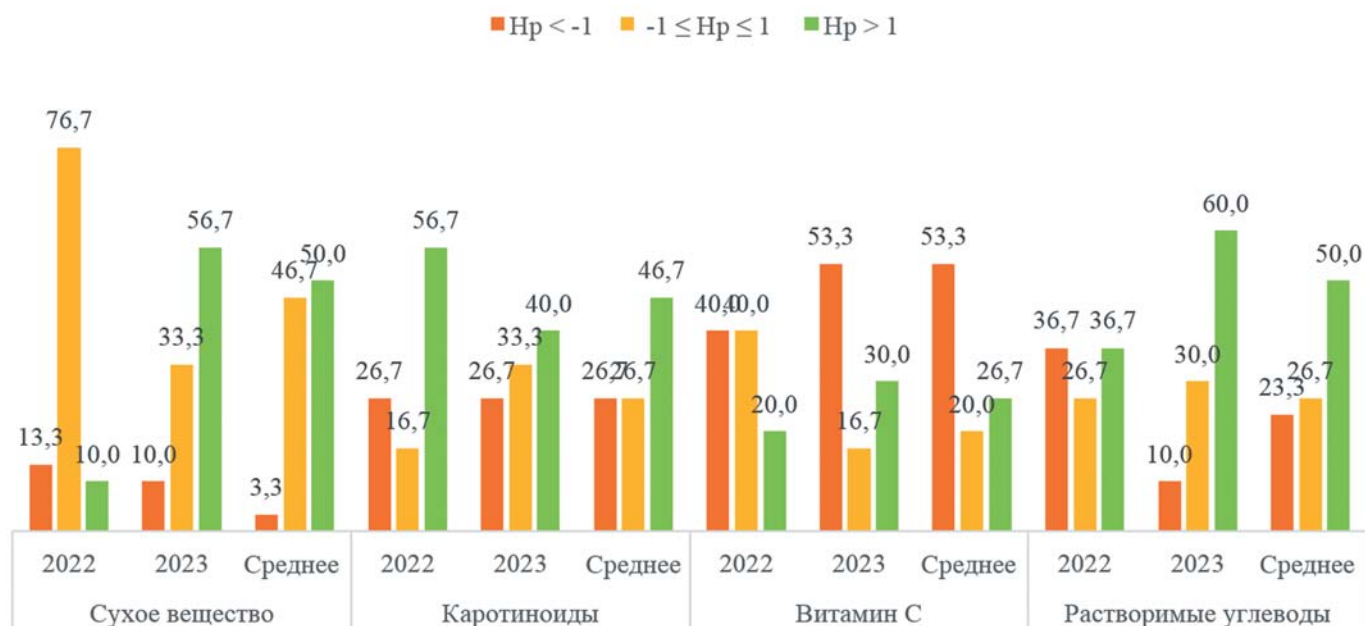


Рис. 2. Доля гибридов томата с различной степенью доминирования (H_r) по биохимическим признакам, %
Fig. 2. Percentage of tomato hybrids with varying degrees of dominance (H_r) on biochemical traits, %

2, Cf-4, Cf-9), Рада F_1 (og^c) были переданы в Государственную инспекцию по испытанию и охране сортов растений при Министерстве сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь как высокоурожайные, гетерозисные, характеризующиеся генетической детерминацией ценных признаков и повышенным накоплением полезных веществ в плодах. В семи пунктах сортоиспытания в различных регионах Беларуси на основании испытания за 2023 год отмечено превосходство новых гибридов по товарной урожайности над контролем: Брусничный F_1 – на 2,1–32,8 т/га, Мансиата F_1 – на 12,8–28,7 т/га, Рада F_1 – на 9,9–32,2 т/га. На Кобринской, Мозырской, Молодечненской и Горецкой сортоиспытательных станциях новые гибриды получили также более

высокую дегустационную оценку плодов.

Закключение

По комплексу признаков урожайности выделены гибридные комбинации Линия 16-8 × Zafar, Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-8 × Линия 217, Линия 16-57 × Ирма, Линия 19-612 × Желтый жемчуг, Линия 19-652 × Желтый жемчуг, Линия 19-652 × Линия 217, Линия № 4 × Желтый жемчуг с ранней урожайностью 0,90–2,49 кг/м², товарной урожайностью 7,50–11,40 кг/м², общей урожайностью 8,22–13,12 кг/м², средней массой плода 26,15–39,78 г для комбинаций скрещивания с мелкоплодным сортом Желтый жемчуг, 96,94 г – с сортом Zafar, 72,32 – 78,02 г – с Линией 217, 54,36 г – с сортом Ирма.

По признаку «ранняя урожайность» высокий положительный гетерозис (от 88,9 до 291,0%) наблюдался у гибридных комбинаций Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-8 × Линия 217, Линия 16-8 × Линия 221, Линия 16-57 × Желтый жемчуг, Линия 16-57 × Ирма, Линия 19-612 × Желтый жемчуг, Линия 19-612 × Линия 217, Линия №4 × Желтый жемчуг.

У гибридов Линия 16-8 × Желтый жемчуг, Линия 16-8 × Линия 217, Линия 16-57 × Ирма, Линия 19-612 × Желтый жемчуг, Линия 19-612 × Линия 221, Линия 19-652 × Желтый жемчуг, Линия 19-652 × Линия 217, Линия № 4 × Желтый жемчуг эффект гетерозиса достигал 36,0–111,2% по признаку «товарная урожайность» и 28,6–97,8% – по признаку «общая урожайность».

Крупные плоды массой около 100 г имели все гибриды F₁ с сортом Zafar, а также F₁ Линия 16–57 × Линия 217, F₁ Линия 16-57 × Линия 221, F₁ Линия 19-612 × Линия 217, F₁ Линия 19-612 × Линия 221, F₁ Линия №4 × Линия 221. Положительный эффект гетерозиса установлен только у F₁ Линия № 4 × Линия 221.

Выделены гибридные комбинации с наибольшим значением истинного гетерозиса по накоплению в плодах сухого вещества (18,3–21,6%), каротиноидов (20,2–22,9%); растворимых углеводов (15,7–38,9%). Гибриды Линия 16-57 × Линия 217, Линия 19-645 × Линия 221, Линия 19-652 × Желтый жемчуг, Линия №4 × Желтый жемчуг и Линия №4 × Линия 221 имеют относительно высокие значения нескольких биохимических характеристик и положительные значения истинного гетерозиса по этим признакам.

Наследование ранней, товарной и общей урожайности, содержания сухого вещества, каротиноидов и растворимых углеводов преимущественно проходило по типу положительного сверхдоминирования, массы плода – по типу промежуточного наследования, содержания витамина С – по типу отрицательного сверхдоминирования.

Три гибрида переданы в ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений» и успешно проходят испытание.

• Литература

- Мамедов М.И., Пивоваров В.Ф., Пышная О.Н. *Селекция томата, перца и баклажана на адаптивность*. М.: ВНИИССОК; 2002. 442 с.
- Аутко А.А., Аутко А.А. *Овощи в питании человека*. Минск: Беларуская навука; 2008. 310 с.
- Игнатова С.И., Горшкова Н.С., Кондакова Е.И. Селекция тепличных сортов и гибридов томата. *Селекция и семеноводство овощных и бахчевых культур*. 1989. С. 115–128.
- Пивоваров В.Ф., Добруцкий Е.Г. Индуцирование мощности гетерозиса в гибридном семеноводстве томата. *Гавриш*. 1998;5(6):33-34.
- Нурматов Н.Ж., Жумаев Э.А. Использование гетерозиса в селекции томата на скороспелость. *Овощи России*. 2018;(4):36-38. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-36-38> <https://elibrary.ru/uuratr>
- Кильчевский А.В., Добродькин А.М., Пугачева И.Г., Добродькин М.М. Проявление эффекта гетерозиса у томата по хозяйственно ценным признакам в пленочных теплицах. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015;(3):118-121. <https://elibrary.ru/zchrvr>
- Мамедов М.И., Харченко В.А. Гетерозис и корреляционная зависимость по продуктивности и их компонентов у гибридов F₁ томата на стерильной основе. *Селекция и семеноводства овощных культур: Сборник научных трудов ВНИИССОК*. 2002;(37):127-145. <https://elibrary.ru/xcvyib>
- Кондратьева И.Ю. Результаты изучения гетерозисных гибридов томата в открытом грунте нечерноземной зоны России. *Овощи России*. 2013;(2):26-30. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-2-26-30> <https://elibrary.ru/rawrnf>
- Добродькин А.М., Пугачева И.Г., Добродькин М.М., Никонович Т.В., Кильчевский А.В. Проявление эффекта гетерозиса по хозяйственно ценным признакам у томата в открытом грунте. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;(2):140-143. <https://elibrary.ru/xryycl>
- Балашова И.Т., Балашова Н.Н., Пинчук Е.В. Первые результаты программы ВНИИССОК «Томат, устойчивый к абиотическим и биотическим стрессам Нечерноземной зоны России». *Селекция и семеноводство овощных культур: сб. научных трудов*. 2005;(40):17–26.
- Davenport C.B. Degeneration, albinism and inbreeding. *Science*. 1908;28(718):454-455. <https://doi.org/10.1126/science.28.718.454-b>
- Shull G.H. The genotypes of maize. *Amer. Naturalist*. 1911;45(532):234-252.
- Jones D.F. Dominance of Linked factors as a means of accounting for heterosis. *Genetics*. 1917;(2):466-479. <https://doi.org/10.1073/pnas.3.4.310>
- Турбин Н.В. Гетерозис и генетический баланс. Гетерозис: теория и методы практического использования. Минск. 1961. С. 334.
- Хотылева Л.В., Кильчевский, А.В., Шаптуренко, М.Н., Тарутина Л.А., Титок В.В. *Генетические основы гетерозиса*. Минск: Беларуская навука. 2021. 226 с. <https://elibrary.ru/bpxlol>
- Пивоваров В.Ф., Балашова Н.Н., Урсул С.В. Гетерозис сельскохозяйственных растений: развитие теоретических аспектов и практическое применение. *Гетерозис сельскохозяйственных растений*. М., 1997. С. 5-12.
- Пугачева И.Г., Французенок А.В., Баева И.Е., Лещина Н.Ю., Добродькин М.М., Некрашевич Н.А., Бабак О.Г., Кильчевский А.В. Использование методов молекулярного маркирования признаков устойчивости к болезням и пигментного состава плодов в селекции томата *Solanum lycopersicum* L. для открытого грунта. *Овощеводство*. 2022;(30):117-131.
- Оптимизация технологии возделывания томата в открытом грунте: рекомендации. Сост. А. В. Кильчевский, М. М. Добродькин, Т. В. Никонович, И. Г. Пугачева, А. М. Добродькин, Н. В. Барбасов. Горки: БГСХА; 2018. 51 с.
- Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: Россельхозакадемия; 2011. 649 с.
- Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. 5-е издание, переработанное и дополненное. М.: Агропромиздат; 1985. С. 223–230.
- Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбиногенез, агробиогенез). Кишинев : Штиинца, 1980. С. 170–175.
- Кильчевский А.В., Бабак О.Г., Щур А.В. Особенности наследования параметров продуктивности томата на различных агрофонах. *Состояние и перспективы развития плодородия и овощеводства в современных условиях*: Сб. науч. тр. Горки, БСХА, 1998. С. 91–96.
- Моисеева М.О., Никонович Т.В., Пугачева И.Г., Добродькин М.М., Кильчевский А.В., Пышная О.Н., Шмыкова Н.А., Супрунова Т.П. Анализ эффекта гетерозиса у гибридов F₁ перца сладкого. *Земледелие и растениеводство*. 2015;(1):14-19.
- Ушанов А.А., Ульянов Р.А., Миронов А.А. Оценка гетерозиса в реципрокных скрещиваниях инбредных линий партенокарпического огурца (*Cucumis sativus* L.). *Овощи России*. 2022;(1):19-23. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-19-23> <https://elibrary.ru/picqpn>
- Кондратьева И.Ю., Енгальчев М.Р. Крупноплодные деликатесные сорта томата с высокими вкусовыми качествами. *Овощи России*. 2019;(1):46-49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-46-49> <https://elibrary.ru/wuanuf>

• References

- Mamedov M.I., Pivovarov V.F., Pyshnaya O.N. *Selection of tomato, pepper and eggplant for adaptability in mind*. M.: VNISSOK; 2002. 442 p. (In Russ.)
- Autko A.A., Autko An.A. *Vegetables in human nutrition*. Minsk: Belarusian Science; 2008. 310 p. (In Russ.)
- Ignatova, S.I., Gorshkova N.S., Kondakova E.I. Selection of greenhouse varieties and hybrids of tomato. *Selection and seed production of vegetable and melon crops*. 1989. P.115-128. (In Russ.)
- Pivovarov V.F., Dobrutska E.G. Induction of heterosis power in hybrid tomato seed production. *Gavrish*. 1998;5(6): 33-34. (In Russ.)
- Nurmatov N.J., Jumayev E.A. Use of heterosis in the selection of tomato on speed. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(4):36-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-4-36-38> <https://elibrary.ru/uuurtr>
- Kilchevskii A.V., Dobrodin A.M., Pugacheva I.G., Dobrodin M.M. Manifestation of heterosis effect in tomato according to economically valuable signs in film hothouses. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2015;(3):118-121. (In Russ.) <https://elibrary.ru/zchrvr>
- Mamedov M.I., Kharchenko V.A. Heterosis and correlation dependence on productivity and their components in F₁ tomato hybrids on a sterile basis. *Breeding and seed production of vegetable crops: Collection of scientific works All-Russian. Research Institute*. 2002;37:127-145. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xcvyib>
- Kondratieva I.U. The results of the study of heterosis hybrids of tomato in the open field in Nonchernozem zone of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2013;(2):26-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-2-26-30> <https://elibrary.ru/rawrif>
- Dobrodin A.M., Pugacheva I.G., Dobrodin M.M., Nikonovich T.V., Kilchevskii A.V. Manifestation of heterosis effect according to economically useful traits in open ground tomato. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Sciences Academy*. 2018;(2):140-143. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xryycl>
- Balashova I.T., Balashova N.N., Pinchuk E.V. First results of the VNISSOK program «Tomato resistant to abiotic and biotic stresses of the Non-Black Earth Zone of Russia» Selection and seed production of vegetable crops. 2005;(40):17-26 (In Russ.)
- Davenport C.B. Degeneration, albinism and inbreeding. *Science*. 1908;28(718):454-455. <https://doi.org/10.1126/science.28.718.454-b>
- Shull G.H. The genotypes of maize. *Amer. Naturalist*. 1911;45(532):234-252.
- Jones D.F. Dominance of Linked factors as a means of accounting for heterosis. *Genetics*. 1917;(2):466-479. <https://doi.org/10.1073/pnas.3.4.310>
- Turbin H.B. Heterosis and genetic balance. *Heterosis: theory and methods of practical use*. Minsk. 1961. P. 3–34. (In Russ.)
- Khotyleva L.V., Kilchevsky A.V., Shapturenko M.N., Tarutina L.A., Titok V.V. *Genetic basis of heterosis*. Minsk: Belarusian Science, 2021. 226 p. (In Russ.) <https://elibrary.ru/bpxlxl>
- Pivovarov V.F., Balashova N.N., Ursul S.V. Heterosis of agricultural plants: development of theoretical aspects and practical application. In the book. *Heterosis of agricultural plants*. M.;1997. P. 5–12. (In Russ.)
- Pugacheva I.G., Frantsuzenok A.V., Baeva I.E., Leschina N.Yu., Dobrodin M.M., Nekrashevich N.A., Babak O.G., Kilchevskiy A.V. Using molecular marker techniques for disease resistance traits and pigment composition of fruits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) breeding for the open ground. *Vegetable Growing*. 2022;(30):117-131. (In Russ.) (In Russ.)
- Optimization of tomato cultivation technology in open ground: recommendations. Comp. A. V. Kilchevsky, M. M. Dobrodin, T. V. Nikonovich, I. G. Puhachova, A. M. Dobrodin, N. V. Barbasov. Gorki: BGSHA; 2018. 51 p. (In Russ.)
- Litvinov S.S. *Methodology for field testing in vegetable cultivation*. M.: Rosselkhozakademiya; 2011. 649 p. (In Russ.)
- Dospehov B.A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*. 5th edition revised and expanded. M.: Agropromizdat; 1985. P. 223–230. (In Russ.)
- Zhuchenko A.A. Ecological genetics of cultivated plants (Adaptation, recombination, agrobiocenosis). Kishinev, Shtiintsa Publishers, 1980. P. 170-175. (In Russ.)
- Kilchevsky A.V., Babak O.G., Shchur A.V. Peculiarities of inheritance of tomato productivity parameters on different agrofons. State and prospects for the development of fruit and vegetable growing in modern conditions: Collection of scientific works. Gorki, BSAA, 1998. P. 91–96. (In Russ.)
- Moiseeva M.O., Nikonoich T.V., Pugachiova I.G., Dobrodin M.M., Kilchevsky A.V., Pyshnaya O.N., Shmykova N.A., Suprunova T.P. Heterosis effect analysis in sweet pepper F₁ hybrids. *Crop Farming and Plant Growing*. 2015;(1):14-19. (In Russ.)
- Ushanov A.A., Ulyanov R.A., Mironov A.A. Evaluation of heterosis through reciprocal crosses of inbred cucumber lines (*Cucumis sativus* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2022;(1):19-23. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-19-23> <https://elibrary.ru/picqpn>
- Kondratyeva I.Yu., Engalychev M.R. Large-fruited, delicacy and highly palatable tomato varieties. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(1):46-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-46-49> <https://elibrary.ru/wuanuf>

Об авторах:

Ирина Геннадьевна Пугачёва – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии, автор для переписки, puhachova.irina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8329-7468>

Анастасия Васильевна Французёнок – аспирант кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии, nfrancuzenok@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6030-6154>

Ирина Евгеньевна Баева – кандидат с.-х. наук, зав. учебно-научно-исследовательской генетической лабораторией, irynabayeva27@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1933-5591>

Ольга Геннадьевна Бабак – кандидат биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической генетики и биотехнологии, Институт генетики и цитологии, O.Babak@igc.by, babak_olga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1087-9472>.

Александр Владимирович Кильчевский – академик НАН Беларуси, доктор биол. наук, профессор, научный руководитель лаборатории экологической генетики и биотехнологии, kilchev@presidium.bas-net.by, <https://orcid.org/0000-0002-0175-9786>

About the Authors:

Iryna G. Puhachova – Ph.D. (Agriculture), Associate Professor of the Department of the Agricultural Biotechnology, Ecology and Radiology, Corresponding Author, puhachova.irina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8329-7468>

Anastasiya V. Frantsuzionak – Ph.D. student of the Department of the Agricultural Biotechnology, Ecology and Radiology, nfrancuzenok@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6030-6154>

Iryna E. Bayeva – Ph.D. (Agriculture), Chief of the Academic-scientific-investigation Genetics Laboratory, <https://orcid.org/0000-0003-1933-5591>, irynabayeva27@mail.ru

Olga G. Babak – Ph.D (Biology), Assistant Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Ecological Genetics and Biotechnology, <https://orcid.org/0000-0002-1087-9472>, babak_olga@mail.ru, o.babak@igc.by

Alexander V. Kilchevsky – Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Dr. Sci. (Biology), Professor, Scientific Director of the Laboratory of Environmental Genetics and Biotechnology, kilchev@presidium.bas-net.by, <https://orcid.org/0000-0002-0175-9786>.

Краткое сообщение / Short communication

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-26-30>
УДК: 635.342:631.527.41:631.531

Л.Л. Бондарева*, А.И. Минейкина

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

*Автор для переписки:

lyuda_bondareva@mail.ru

Конфликт интересов. Л.Л. Бондарева является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2008 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Вклад авторов: Л.Л. Бондарева: концептуализация, верификация данных, проведение исследования, редактирование рукописи. А.И. Минейкина: курирование данных, написание и редактирование рукописи.

Для цитирования: Бондарева Л.Л., Минейкина А.И. Ускоренное размножение родительских линий капусты белокачанной с использованием штеклингов и камер искусственного климата. *Овощи России*. 2024;(5):26-30.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-26-30>

Поступила в редакцию: 19.08.2024

Принята к печати: 21.09.2024

Опубликована: 27.09.2024

Lyudmila L. Bondareva*, Anna I. Mineykina

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

*Corresponding Author: lyuda_bondareva@mail.ru

Conflict of interest. Bondareva L.L. has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2008, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

Authors Contribution: Bondareva L.L.: conceptualization, data verification, research, manuscript editing. Mineykina A.I.: data curation, writing and editing of the manuscript.

For citation: Bondareva L.L., Mineykina A.I. Accelerated reproduction of the parental lines of white cabbage using rosette plants (steckling) and artificial climate chambers. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):26-30. (In Russ.)

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-26-30>

Received: 19.08.2024

Accepted for publication: 21.09.2024

Published: 27.09.2024

Ускоренное размножение родительских линий капусты белокачанной с использованием штеклингов и камер искусственного климата

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Технология производства семян капусты при традиционном способе занимает почти 2 года. Высокая ее трудоемкость вызвала необходимость поиска более дешевых способов ведения селекции и семеноводства. Одним из способов по ускорению этапов селекционного процесса является использование камер искусственного климата. Цель исследований – получение семян перспективных инбредных линий капусты белокачанной и гибридных комбинаций с их участием с использованием розеточных растений (штеклингов) в камерах искусственного климата.

Материал и методы. Материалом служили инбредные чистые линии 5-6 поколений инбридинга, полученные из перспективных гибридных комбинаций отечественной и зарубежной селекции. Исследования проводили в 2023-2024 годах. Посев в кассеты Плантек 64 осуществляли 10 июля, затем рассаду пересаживали в вегетационные сосуды с оптимальным объемом 5-6 л и оставляли в открытом грунте для нарастания листовой розетки. В фазу 10-13 настоящих листьев штеклинги устанавливали в камере искусственного климата для их дальнейшей яровизации и вегетации. В период роста и развития проводили биометрические и фенологические наблюдения, осуществляли анализ завязываемости семян при гибридизации инбредных линий.

Результаты. При изучении гибридного семеноводства в условиях камеры искусственного климата выявлены высокие показатели завязываемости семян в бутонах при перекрестном опылении розеточных растений капусты белокачанной. Выделены генотипы, у которых отмечена высокая степень завязываемости семян при гейтеногамном опылении бутонов. Масса 1000 семян изученных растений находилась в пределах 2,5-5,14 г. Выделены генотипы 383-3, 384-2 и 384-7, у которых отмечен наибольший процент семян в фракционном составе размером более 2 мм – 80,3%, 43,5% и 59,4% соответственно. При использовании генотипов 384-2 и 384-7 в гибридных комбинациях в качестве материнского компонента выявлены высокие показатели качества полученных семян.

Заключение. Для изученных генотипов капусты белокачанной при выращивании их в камере искусственного климата существенного влияния на качество семян не выявлено, на показатели качества семян большую степень оказывало влияние генотипа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

селекция, семеноводство, гибридизация, яровизация, инбредные линии, завязываемость семян

Accelerated reproduction of the parental lines of white cabbage using rosette plants (steckling) and artificial climate chambers

ABSTRACT

Relevance. The technology of producing cabbage seeds with the traditional method takes almost 2 years. Its high labor intensity caused the need to search for cheaper methods of selection and seed production. One of the ways to speed up the stages of the selection process is the use of artificial climate chambers. The aim of research is to obtain seeds of promising inbred lines of late maturing white cabbage and hybrid combinations with their participation using rosette plants (steckling) in artificial climate chambers.

Materials and Methods. The material was inbred pure lines of 5-6 generations of inbreeding, obtained from promising hybrid combinations of domestic and foreign breeding. The research was conducted in 2023-2024. Sowing in Plantek 64 cassettes was carried out on July 10, then the seedlings were transplanted into vegetative vessels with an optimal volume of 5-6 liters and installed in the open ground for the growth of a leaf outlet. In the phase 10-13 of real leaves, the plugs were placed in an artificial climate chamber. During the growth and development period, biometric and phenological observations were carried out, and an analysis of seed setting was carried out during the hybridization of inbred lines.

Results. As a result of research in the study of hybrid seed production under artificial climate chamber conditions, high rates of seed setting in buds under cross-pollination of rosette plants of white cabbage were revealed. Genotypes with high seed set rate under geitonogamous bud pollination were also identified. The weight of 1000 seeds of the studied plants was within the range of 2.5-5.14 g. Genotypes 383-3, 384-2 and 384-7 were selected, which had the highest percentage of seeds in the fractional composition with size more than 2 mm - 80.3%, 43.5% and 59.4%, respectively. When genotypes 384-2 and 384-7 were used in hybrid combinations as a maternal component, high quality indicators of the obtained seeds were revealed.

Conclusion. For the studied genotypes of white cabbage, when grown in an artificial climate chamber, no significant effect on seed quality was found; the genotype had a greater effect on seed quality indicators.

KEYWORDS:

selection, seed production, inbred lines, hybridization, vernalization, seed setting

Введение

Капуста белокочанная является важной овощной культурой, по уровню потребления твердо занимает третье место после хлеба и картофеля. Широкому распространению капусты способствуют очень ценные хозяйственные качества: высокая урожайность, наличие форм с различной продолжительностью вегетационного периода, хорошая лежкость зимой, устойчивость к низким температурам и высокая транспортабельность. Благодаря таким качествам создается возможность снабжать капустой население повсеместно круглый год [1, 2].

За последние годы отмечается заметное снижение площадей под товарной продукцией (со 113 тыс. га в 2013 году до 34 тыс. га в 2021 году). Практически каждый второй год случается кризис перепроизводства. В настоящее время капуста белокочанная в сравнении с овощами «борщевых» набора (морковь, свекла столовая, лук репчатый) требует больших затрат ручного труда при ее уборке и закладке на хранение [3, 4].

В товарном производстве капусты белокочанной основополагающая роль отводится гибридам F₁, которые характеризуются стабильной урожайностью, выравненностью, отличным качеством продукции, дружностью созревания, высокой товарностью продукции [5, 6]. По-прежнему, востребованы гибриды капусты белокочанной различных групп спелости: от ультраскороспелых до позднеспелых с продолжительностью хранения кочанов более 6 месяцев. Но все-таки, наибольшие площади у производителей товарной продукции при выращивании на полях занимают гибриды капусты белокочанной среднеспелого и позднего сроков созревания [7]. В сетевых магазинах при реализации капусты белокочанной наметилась тенденция к соблюдению отдельных требований к продукции: кочан должен быть более округлым, массой 2,0-2,3 кг, плотный, с небольшой внутренней кочерыжкой, без повреждения наружных листьев. Поэтому при создании гибрида капусты белокочанной следует учитывать не только весь комплекс требований для производителей продукции, представителей торговых сетей, но и быстро реагировать на предъявляемые требования (конъюнктуру рынка) при создании новых гибридов.

Известно, что капуста белокочанная – это двулетняя перекрестно опыляемая культура семейства Капустные. В первый год образуется кочан, который является сильно разросшейся верхушечной почкой. В зависимости от скороспелости сорта, на формирование кочана уходит от полутора до двух с половиной месяцев. Уборку семеноводческих посевов проводят обычно, когда большинство растений (не менее 75%) достигнет фазы технической спелости кочана. На семенные цели отбирают типичные для сорта хорошо развитые растения. Перед закладкой на хранение листья листовой розетки обрезают, оставляя два-три листа околокочанных, которые спустя 25-35 дней легко отходят от кочерыжки и в таком состоянии (кочан с корнем) укладываются на зимнее хранение при температуре 0°C...1°C. Для прохождения яровизации за 30-35 суток до высадки весной температуру поднимают до +6°C.

Ранней весной по мере прогревания почвы, высаживаются маточки капусты. Дальнейший уход за семенниками сводится к проведению своевременных поливов, рыхления посадки, защиты от вредителей и болезней. Цветение семенников капусты продолжается 20-23 суток в зависимости от сорта, гибрида с последующим образованием стручков длиной до 10 см. Через полтора-два месяца после окончания цветения вызревают семена [8].

Таким образом, технология получения семян от семени до семени у капусты при традиционном способе занимает почти 2 года. Такая высокая трудоемкость технологии выращивания семян капусты в двулетней культуре с использованием маточников вызвала необходимость поиска более дешевых способов семеноводства.

Учеными из Приднестровского НИИСХ установлена возможность получения семян этой культуры из розеточных растений (штеклингов),

где важное значение для перехода растений от вегетативного к репродуктивному периоду онтогенеза имеет их возраст и количество листьев [9-11].

Селекция капусты белокочанной, в основном, ориентирована на создание F₁ гибридов, отличающихся от сортопопуляций высокой урожайностью, выравненностью растений по срокам созревания и качеству продуктивных органов. Наиболее сложным, трудоемким и продолжительным этапом в этом процессе является создание константных родительских линий, на получение которых уходит от 7 до 14 лет при использовании традиционных методов селекции [12].

В настоящее время для ускорения отдельных этапов селекции, кроме классических методов, широко используют биотехнологические, а именно, технологии получения удвоенных гаплоидов (DH-технологии) [13-16].

Для капусты эффективным способом получения гибридных семян является гибридизация самонесовместимых инбредных линий на основе спорофитной системы самонесовместимости. Для получения потомства самонесовместимых инбредных линий капусты используется гейтеногамное опыление растений, т.е. опыление растений в бутонах в определенном возрасте их развития [7, 17].

Одним из способов по ускорению этапов селекционного процесса с капустой является использование камер искусственного климата с заданными световым и температурным режимами. Такие камеры имеются в лаборатории селекции и семеноводства капустных культур ФНЦО [18]. Их использование позволяет в 2 раза сократить селекционный процесс, отработаны отдельные элементы технологии получения и размножения семян селекционных образцов разных разновидностей капусты [19]. В камерах искусственного климата растения капусты проходят важные этапы развития, как яровизация, переход в репродуктивную стадию развития (образование цветоноса), цветение семенного растения (в этот период проводится гибридизация), образование стручков, созревание и уборка семян [20].

При выращивании в открытом грунте маточки капусты проходят эти этапы за 9-10 месяцев, в т.ч. на яровизацию уходит до 5 месяцев, а остальное время – на рост и развитие растений капусты второго года жизни. В камерах искусственного климата эти же этапы роста и развития растения капусты проходят значительно быстрее (за 3,5-4 месяца) за счет регулирования температурного режима и относительной влажности воздуха.

Целью наших исследований является получение семян перспективных инбредных линий капусты белокочанной позднего срока созревания с использованием розеточных растений (штеклингов) в камерах искусственного климата.

Материалы и методы исследований

Материалом исследований служили инбредные чистые линии 5-6 поколений инбридинга, полученные из перспективных гибридных комбинаций отечественной и зарубежной селекции.

Опыт проводили в 2023-2024 годах в лабораторно-полевых условиях ФГБНУ ФНЦО. Посев в кассеты Плантек 64 проводили 10 июля. В фазе 3-4 настоящих листьев (8 августа) рассаду капусты пересаживали в вегетационные сосуды с оптимальным объемом 5-6 л и питательной смесью: дерновая земля, торф и песок в соотношении 2:1:1. Затем устанавливали сосуды в открытом грунте для нарастания листовой розетки. В период роста проводили рекомендованные агротехнические мероприятия для получения здоровых растений: подкормки, рыхление почвы в вазонах, своевременный полив и др. В фазу 10-13 настоящих листьев и толщиной стебля 9-12 мм (ориентировочно 16 октября) растения капусты в фазе штеклингов (розеточных растений) устанавливали в камеру искусственного климата. В течение 55 суток температура в камере поддерживали на уровне 6,0...6,5°C, при которой растения проходили яровизацию, затем сосуды со штеклингами переносили в вегетационную камеру, для постепенной адаптации

Таблица 1. Динамика роста семенных растений капусты белокочанной (штеклингов) в камере искусственного климата
Table 1. Growth dynamics of seed plants of white cabbage (steckling) in an artificial climate chamber

Генотип	Высота растения, см		Количество листьев, шт.		Цветение, сутки		
	с... по...	прирост	с... по...	прирост	начало	массовое	окончание
381-1	27-49	22	21-29	8	51	58-65	79
381-3	29-50	21	27-32	5	51	65-72	79
382-11	27-37	10	19-33	14	72	93-100	107
383-2	30-49	19	23-27	4	65	72	79
383-3	22-38	16	24-43	19	80	87	108
383-5	24-40	16	18-37	19	94	101	108
383-7	34-46	12	24-38	14	73	80-87	94
383-8	29-43	14	20-35	15	87	94	101
384-2	37-57	20	37-40	3	58	65-72	79
384-7	30-54	24	38-43	5	59	66-73	80

растений температурный режим в течение 10 суток поддерживали на уровне 10...12°C, в последующем увеличивали до 18...21°C. Дальнейший рост штеклингов проходил при оптимальной температуре – 21...23°C и освещенности 6000 люкс, день-ночь: 16 ч./8 ч., при созревании семян после гибридизации соотношение день-ночь немного корректировали – 18 ч./6 ч. В период роста в камере проводили биометрические и фенологические наблюдения, отмечали цветение, нарастание листовой массы, высоту растения. В задачи исследований также входил анализ завязываемости семян при гибридизации данных инбредных линий.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенных нами исследований установлены основные параметры роста и развития растений капусты в динамике, показана завязываемость семян у перспективных инбредных линий при гейтеногамном и перекрестном опылениях, а также показатели качества полученных семян по фракционному составу. Длина вегетационного периода штеклингов в камере искусственного климата в зависимости от генотипа составила от 79 до 108 суток. Наибольший прирост высоты растений показали генотипы 381, 384 и 383-2 (табл. 1). При этом для этих генотипов был отмечен наименьший прирост числа листьев. Такая динамика обусловлена активным ростом цветоноса, что заметно приводит к угнетению развития розетки листьев. Сроки проявления морфологических изменений, связанных с началом и окончанием цветения семенных растений при выращивании в камере искусственного климата, отличаются не только между генотипами, но и между растениями внутри каждого. Сроки наступления этих фенологических фаз зависят, по всей видимости, от способа освещения и направленности светового потока. Таким образом, этот параметр роста и развития можно регулировать и подбирать оптимальные условия и сроки цветения для каждого отдельного растения.

Для производственных целей существует различные методы получения гибридных семян капустных культур. Однако, в любой селекционной программе по получению гибридов требуется проводить размножение и поддержание родительских линий, которые производятся гейтеногамным опылением бутонов вручную [21]. Поэтому важным этапом было изучение посевных качеств розеточных растений при выращивании в камере искусственного климата. В результате наших исследований выявлены высокие показатели завязываемости семян в бутонах при перекрестном опылении (рис.). Также были выделены генотипы 381-3, 382-11, 383-2, 384-7, у которых отмечена высокая степень завязываемости семян при гейтеногамном опылении бутонов. Таким образом, установлено, что условия камеры искусственного климата не снижают качество получаемых семян при выращивании розеточных растений.

Согласно справочным данным [22] масса 1000 семян капусты белокочанной варьирует и составляет 2,2-4,8 г. В результате наших исследований масса 1000 семян находилась в пределах 2,5-5,14 г,

Таблица 2. Посевные качества семян, полученных в различных вариантах скрещивания штеклингов капусты белокочанной в камере искусственного климата
Table 2. Sowing qualities of seeds obtained in different crossing variants of white cabbage steckling in an artificial climate chamber

Вариант скрещивания	Фракционный состав, %			Масса 1000 семян, г
	<1,8 мм	1,8-2,0 мм	>2,0 мм	
383-2 (бутоны)	69,6	30,4	0,0	2,75
383-2 x 382-11	52,3	47,7	0,0	3,30
383-2 x 381-1	70,8	29,2	0,0	3,25
383-3 (бутоны)	1,2	18,5	80,3	4,13
383-3 x 381-1	100,0	0,0	0,0	1,82
383-3 x 382-5	60,0	40,0	0,0	2,57
383-3 x 381-3	53,3	46,7	0,0	2,85
383-7 (бутоны)	67,7	32,3	0,0	2,58
383-7 x 381-1	84,2	15,8	0,0	2,69
383-7 x 382-5	75,4	24,6	0,0	2,97
383-7 x 382-11	76,3	23,7	0,0	3,03
383-8 (бутоны)	75,0	25,0	0,0	2,50
383-8 x 382-11	77,8	22,2	0,0	3,13
384-2 (бутоны)	25,2	31,3	43,5	3,48
384-2xГЛ 11-1	13,3	46,7	40,0	4,17
384-2x ГЛ 8-1	14,7	47,1	38,2	4,41
384-2 x 383-2	12,9	40,0	47,1	4,24
384-2 x 351-1	0,00	100,0	0,0	5,00
384-2 x 328-2	0,00	100,0	0,0	4,09
384-7 (бутоны)	10,4	30,2	59,4	4,20
384-7 x 381-1	1,4	32,1	66,5	5,14
384-7 x 383-7	4,0	26,3	69,7	4,87

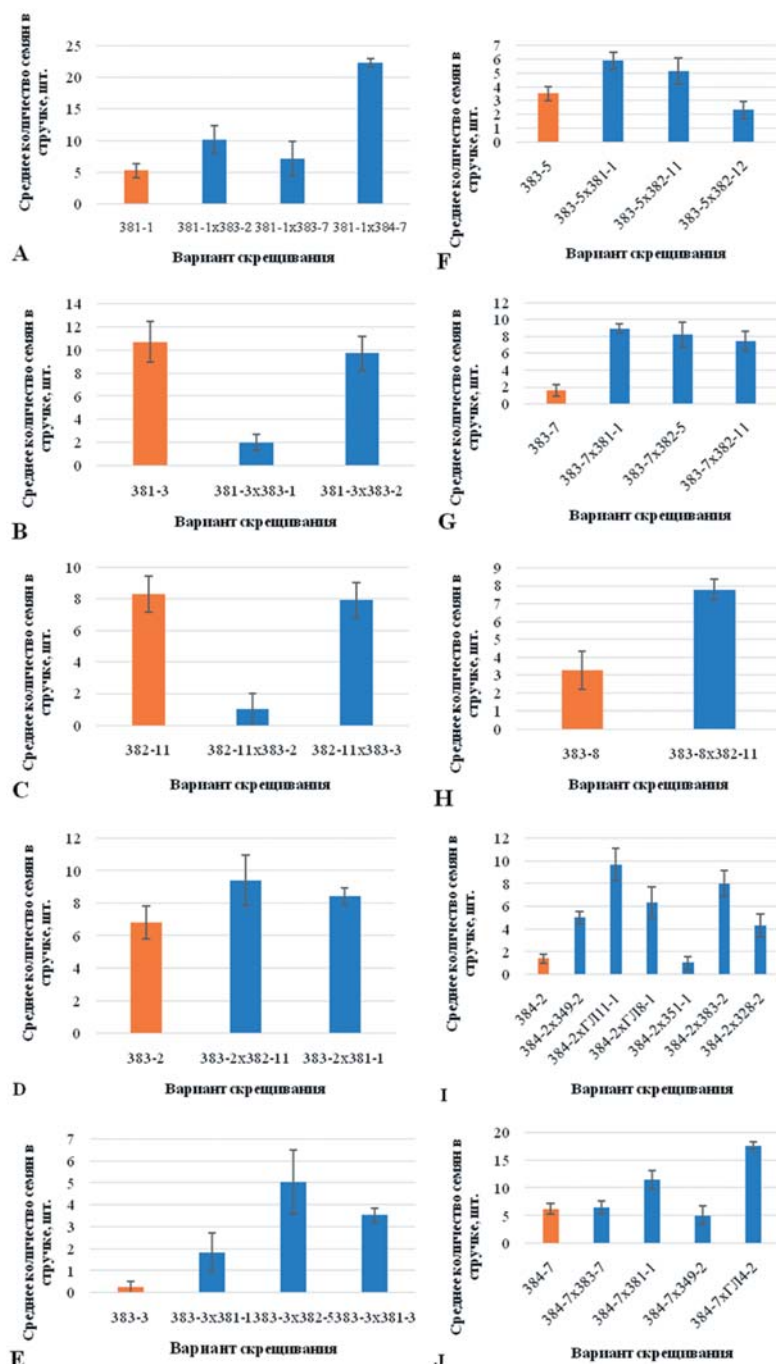


Рис. Завязываемость семян растений капусты белокочанной при гейте-ногамном опылении бутонов и перекрёстном опылении линий у различных генотипов: А-381-1; В-381-3; С-382-11; D-383-2; E-383-3; F-383-5; G-383-7; H-383-8; I-384-2; J-384-7

Fig. Seed setting of white cabbage plants with heutenogamous pollination of buds and cross-pollination of lines in different genotypes: A-381-1; B-381-3; C-382-11; D-383-2; E-383-3; F-383-5; G-383-7; H-383-8; I-384-2; J-384-7



Рис. 2. Растения капусты белокочанной в камере искусственного климата, ФГБНУ ФНЦО, 2024 год

Fig. 2. White cabbage plants in an artificial climate chamber, FSBSI FSVC, 2024

за исключением гибридной комбинации 383-3x381-1. Анализ фракционного состава этой гибридной комбинации показал высокий процент семян фракции менее 1,8 мм (табл. 2). У генотипов 383-3, 384-2 и 384-7 был отмечен наибольший процент семян в фракционном составе размером более 2 мм – 80,3%, 43,5% и 59,4% соответственно. При использовании генотипов 384-2 и 384-7 в гибридных комбинациях в качестве материнского компонента выявлены высокие показатели качества полученных семян по фракционному составу и массе 1000 семян во всех вариантах. Таким образом, нами не выявлено влияние условий выращивания камеры искусственного света на качество семян розеточных растений. Существенное значение на показатели качества семян оказывает генотип.

Закключение

Селекция и семеноводство капусты белокочанной является трудоёмким процессом, требующим больших временных затрат. Использование в качестве маточников розеточных растений (штетлингов) представляет возможность сокращения двухлетнего цикла развития за счет ускоренного прохождения фенологических фаз роста, а выращивание растений в камере искусственного климата позволяет исключить влияние неблагоприятных внешних факторов: климатических условий, наличие патогенов и насекомых для нежелательного переопыления. Такие технологические приемы позволяют повысить эффективность получения семенного потомства двухлетней культуры за один год и значительно снизит затраты на создание гетерозисных гибридов с заданными параметрами [23].

• Литература

1. Пивоваров В.Ф., Бондарева Л.Л. Основные направления и результаты селекции и семеноводства капустных культур во ВНИИССОК. *Овощи России*. 2013;(3):4-9. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-3-4-9> <https://www.elibrary.ru/rbjtkn>
2. Бондарева Л.Л. Вековой путь развития селекции капусты: история, результаты, современные направления. *Известия ФНЦО*. 2020;(1):72-82. <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2020-1-72-82> <https://www.elibrary.ru/htijhk>
3. Крашенинник Н.В. Особенности технологии выращивания белокачанной капусты. *Гавриш*. 2010;(2):16-19.
4. Бутов И.С. Делай со мной, делай как я, делай лучше меня. *Картофель и овощи*. 2024;(2):7-10. <https://www.elibrary.ru/yifbig>
5. Бондарева Л.Л., Колесников И.М. Селекция скороспелых гибридов капусты белокачанной. Научные труды по селекции и семеноводству. 1995;(2):150-152.
6. Пивоваров В.Ф., Бондарева Л.Л., Шмыкова Н.А., Шумилина Д.В., Минеикина А.И. Создание гибридов капусты белокачанной (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* var. *alba*) нового поколения с использованием линий удвоенных гаплоидов. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(1):143-151. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.143rus1995> <https://www.elibrary.ru/yfqfkd>
7. Минеикина А.И., Бондарева Л.Л., Шумилина Д.В., Домблдес Е.А., Солдатенко А.В. Усовершенствование методов создания гибридов капусты белокачанной. *Овощи России*. 2019;(4):3-7. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-4-3-7> <https://www.elibrary.ru/faxajs>
8. Бондарева Л.Л., Фролова С.Л. Особенности роста и развития семенных кустов сортов и родительских линий капустных культур. *Известия ФНЦО*. 2021;(3-4):13-19. <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2021-3-4-13-19> <https://www.elibrary.ru/reneek>
9. Завацкий М.Ю. Действие клеевой обработки семенников капусты на осыпаемость семян. Труды по семеноводству и семеноведению овощных культур. 1981. С.24.
10. Завацкий М.Ю. Способы повышения устойчивости семенников белокачанной капусты к осыпаемости. *Химизация сельского хозяйства*. 1990;(12):62-63.
11. Зведенюк А.П., Казаку В.И. Выращивание семян капусты белокачанной из розеточных растений. *Овощи России*. 2013;(3):40-42. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-3-40-42> <https://www.elibrary.ru/rbjtoj>
12. Бондарева Л.Л. Научное обоснование и разработка системы методов селекции и семеноводства капустных культур. 2009. 47 с.
13. Шмыкова Н.А., Шумилина Д.В., Супрунова Т.П. Получение удвоенных гаплоидов у видов рода *Brassica* L. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(1):111-120. <https://doi.org/10.18699/VJ15.014> <https://www.elibrary.ru/twqxtp>
14. Ferrie A. Microspore culture of Brassica species. Doubled haploid production in crop plants: a manual. Dordrecht: Springer Netherlands, 2003. P. 205-215.
15. Dunwell J.M. Haploids in flowering plants: origins and exploitation. *J. Plant Biotech.* 2010;8:377-424. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2009.00498.x>
16. Yuan Sx., Su Yb., Liu Ym. et al. Effects of pH, MES, arabinogalactan-proteins on microspore cultures in white cabbage. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2012;110:69-76. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0131-z>
17. Монахос Г.Ф. Схема создания двухлинейных гибридов капустных овощных культур на основе самонесовместимости. *Известия ТСХА*. 2007;(2):86-93. <https://www.elibrary.ru/iadqjx>
18. Старцев В.И., Бондарева Л.Л. Методы ускорения селекционного процесса у капусты. *Картофель и овощи*. 2005;(4):7.
19. Цыганок Н.С., Панькин Е.А. Использование климатических камер в селекции и семеноводстве капустных культур. Материалы III Международного симпозиума «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования». 1999;(2):458-460.
20. Бондарева Л.Л., Разин О.А. Использование камер искусственного климата при селекции капусты. *Овощи России*. 2014;(4):37-39. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2014-4-37-39> <https://www.elibrary.ru/tjalbt>
21. Крючков А.В. Основные принципы получения гибридных семян на основе самонесовместимости. *Известия ТСХА*. 1972;(1):124-131.
22. Лудиллов В.А. Семеноводство овощных и бахчевых культур. М.: Глобус, 2000. 256 с.
23. Старцев В.И., Бондарева Л.Л., Пронин С.С., Кравчук И.В., Старцева Л.В., Разин А.Ф. Методика определения экономической эффективности научных достижений в селекции и семеноводстве овощных культур. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур, 2011. 48 с. ISBN 978-5-901695-45-6. <https://www.elibrary.ru/vpcvjv>

• References

1. Pivovarov V.F., Bondareva L.L. MAIN ACHIEVEMENTS OF BREEDING AND SEED PRODUCTION OF COLE CROPS IN VNIISOK. *Vegetable crops of Russia*. 2013;(3):4-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-3-4-9> <https://www.elibrary.ru/rbjtkn>
2. Bondareva L.L. The centuries-old path of development of cabbage breeding: history, results, modern direction. *News of FSVС*. 2020;(1):72-82. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2020-1-72-82> <https://www.elibrary.ru/htijhk>
3. Krashenninik N.V. Features of technology for growing white cabbage. *Gavrish*. 2010;(2):16-19.
4. Butov I.S. Do with me, do as I do, do better than me. *Potato and vegetables*. 2024;(2):7-10. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/yifbig>
5. Bondareva L.L., Kolesnikov I.M. Selection of early-ripening hybrids of white cabbage. Scientific works on selection and seed production. 1995;(2):150-152. (In Russ.)
6. Pivovarov V.F., Bondareva L.L., Shmykova N.A., Shumilina D.V., Mineikina A.I. Creation of new generation white cabbage hybrids (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* var. *alba*) using doubled haploid lines. *Agricultural biology*. 2017;52(1):143-151. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.143rus1995> <https://www.elibrary.ru/yfqfkd>
7. Mineykina A.I., Bondareva L.L., Shumilina D.V., Domblides E.A., Soldatenko A.V. Improvement of methods of creating hybrids of cabbage. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(4):3-7. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-4-3-7> <https://www.elibrary.ru/faxajs>
8. Bondareva L.L., Frolova S.L. Features of growth and development of seed bushes of varieties and parental lines of cabbage crops. *News of FSVС*. 2021;(3-4):13-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2021-3-4-13-19> <https://www.elibrary.ru/reneek>
9. Zavatsky M.Yu. Effect of glue treatment of cabbage seed plants on seed shedding. Works on seed production and seed science of vegetable crops. 1981. P. 24. (In Russ.)
10. Zavatsky M.Yu. Methods for increasing the resistance of white cabbage seedlings to shedding. *Chemicalization of Agriculture*. 1990;(12):62-63. (In Russ.)
11. Zvedenyuk A.P., Kazaku V.I. White head cabbage seeds growing from rosette plants. *Vegetable crops of Russia*. 2013;(3):40-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-3-40-42> <https://www.elibrary.ru/rbjtoj>
12. Bondareva L.L. Scientific substantiation and development of a system of methods for selection and seed production of cabbage crops. 2009. 47 p. (In Russ.)
13. Shmykova N.A., Shumilina D.V., Suprunova T.P. Doubled haploid production in Brassica L. seeds. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii – Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):111-120. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ15.014> <https://www.elibrary.ru/twqxtp>
14. Ferrie A. Microspore culture of Brassica species. Doubled haploid production in crop plants: a manual. Dordrecht: Springer Netherlands, 2003. P. 205-215.
15. Dunwell J.M. Haploids in flowering plants: origins and exploitation. *J. Plant Biotech.* 2010;8:377-424. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2009.00498.x>
16. Yuan Sx., Su Yb., Liu Ym. et al. Effects of pH, MES, arabinogalactan-proteins on microspore cultures in white cabbage. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2012;110:69-76. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0131-z>
17. Monakhos G.F. Scheme of creation of two-line hybrids of cabbage vegetable crops on the basis of self-incompatibility. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2007;(2):86-93. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/iadqjx>
18. Startsev V.I., Bondareva L.L. Methods of acceleration of selection process in cabbage. *Potato and vegetables*. 2005;(4):7. (In Russ.)
19. Tsyganok N.S., Pankin E.A. Use of climate chambers in selection and seed production of cabbage crops. Proceedings of the III International Symposium "New and Unconventional Plants and Prospects for Their Use". 1999; 2: 458-460. (In Russ.)
20. Bondareva L.L., Razin O.A. Use of growth chambers for cabbage breeding. *Vegetable crops of Russia*. 2014;(4):37-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2014-4-37-39> <https://www.elibrary.ru/tjalbt>
21. Kryuchkov A.V. Basic principles of obtaining hybrid seeds based on self-incompatibility. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1972;(1):124-131. (In Russ.)
22. Ludilov V.A. Seed production of vegetable crops. Moscow: Globus, 2000. 256 p. (In Russ.)
23. Startsev V.I., Bondareva L.L., Pronin S.S., Kravchuk I.V., Startseva L.V., Razin A.F. Methods of determining the economic efficiency of scientific advances in breeding and seed production of vegetable crops. Moscow: All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production, 2011. 48 p. ISBN 978-5-901695-45-6. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/vpcvjv>

Об авторах:

Людмила Леонидовна Бондарева – доктор с.-х. наук, зав. лабораторией селекции и семеноводства капустных культур, <https://orcid.org/0000-0003-2082-0754>, SPIN-код: 6679-0168, (РИНЦ), автор для переписки, lyuda_bondareva@mail.ru
Анна Игоревна Минеикина – научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики и цитологии, <https://orcid.org/0000-0001-9864-1137>, SPIN-код: 7179-7360, anna-batmanova@mail.ru

About the Authors:

Lyudmila L. Bondareva – Dr. Sci. (Agriculture), Head of the Laboratory of breeding and seed production of Cole crops, <https://orcid.org/0000-0003-2082-0754>, SPIN-code: 6679-0168, Correspondence Author, lyuda_bondareva@mail.ru
Anna I. Mineykina – Researcher at the Laboratory of Molecular Genetics and Cytology, <https://orcid.org/0000-0001-9864-1137>, SPIN-code: 7179-7360, anna-batmanova@mail.ru

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-31-37>
УДК: 635.25:631.531.027.2

А.В. Янченко, А.Ф. Бухаров,
А.Ю. Федосов, М.И. Иванова*,
А.М. Меньших, С.В. Белова

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

*Автор для переписки: ivanova_170@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Янченко А.В.: научное руководство исследованием, ресурсы; Бухаров А.Ф.: концептуализация, методология, администрирование проекта; Федосов А.Ю., Иванова М.И., Меньших А.М.: методология, визуализация, литературный поиск, проведение исследований, анализ полученных данных, создание рукописи; Белова С.В.: литературный поиск, редактирование рукописи.

Для цитирования: Янченко А.В., Бухаров А.Ф., Федосов А.Ю., Иванова М.И., Меньших А.М., Белова С.В. Современное состояние и открытые вопросы праймирования семян лука репчатого. *Овощи России*. 2024;(5):31-37. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-31-37>

Поступила в редакцию: 29.05.2024

Принята к печати: 03.07.2024

Опубликована: 27.09.2024

Alexey V. Yanchenko, Alexander F. Bukharov,
Alexander Yu. Fedosov, Maria I. Ivanova*,
Aleksandr M. Menshikh, Sofya V. Belova

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

Correspondence Author: ivanova_170@mail.ru

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

Authors' Contribution: Yanchenko A.V.: scientific supervision of the study, resources; Bukharov A.F.: conceptualization, methodology, project administration; Fedosov A.Yu., Ivanova M.I., Menshikh A.M.: methodology, visualization, literature search, conducting the study, analysis of the obtained data, writing the manuscript; Belova S.V.: literature search, editing the manuscript.

For citation: Yanchenko A.V., Bukharov A.F., Fedosov A.Yu., Ivanova M.I., Menshikh A.M., Belova S.V. Current state and open issues of priming onion seeds. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):31-37. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-31-37>

Received: 29.05.2024

Accepted for publication: 03.07.2024

Published: 27.09.2024

Современное состояние и открытые вопросы праймирования семян лука репчатого

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В контексте изменения климата при выращивании лука репчатого необходимы инновационные решения, которые послужат основой для поддержки селекционеров и семеноводов и фермеров, в частности, касающиеся с важнейшего вопроса качества семян. Одним из методов, способствующим улучшению жизнеспособности семян, является праймирование, что приводит к быстрому и равномерному прорастанию и появлению всходов лука репчатого.

Результаты. Праймирование семян лука репчатого может улучшить жизнеспособность, особенно в неблагоприятных условиях, таких как низкие/высокие температуры, недостаточное количество влаги, засоление. Это простое, недорогое и низкорисковое вмешательство, которое может стать полезной технологией для производителей лука репчатого и оказать положительное влияние за счет увеличения сроков прорастания семян, увеличения темпов развития растений, сокращения продолжительности уборки урожая и повышения урожайности. Данный метод распространен для семян редиса, томата, моркови и капусты и менее популярен для лука репчатого. В представленном обзоре приводится информация современных научно-технических достижений, которые на сегодняшний день способствовали повышению всхожести семян и увеличению силы роста растений лука репчатого. Для крупномасштабного коммерческого использования оптимальные методы и условия праймирования, адаптированные для различных сортов или партий семян, потребуют дальнейшей обширной экспериментальной деятельности. Не следует отрицать, что технология праймирования семян отличается простотой в эксплуатации, низкой стоимостью и высокой практической ценностью в промышленном и рыночном контексте. Можно предвидеть, что данная технология в будущем будет иметь более широкие перспективы в сельскохозяйственном производстве и экологическом строительстве. Кроме того, праймирование семян может эффективно восстанавливать или повышать их жизнеспособность, обеспечивать успешное сохранение ресурсов зародышевой плазмы и последующее развитие, особенно для семян лука репчатого, которые быстро теряют всхожесть.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лук репчатый; прорастание семян; праймирование семян; признаки качества семян

Current state and open issues of priming onion seeds

ABSTRACT

Relevance. In the context of climate change, onion cultivation has become a challenge and innovative solutions are needed to support breeders and seed producers as well as farmers, starting with critical issues of seed quality. Seed priming successfully improves seed viability, which leads to rapid and uniform germination and emergence of onion seedlings.

Results. Priming onion seeds can improve viability, especially under unfavorable conditions such as low/high temperatures, reduced water availability and salinity. It is a simple, low-cost and low-risk intervention that can be a useful technology for farmers and have a positive impact on their livelihoods by increasing the rate of seed germination, increasing the rate of plant development, reducing harvest time and increasing yields. Although this method is common for radish, tomato, carrot and cabbage seeds, this method is less popular for onions. This review provides an up-to-date picture of the scientific and technological advances that have contributed to increasing seed germination and vigor in onion plants to date. For large-scale commercial use, optimal priming methods and conditions tailored to different varieties or seed lots will require further extensive experimental work. It cannot be denied that seed priming technology is characterized by ease of operation, low cost and high practical value in industrial and market contexts. It can be foreseen that this technology will have wider prospects in agricultural production and green building. In addition, seed priming can effectively restore or enhance seed viability and ensure successful retention of germplasm resources and subsequent development, especially for onion seeds that rapidly lose viability.

KEYWORDS:

onions; seed germination; seed priming; signs of seed quality

Введение

В настоящее время лук репчатый выращивают более чем в 140 странах. Крупнейшими мировыми производителями лука являются Китай, Индия, США и Турция. Высокая урожайность лука отмечена в таких странах, как Республика Корея (73,2 т/га) и Гайана (77,8 т/га) [1]. Современный (экономически оправданный) уровень урожайности лука достигает 46,4–51,7 т/га [2]. В России средняя урожайность лука репчатого находится на уровне 22,6 т/га, однако в передовых хозяйствах в однолетней культуре достигает до 100 т/га [2].

Выбор сортов лука из огромного разнообразия зависит от географического местоположения и агроклиматических условий климата, плодородия почвы, а также потребительских и рыночных предпочтений [4,5].

В коммерческих целях лук репчатый из семян выращивают в однолетней культуре. Семена лука покрыты тонкой оболочкой (теста), не имеют периода покоя и быстро (в течение 2–3 лет теряют всхожесть) [6]. Существует большой рыночный спрос на семена лука, обеспечивающие быстрое появление устойчивых всходов. Всхожесть таких семян лука должна быть выше 70 % [7]. К сожалению, семена лука характеризуются ограниченной продолжительностью хранения, что приводит к быстрой потере жизнеспособности [8].

Как отмечают исследователи [9] использование семян низкого качества приводят к изреженным и неравномерным всходам. В стрессовых условиях при ранневесеннем посеве такие семена дают большое число аномальных проростков. Качество семян лука зависит от условий окружающей среды во время роста семенных растений, расположения семян на материнском растении, методов и своевременности уборки урожая, условий хранения и предпосевной подготовки. Жизнеспособность и энергия при хранении сильно различаются в зависимости от сорта и даже партии семян [10, 11].

В подготовленной обзорной статье дается краткое описание различных подходов к праймированию, при этом внимание сосредоточено на следующем: (а) влияние праймирования семян на улучшенную всхожесть, развитие проростков и устойчивость к стрессам окружающей среды; (б) концепция признаков качества семян, перенесенная с модельных растений на лук репчатый; (с) недостатки, которые в настоящее время препятствуют полному использованию праймирования семян в конкретном секторе продовольственной цепочки лука репчатого.

Основные принципы и техника праймирования

Праймирование рассматривается как многообещающий прием поддержания жизнеспособности семян и быстрого получения всходов, в частности, лука. Праймирование, как способ предпосевной обработки семян, было впервые предложено W. Heydecker [12]. Понятие «праймирование семян» было введено в 1977 г. на Симпозиуме по проблемам семян в садоводстве (Sutton Bonington, Великобритания) и опубликовано в виде доклада на конференции [13]. W. Heydecker и его коллеги успешно применили для праймирования семян лука и моркови осмотический агент полиэтиленгликоль (ПЭГ), чтобы ускорить прорастание и повысить однородность всходов [13].

В 1977 году Международная ассоциация по тестированию семян (ISTA) определила «жизнеспособность семян» как комбинированное выражение тех свойств семян, которые определяют уровень активности и поведение семян или партий семян во время прорастания и появления всходов. В последующие годы тщательно изучены методы повышения жизнеспособности семян, и международное сообщество биологов семян постепенно приняло концепцию «праймирования семян». Методы праймирования семян постоянно совершенствовались и коммерциализировались как эффективный метод повышения силы роста семян [14–17].

Процесс праймирования семян требует контролируемого насыщения сухих семян водой так, чтобы обеспечить возобновление метаболической активности («предпрорастающий метаболизм»), перевести семена на продвинутую физиологическую стадию и усиливать некоторые ключевые молекулярные процессы, а именно антиоксидантную реакцию и репарацию ДНК. Последнее способствует сохранению целостности генома, необходимого для успешного прорастания [18].

Контролируемое насыщение семян водой (в том числе с добавлением различных праймировочных агентов), прекращают до того, как произойдет проклевывание семян (протрузия корешка), иначе семена потеряют способность устойчивого прорастания после высыхания. Подготовленные таким образом праймированные семена получают возможность пережить последующее обезвоживание или «высушивание», что приведет их к стандартной влажности для посева в поле или хранения [19].

Как отмечают Бухаров и др. [20], методы праймирования семян включают различные виды комплексной обработки, в том числе: гидропраймирование, осмопраймирование, праймирование твердой матрицей, биопраймирование, нутрипраймирование, гормональное праймирование, нанопраймирование, физическое праймирование, гибридное праймирование и другие приемы.

Гидропраймирование. Семена замачивают непосредственно в воде, и набухание происходит в строго контролируемых условиях (время, температура и подача кислорода). Этот экономичный и экологически безопасный подход к праймированию имеет некоторые ограничения, связанные с обрабатываемыми видами, сортами и партиями семян, поскольку каждый генотип обладает своей спецификой, которую следует оценивать, тщательно выявляя критический порог воздействия [21, 22].

Осмопраймирование. Семена погружают в раствор с низким водным потенциалом. Осмотическое давление воды регулируют путем изменения концентрации (водный потенциал) осмотического раствора, тем самым контролируя количество воды, поглощаемой семенами. Обычно используемые растворы включают осмотические агенты, такие как полиэтиленгликоль (PEG), полипропионат натрия (SPP), поливиниловый спирт (PVA) и соли (например, KNO_3 , $NaCl$) [23].

Твердое матричное праймирование. Семена смешивают с твердым субстратом и водой в определенном соотношении, чтобы имитировать почвенные

условия. Семена поглощают воду опосредованно через субстрат, который обеспечивает необходимый баланс влажности и скорость насыщения влагой. Наиболее часто используемыми субстратами являются вермикулит, песок, перлит, сланец и синтетический карбонат кальция. После завершения праймирования твердый матричный материал необходимо отделить, соблюдая осторожность, чтобы не повредить семена [24].

Биопраймирование. Полезные микроорганизмы добавляют в качестве средств защиты семян во время их гидратации. Их можно инкапсулировать на семена с помощью пленкообразователей или добавлять непосредственно в субстрат. Этот подход в большинстве случаев основан на использовании микроорганизмов, принадлежащих к родам *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus* и *Trichoderma* [25].

Нутрипраймирование. Метод предпосевной обработки семян, который включает замачивание семян в питательном растворе для улучшения их качества и увеличения содержания питательных веществ. Микронутриенты играют решающую роль в дыхании и фотосинтезе, которые необходимы для роста и развития растений. Любое нарушение этих процессов может привести к снижению роста и урожайности. Чтобы решить эту проблему, микроэлементы можно вносить непосредственно в семена посредством питательного праймирования [21].

Гормональное праймирование. В качестве праймирующих агентов используют фитогормоны, в том числе гиббереллины, абсцизовая кислота, цитокинины, салициловая кислота и жасмоновая кислота. Гормональное праймирование оказывает благотворное влияние, поскольку способствует выходу семян из состояния покоя и повышает устойчивость проростков к стрессу [26].

Нанопраймирование. Этот недавно разработанный метод основан на использовании наночастиц (NP) в качестве праймировочных агентов. До сих пор для обработки семян использовали широкий спектр NP, включая FeNP, AgNP, SiO₂NP, CuONP и ZnONP. Также доступны наночастицы на растительной основе в результате устойчивых процессов, которые производят безопасные наноматериалы для сельскохозяйственных применений [27-29].

Физическое праймирование. Семена обрабатывают физическими методами, такими как магнитные поля, ультразвуковые волны, ультрафиолетовые лучи, рентгеновские лучи, гамма-лучи и микроволны. Их основные преимущества заключаются в том, что это недорого, простые в управлении методы, они не выделяют загрязняющих веществ [30].

Особенности технологии праймирования семян лука репчатого. Для семян лука репчатого предложены различные протоколы праймирования. Ниже приведен краткий обзор результатов тестирования на луке репчатом наиболее эффективных методов.

При замачивании семян сорта лука репчатого Одинцовец 0,4%-ным раствором гидроперита и перекиси водорода урожайность повысилась на 4,5–4,9 т/га за счет увеличения полевой всхожести на 6–10% и ускорения прохождения отдельных фаз на 5–7 суток. Содержание сухого вещества в луковицах составило

13,0–13,3%, витамина С – 10,2–10,9 мг, сахара – 8,1–8,3%, нитратов – 22,8–23,1 мг/кг сырой массы [31].

R. H. Ellis и P. D. Butcher [32] протестировали осмопраймирование на различных партиях семян сортов White Lisbon и Senshy Semi Globe Yellow, впервые предоставив доказательства того, что генетические факторы и факторы окружающей среды способствуют реакции семян на обработку. Осмопраймирование сократило время для прорастания как при субоптимальных, так и при сверхоптимальных температурах для тестируемых сортов, однако наблюдаемый эффект зависел от партии семян.

Семена сортов Bronze Wonder, Challenger, Big Mac и White Keeper успешно осмопраймированы, что привело к улучшению всходов. На реакцию осмопраймированных семян в полевых экспериментах влияло повышение температуры почвы, что подчеркивает проблемы, связанные с высокой изменчивостью, зависящей от генотипа и партии семян [33].

Масштабное осмопраймирование семян достигнуто за счет оксигенации. Обработка в присутствии воздуха, обогащенного кислородом (до 75% O₂), приводила к увеличению процента всхожести [34]. Клеточное дыхание и энергетический обмен запускаются при впитывании и поддерживаются переносом кислорода через семенную оболочку. Поскольку снабжение кислородом может быть снижено в присутствии воды или осмотических агентов, что ставит под угрозу метаболическую активность, воздействие обогащенного кислородом воздуха используется для ускорения этих ключевых процессов и улучшения качества семян [35].

Обработка семян растворами трегалозы или раффинозы ускоряла скорость и однородность прорастания, в том числе в условиях абиотического стресса, например, засоления (100 mM NaCl), осмотического стресса (10% ПЭГ) и низкой температуры (15°C). Всхожесть праймированных семян увеличилась до 30–50%, тогда как необработанные семена показали низкую всхожесть (2%) [36].

Нутрипраймирование 0,5% ZnSO₄ и гормональное праймирование 0,2% метионином, применяемое к семенам лука, способствовали устойчивости к солевому стрессу, о чем свидетельствует увеличение процента всхожести, продукции сухого вещества и индекса силы роста. Семена, подвергнутые нутрипраймированию, показали усиленное деление клеток и скорость удлинения в корневой меристеме, что было выявлено с помощью сканирующей электронной микроскопии, и они были способны выдерживать условия низкой влажности (водоудерживающая способность 20%) и солевого стресса (до 0,75 % NaCl) [37].

Дополнительная ценность цинка в качестве праймировочного агента зависела от его роли в качестве незаменимого микроэлемента в контроле нескольких физиологических, биохимических и молекулярных процессов, среди которых прорастание, с положительным влиянием на рост растений, урожайность и качество питания [38].

Диаметр и масса луковиц, влияющих на урожайность, значительно улучшены за счет гормонального праймирования 100 ppm GA₃ и галопраймирования 3% KNO₃ у сорта Agrifound Dark Red [39].

Гиббереллиновая кислота (GA_3) способствует выходу семян из состояния покоя, прорастанию, росту клеток и растений также в условиях засоления и засухи, вызывая антиоксидантную защиту и накопление пролина [40].

R. Caseiro и коллеги [41] сравнили влияние осмопраймирования аэрированным раствором полиэтиленгликоля (ПЭГ) 8000 (-0,5 МПа, -0,1 МПа), гидропраймирования и барабанного праймирования на скорость и процент прорастания в шести партиях семян разного качества. Хотя гидропраймирование и осмопраймирование давали наилучший ответ, наиболее рентабельным методом было барабанное праймирование.

Гормональное праймирование салициловой кислотой в концентрации 50 мкМ способно увеличить всхожесть и показатели роста сорта IPA 11 в условиях водного и солевого стресса. Проростки, полученные из праймированных семян, показали повышенную способность к осмотической адаптации в условиях сильного водного стресса, индуцированного ПЭГ (-0,2 МПа), и индуцированного NaCl стресса (-0,4 МПа) за счет увеличения содержания пролина и растворимых сахаров [42].

Осмопраймирование ПЭГ способно смягчить последствия старения хранящихся семян лука, в то время как обработка, проведенная после старения, не улучшила жизнеспособность семян [43]. Вредные эффекты старения были ослаблены в семенах сорта Punjab Red-48, подвергнутых осмопраймированию 25% ПЭГ. В обработанных семенах наблюдали повышенный уровень антиоксидантов, например, токоферолов и аскорбиновой кислоты, а также антиоксидантной активности каталазы и пероксидазы [44].

Влияние различных обработок праймирования семян (гидропраймирование плюс сухое покрытие тирамом 2 г/кг; гормональное праймирование 50 ppm GA_3 ; осмопраймирование 0,5% KNO_3 и 0,5% KH_2PO_4 соответственно; биопраймирование азотобактером) оценивали на семенах естественного старения (сорта Hisar-2, Hisar Onion-3 и Hisar Onion-4). GA_3 является лучшим агентом праймирования для улучшения качества семян тестируемых сортов, за которой следуют биопраймирование, гидропраймирование и дражирование. Доказано, что гормональное праймирование и биопраймирование повышают жизнеспособность семян при годовом хранении [45].

Всхожесть семян с длительным сроком хранения сорта Arka Kalyan улучшалась при осмопраймировании ПЭГ (-1,5 МПа), тогда как свежие семена были более чувствительны к опосредованному GA_3 гормональному праймированию. Отмечены различные эффекты тестируемых праймеров, наблюдаемые в свежих и выдержанных семенах лука, соответственно, и необходимость расширения диапазона протоколов для ускорения поиска наиболее экономически эффективных решений [46].

Лук репчатый стал объектом недавно разработанной зеленой нанотехнологии для условий точного земледелия. Наночастицы серебра и золота (AgNP, AuNP) доставляли к состарившимся семенам лука. Инструментальный нейтронно-активационный анализ и газовая хроматография-масс-спектрометрия показали, что наночастицы были интернализованы (проникали в

клетки), что привело к повышению всхожести как в тепличных, так и в полевых условиях и связано с повышенной пероксидазной активностью [47].

Предпосевная обработка семян лука репчатого сорта Стригуновский местный препаратами Пробиотик (1:100) и Экоорганика (0,1%), с содержанием AgNP (30 ppm) способствовала выходу севка с диаметром 15,1–22 мм от 71,5 % до 84,0%. Использование препаратов для предпосевной обработки семян лука репчатого способствовало получению оздоровленного посадочного материала [48].

Известно об эффективном использовании магнитного поля в качестве простого, недорогого и неинвазивного физического метода стимуляции прорастания сельскохозяйственных культур [30]. Описано влияние статического магнитного поля на прорастание семян гибрида Yellow Granex PRR и рост проростков. При воздействии на семена статических магнитных полей 10 и 21 мТл (миллиТесла) в течение увеличивающегося времени (0,5, 3, 6, 12 и 24 ч) существенных различий в прорастании, сухой или сырой массе не наблюдалось. Есть данные об увеличении длины проростков, полученных из магнитопраймированных семян [49]. Коммерческие партии семян сортов Octavia и Eureka, подвергнутые низкочастотному магнитному полю (LFMF), показали улучшенную всхожесть. Праймированные семена подвергали воздействию LFMF (20 мТл) в течение 10, 30 и 60 минут, тестировали на прорастание, а полученные луковицы анализировали на длину корня, максимальный диаметр, содержание сухого вещества и кверцетина [50]. Предпосевная обработка семян лука-батун комбинированным постоянным магнитным полем (КПМП) ($B=50$ мкТл) вызывала отрицательный геотропизм у проростков. Длина корешка пророста достоверно снижалась относительно контрольного значения после обработки семян КПМП полем с различными экспозициями (от 1 до 24 ч). А. Г. Хныкина и Е. И. Рубцова [51] исследовали влияние импульсного электрического поля на посевные качества семян лука. Для предпосевной обработки семян было использовано несколько генераторов импульсного электрического поля и проведена сравнительная оценка влияния импульсного электрического поля высокого и низкого напряжения. Предложенный авторами активатор (камера для обработки семян) позволил исключить потери напряжения на воздушном зазоре между семенами и потенциальным электродом, что значительно повысило эффективность предпосевной обработки семян импульсным электрическим полем. Обработка семян лука импульсным электрическим полем не только повысила посевные качества, но и привела к появлению всходов на 2 суток раньше, чем у семян контрольного варианта [52, 53]. К недостаткам данного приема обработки семян следует отнести искаженную форму импульса с затянутыми фронтами, что затрудняло расчет дозы воздействия и длительность импульса.

Таким образом, в настоящее время ведется активный поиск эффективных методов праймирования семян применительно к луку репчатому. Расширяется набор методов, в которых используются прогрессивные знания, полученные на других модельных объектах и сельскохозяйственных культурах. Ожидается, что объем информации о праймировании семян будет увеличиваться, особенно если усилия фундаментальных и

прикладных исследований будут объединены, а инновационные инструменты (например, омики) будут использоваться для изучения динамики прегерминативного (предвсходового) метаболизма.

Коммерческое использование праймирования семян лука репчатого

В последние годы применение технологии праймирования семян в коммерческом производстве семян быстро развивалось и число семеноводческих компаний, использующих различные технологии праймирования, увеличивается. Целевые виды включают семена овощных культур и декоративных растений, обладающих тугорослостью. Некоторые компании также начали производить материалы для обработки, используемые для протравливания семян, на основе расщепленных крахмалов и аминокислот растительного происхождения. Это дает возможность использования обработки семян в органическом земледелии. В этом сценарии коммерческий сектор, занимающийся выращиванием лука репчатого, по-прежнему ограничен. В мире основные компании, занимающиеся производством лука репчатого, расположены в Европе. Италия является основным компонентом, где занимается 8 компаний. За пределами Европы 12 компаний находятся в США, 8 – в Китае и 6 – в Индии. В настоящее время доступно к широкому использованию лишь несколько рецептов, предназначенных для производственной обработки семян лука репчатого, разработанных ведущими голландскими семеноводческими компаниями (табл.).

ства данного метода (простая процедура в сочетании с низкой стоимостью применения) должны справляться с основным ограничением технологии праймирования, которое носит эмпирический характер и не всегда воспроизводимо. Как следствие, работа операторов семенных компаний затягивается, а поиск инновационных решений становится приоритетом. Учитывая эти проблемные вопросы, также очевидно, что до сих пор мало внимания уделялось праймированию семян лука репчатого. Это несомненно будет способствовать активизации работы селекционеров, технологов-семеноводов, агрономов, исследователей, действующих на разных уровнях производственной цепочки лука репчатого. Следует активизировать финансовые и практические усилия для ускорения фундаментальных и прикладных исследований в этой области с использованием уже имеющейся информации о динамике предвсходового метаболизма у наиболее изученных модельных и сельскохозяйственных растений.

Праймирование семян по-разному влияет на разные виды и даже сорта растений. Положительный результат обработок зависит от генотипа и партии семян. В некоторых случаях после праймирования наблюдаются отрицательные эффекты. Уменьшение срока жизни семян после праймирования представляют собой один из основных недостатков технологии. Следует учитывать, что до настоящего времени неизвестны глубинные механизмы, лежащие в основе реакции семян на праймирование, которые определяют основы технологии. Однако в последние годы появились новые техно-

Таблица. Доступные коммерческие продукты для улучшения семян лука репчатого
Table. Available commercial products for onion seed improvement

Коммерческое название продукта Commercial name of the product	Описание Description	Компания (город, страна) Company (city, country)
Promotor onion	Адаптированный протокол праймирования для повышения скорости появления всходов, приводит к более равномерному прорастанию	Incotec (Enkhuizen, Нидерланды) [54]
Incotec 118 Special	Растворимая таблетка, обеспечивающая быстрый доступ семян к кислороду в сочетании с праймированием для более быстрого и равномерного прорастания	Incotec (Enkhuizen, Нидерланды) [54]
B-Mox®	Формула, улучшающая качество семян, способствует прорастанию и росту проростков (улучшение на 5 % по сравнению со стандартным праймированием)	Bejo (Warmenhuizen, Нидерланды) [55]

Проблемные вопросы и перспективы развития технологии праймирования

При обобщении результатов экспериментальной деятельности, проведенной для оценки влияния праймирования семян лука репчатого, осмопраймирование на основе ПЭГ оказалось основным используемым методом, хотя очевидно, что усилия до сих пор не сводились к единому универсальному протоколу. Скорее, глядя на детали различных обработок, есть много параметров (молекулярная масса и концентрация ПЭГ, температура, время, наличие/отсутствие аэрации или даже обогащенного воздуха), которые необходимо отрегулировать в зависимости от генотипа и/или партии семян. В действительности, основные преимуще-

логи праймирования семян, некоторые из них еще не прошли валидацию для коммерческого использования. Наиболее широко применяемые способы праймирования основаны на замачивании семян в растворах минеральных солей. Основные вопросы, которые необходимо решить, касаются наиболее подходящего использования праймирования семян, – затрат на крупномасштабное применение и стратегий улучшения его характеристик. Все это пока открытые вопросы. Следовательно, необходимы более глубокие фундаментальные и прикладные исследования, для лучшего понятия механизма праймирования семян и выявления положительных эффектов праймирования в полевых условиях и в дальнейшем расширения его коммерческого применения.

• Литература

1. FAOSTAT. Onion Production, Area and Productivity. 2021. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed on 12 May 2024).
2. Lyngkhai F., Saini N., Gaikwad A.B., Thirunavukkarasu N., Verma P., Silvar C., Yadav S., Khar A. Genetic diversity and population structure in onion (*Allium cepa* L.) accessions based on morphological and molecular approaches. *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2021;(27):2517–2532. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01101-3>
3. Соловьева О.А. Технология возделывания репчатого лука при капельном орошении. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2022;1(65):171–179. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-16> <https://elibrary.ru/jtiqry>
4. Villano C., Esposito S., Carucci F., Iorizzo M., Frusciante L., Carputo D., Aversano R. High-throughput genotyping in onion reveals structure of genetic diversity and informative SNPs useful for molecular breeding. *Mol. Breed*. 2019;(39):5. <https://doi.org/10.1007/s11032-018-0912-0>
5. Ren F., Zhou S. Phenolic components and health beneficial properties of onions. *Agriculture*. 2021;(11):872. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090872>
6. Padula G., Xia X.Z., Holubowicz R. Welsh onion (*Allium fistulosum* L.) seed physiology, breeding, production and trade. *Plants*. 2022;(11):343. <https://doi.org/10.3390/plants11030343>
7. FAO. Seed and Seed Quality: Technical Information for FAO Emergency Staff; FAO Seed and Plant Genetic Resources Service: Rome, Italy, 2006.
8. Khan M., Javed Iqbal M., Abbas M., Raza H., Waseem R., Arshad A. Loss of vigour and viability in aged onion (*Allium cepa* L.) seeds. *Int. J. Agric. Biol.* 2004;(6):708–771.
9. Borowski E., Michalek S. The effect of seed conditioning on the emergence and early growth of onion and carrot seedlings. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Setio EEE*. 2006;(16):119–129.
10. Brar N.S., Kaushik P., Dudi B.S. Assessment of natural ageing related physio-biochemical changes in onion seed. *Agriculture*. 2019;(9):163. <https://doi.org/10.3390/agriculture9080163>
11. Hourston J.E., Pérez M., Gawthrop F., Richards M., Steinbrecher T., Leubner-Metzger G. The effects of high oxygen partial pressure on vegetable *Allium* seeds with a short shelf-life. *Planta*. 2020;(251):105. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03398-y>
12. Heydecker W., Higgins J., Gulliver R.L. Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature*. 1973;(246):42–44.
13. Heydecker W., Gibbins B.M. The 'priming' of seeds. *Acta Hort.* 1978;(83):213–215.
14. Waterworth W.M., Bray C.M., West C. E. Seeds and the art of genome maintenance. *Front. Plant Sci.* 2019;(10):706. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00706>
15. Harris D., Pathan A.K., Gothkar P., Joshi A., Chivasa W., Nyamudeza P. On-farm seed priming: Using participatory methods to revive and refine a key technology. *Agric. Syst.* 2021;(69):151–164. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00023-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00023-3)
16. Paul S., Dey S., Kundu R. Seed priming: An emerging tool towards sustainable agriculture. *Plant Growth Regul.* 2022;(97):215–234. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00761-1>
17. Pagano A., Macovei A., Xia X., Padula G., Holubowicz R., Balestrazzi A. Seed Priming Applied to Onion-Like Crops: State of the Art and Open Questions. *Agronomy*. 2023;(13):288. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020288>
18. Bray C.M. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. In *Seed Development and Germination*; Kigel, J., Galili, G., Eds.; Dekker, M. Inc.: New York, NY, USA, 1995; pp. 767–789.
19. Paparella S., Araujo S.S., Rossi G., Wijayasinghe M., Carbonera D., Balestrazzi A. Seed priming: State of the art and new perspectives. *Plant Cell Rep.* 2015;(34):1281–1293. <https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y>
20. Янченко А.В., Бухаров А.Ф., Федосов А.Ю. Прайминг – инновационное развитие методологии подготовки семян к посеву (обзор). *Овощи России*. 2023;(5):28–36. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-05-28-36> <https://elibrary.ru/rgdvqz>
21. Farooq M., Usman M., Nadeem F., Rehman H., Wahid A., Basra S.M.A., Siddique K.H.M. Seed priming in field crops: Potential benefits, adoption and challenges. *Crop Pasture Sci.* 2019;(70):731–771. <https://doi.org/10.1071/CP18604>
22. Sarkar D., Singh S., Parihar M., Rakshit A. Seed bio-priming with microbial inoculants: A tailored approach towards improved crop performance, nutritional security, and agricultural sustainability for smallholder farmers. *Curr. Res. Environ. Sustain.* 2021;(3):100093. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100093>
23. Madsen M.D., Svejcar L., Radke J., Hulet A. Inducing rapid seed germination of native cool season grasses with solid matrix priming and seed extrusion technology. *PLoS ONE*. 2018;(13):e0204380. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204380>
24. Rhaman M.S., Imran S., Rauf F., Khatun M., Baskin C.C., Murata Y., Hasanuzzaman M. Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*. 2021;(10):37. <https://doi.org/10.3390/plants10010037>
25. Mahakham W., Sarmah A.K., Maensiri S., Theerakulpisut P. Nanopriming technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Sci. Rep.* 2017;(7):8263. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08669-5>
26. El-Badri A.M.A., Batool M., Mohamed I.A.A., Khatab A., Sherif A., Wang Z.K., Salah A., Nishawy E., Ayaad M., Kuai J., et al. Modulation of salinity impact on early seedling stage via nano-priming application of zinc oxide on rape seed (*Brassica napus* L.). *Plant Physiol. Biochem.* 2021;(166):376–392. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.040>
27. Shelar A., Singh A.V., Maharjan R.S., Laux P., Luch A., Gemmati D., Tisato V., Singh S.P., Santilli M.F., Shelar A., et al. Sustainable Agriculture through Multidisciplinary Seed Nanopriming: Prospects of Opportunities and Challenges. *Cells*. 2021;(10):2428. <https://doi.org/10.3390/cells10092428>
28. Amritha M.S., Sridharan K., Puthur J.T., Dhankher O.M. Priming with nanoscale materials for boosting abiotic stress tolerance in crop plants. *J. Agric. Food Chem.* 2021;(69):10017–10035. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c03673>
29. Белова С.В., Янченко А.В. Эффективность праймирования семян моркови (*Daucus carota* L.) с применением нанокмполитов металлополимеров в неводных растворителях. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2023;(106):197–202. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-106-197-202> <https://elibrary.ru/crdvkr>
30. Araújo S.S., Paparella S., Dondi D., Bentivoglio A., Carbonera D., Balestrazzi A. Physical methods for seed invigoration: Advantages and challenges in seed technology. *Front. Plant Sci.* 2016;(7):646. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646>
31. Козлов И.И., Кунавин Г.А. Применение биологически активных веществ при выращивании лука репчатого. *Аграрный вестник Урала*. 2011;(382):69–70. <https://elibrary.ru/pajrnf>
32. Ellis R.H., Butcher P.D. The effects of priming and 'natural' differences in quality amongst onion seed lots on the response of the rate of germination to temperature and the identification of the characteristics under genotypic control. *J. Exp. Bot.* 1988;(39):935–950.
33. Murray G.A., Swensen J.B., Beaver G. Emergence of spring- and summer-planted onions following osmotic priming. *Hortscience*. 1992;(27):409–410.
34. Bujalski W., Nienow A.W. Large-scale osmotic priming of onion seeds: A comparison of different strategies for oxygenation. *Sci. Hortic.* 1991;(46):13–24.
35. Edelstein M., Welbaum G.E. Seed O₂ uptake and germination of cold-tolerant and cold-intolerant cultivars of muskmelon. *Crop Sci.* 2011;(51):810–817.
36. Horita M., Saruyama H. Acceleration of germination of onion seeds by priming treatment with trehalose and raffinose. *Hortic. Res.* 2006;(5):75–78.
37. Saranya N., Renugadevi J., Raja K., Rajashree V., Hemalatha G. Seed priming studies for vigour enhancement in onion CO onion (5). *J. Pharm. Phytochem.* 2017;(6):77–82.
38. Veena M., Puthur J.T. Seed nutrimpriming with zinc is an apt tool to alleviate malnutrition. *Environ. Geochem. Health.* 2022;(44):2355–2373. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01054-2>

39. Thejeshwini B., Manohar Rao A., Hanuman Nayak M., Sultana R. Effect of seed priming on plant growth and bulb yield in onion (*Allium cepa* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2019;(8):1242–1249. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.131>
40. Khan M.N., Khan Z., Luo T., Liu J., Rizwan M., Zhang J., Xu Z.; Wu H., Liyong Hu L. Seed priming with gibberellic acid and melatonin in rapeseed: Consequences for improving yield and seed quality under drought and non-stress conditions. *Ind. Crops Prod.* 2020;(156):112850. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112850>
41. Caseiro R., Bennet M.A., Marcos-Filho J. Comparison of three priming techniques for onion seed lots differing in initial seed quality. *Seed Sci. Technol.* 2004;(32):365–375.
42. Da Silva J.E.S.B., de Paiva E.P., Leite M.d.S., Torres S.B., de Souza Neta M.L., Guirra K.S. Salicylic acid in the physiological priming of onion seeds subjected to water and salt stress. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 2019;(23):219–224.
43. Dearman J., Brocklehurst P.A., Drew R.L.K. Effects of osmotic priming and ageing on onion seed germination. *Ann. Bot.* 1986;(108):639–648.
44. Basra A.S., Singh B., Malik C.P. Amelioration of the effects of ageing in onion seeds by osmotic priming and associated changes in oxidative metabolism. *Biol. Plant.* 1994;(36):365–371.
45. Brar N.S., Kaushik P., Dudi B. Effect of seed priming treatment on the physiological quality of naturally aged onion (*Allium cepa* L.) seeds. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 2019;(18):849–862.
46. Muruli C.N., Bhanuprakash K., Channakeshava B.C. Impact of seed priming on vigour in onion (*Allium cepa* L.) seeds. *J. Appl. Hortic.* 2016;(18):68–70. <https://doi.org/10.37855/jah.2016.v18i01.15>
47. Acharya P., Jayaprakash G.K., Crosby K.M., Jifon J.L., Patil B.S. Green-synthesized nanoparticles enhanced seedling growth, yield, and quality of onion (*Allium cepa* L.). *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2019;(7):14580–14590. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b02180>
48. Коцарева Н.В., Шабетя О.Н., Ореховская Т.А. Влияние предпосевной обработки семян на структуру урожая лука репчатого. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии.* 2018;(4):54–58. <https://elibrary.ru/uqkita>
49. Morillo-Coronado A.C., Martinez-Anzola H.G., Velandia-Diaz J.D., Morillo-Coronado Y. Effects of static magnetic fields on onion (*Allium cepa* L.) seed germination and early seedling growth. *Rev. Ciencia Agric.* 2022;(39):30–41. <https://doi.org/10.22677/rcia.223901.169>
50. Hołubowicz R., Kubisz L., Gauza M., Tong Y., Hojan-Jezierska D. Effect of low frequency magnetic field (LFMF) on the germination of seeds and selected useful characteristics of onion (*Allium cepa* L.). *Not. Bot. Hortic. Agrobot.* 2014;(42):168–172. <https://doi.org/10.15835/nbha4219131>
51. Хныкина А.Г., Рубцова Е.И. Зависимость посевных качеств овощных культур от чистоты следования импульсов при их предпосевной обработке импульсным электрическим полем / Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона: сб. науч. тр. по материалам VII Всероссийской науч.-практ. конф. Ставрополь, 2012. С.115–123.
52. Оськин С.В., Хныкина А.Г., Рубцова Е.И. Необходимость повышения посевных качеств мелкосеменных овощных культур ИЭП. *Университет. Наука. Идеи и решения.* 2010;(1):3. <https://elibrary.ru/tyllxv>
53. Ливинский С.А., Стародубцева Г.П., Афанасьев М.А. Преобразователь напряжения для установки предпосевной обработки семян. *Вестник АПК Ставрополя.* 2016;4(24):35–39. <https://elibrary.ru/xwyxjx>
54. <https://www.incotec.com/> Available online (accessed on 12 May 2024)
55. <https://www.bejo.com/> Available online (accessed on 12 May 2024)

• References (In Russ.)

3. Solovyeva O.A. Onion cultivation technology under drip irrigation. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education.* 2022;(65):171–179. (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-16> <https://elibrary.ru/jtiqiy>
20. Yanchenko A.V., Bukharov A.F., Fedosov A.Y. Priming – innovative development of methodology preparation of seeds for sowing (review). *Vegetable crops of Russia.* 2023;(5):28–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-05-28-36> <https://elibrary.ru/rgdvqz>
29. Belova S.V., Yanchenko A.V. Effectiveness of carrot (*Daucus carota* L.) seed priming using nanocomposites of metallopolymers in non-aqueous solvents. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2023;(106):197–202. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1999-1703-106-197-202> <https://elibrary.ru/crdvkr>
31. Kozlov I.I., Kunavin G.A. Use of biologically active substances in growing onions. *Agrarian bulletin of the Urals.* 2011;3(82):69–70. (In Russ.) <https://elibrary.ru/pajrnf>
48. Kotsareva N.V., Shabetya O.N., Orekhovskaya T.A. Effect of pre-sowing seed treatment on the structure of onion yield. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy.* 2018;(4):54–58. (In Russ.) <https://elibrary.ru/uqkita>
51. Khnykina A.G., Rubtsova E.I. Dependence of the sowing qualities of vegetable crops on the purity of pulses during their pre-sowing treatment with a pulsed electric field / New technologies in agriculture and the food industry using electrophysical factors and ozone: collection. scientific tr. based on materials from the VII All-Russian Scientific and Practical Conference. conf. Stavropol, 2012. P.115–123. (In Russ.)
52. Oskin S.V., Khnykina A.G., Rubtsova E.I. The need to improve the sowing qualities of small-seeded vegetable crops IEP. *University. The science. Ideas and solutions.* 2010;(1):3. (In Russ.) <https://elibrary.ru/tyllxv>
53. Livinsky S.A., Starodubtseva G.P., Afanasyev M.A. Voltage converter for installation of pre-sowing seed treatment. *Agricultural bulletin of Stavropol region* 2016;4(24):35–39. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xwyxjx>

Об авторах:

Алексей Владимирович Янченко – кандидат с.-х. наук, заведующий лабораторией физиологических основ семеноведения, <https://orcid.org/0000-0002-1031-9459>, SPIN-код: 2128-9539

Александр Федорович Бухаров – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник сектора семеноведения, <https://orcid.org/0000-0003-1910-5390>, Scopus ID 57193127775, Researcher ID J-6605-2018, afb56@mail.ru

Александр Юрьевич Федосов – младший научный сотрудник сектора земледелия, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>, ffed@rambler.ru

Мария Ивановна Иванова – доктор с.-х. наук, профессор РАН, главный научный сотрудник сектора селекции и семеноводства луковых культур, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, автор для переписки, ivanova_170@mail.ru

Александр Михайлович Меньших – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник сектора земледелия, <https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, SPIN-код: 8471 3584, Researcher ID: J-4664-2018, Scopus Author ID: 57222652225, soulsunnet@yandex.ru

Софья Викторовна Белова – младший научный сотрудник сектора агрохимии, <https://orcid.org/0000-0001-9338-8419>, SPIN-код: 4808-9461

About the Authors:

Alexey V. Yanchenko – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Physiological Foundations of Seed Science, <https://orcid.org/0000-0002-1031-9459>, SPIN-code: 2128-9539

Alexander F. Bukharov – Dr. Sci. (Agriculture), Chief scientific sector of Seed Science, <https://orcid.org/0000-0003-1910-5390>, Scopus ID 57193127775, Researcher ID J-6605-2018, afb56@mail.ru

Alexander Yu. Fedosov – Junior Researcher, Agriculture Sector, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>, ffed@rambler.ru

Maria I. Ivanova – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Sector of Breeding and Seed Production of Onion Crops, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, Correspondence Author, ivanova_170@mail.ru

Aleksandr M. Menshikh – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Agriculture Sector, SPIN-code: 8471-3584, <https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, Researcher ID: J-4664-2018, Scopus ID: 57222652225, soulsunnet@yandex.ru

Sofya V. Belova – Junior Researcher, Agrochemistry Sector, <https://orcid.org/0000-0001-9338-8419>, SPIN-code: 4808-9461

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-38-44>
УДК: 635.9:631.547.4

А.И. Соколкина^{1*}, О.Е. Ханбабаева²,
В.Л. Кудусова³, В.Н. Сорокопудов⁴

¹ ФГБОУ ВО Российский Государственный
Аграрный Университет – Московская
Сельскохозяйственная Академия
им. К.А. Тимирязева (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА)
127550, РФ, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

² БУ ВО Ханты-Мансийского автономного
округа – Югры Сургутский государственный
университет (БУ ВО «СурГУ»)
628412, Ханты-Мансийский автономный
округ – Югра, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1

³ ФГБУН Главный ботанический сад
им. Н.В. Цицина Российской
академии наук (ФГБУН ГБС РАН)
127276, РФ, г. Москва, Ботаническая ул., 4

⁴ Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Всероссийский научно-
исследовательский институт лекарственных и
ароматических растений» (ФГБНУ ВИЛАР)
117216, РФ, г. Москва, ул. Грина, 7

*Автор для переписки:
sokolkina@rgau-msha.ru

Конфликт интересов. Авторы подтверждают
отсутствие конфликта интересов при написа-
нии данной работы.

Вклад авторов: А.И. Соколкина: проведение
исследований, анализ литературных источни-
ков и методик, написание рукописи.
О.Е. Ханбабаева: научное руководство иссле-
дованием, курирование и валидация данных,
правка и оформление текста. В.Л. Кудусова:
проведение исследований, курирование кол-
лекций в открытом грунте, подготовка и сбор
фотоматериалов. В.Н. Сорокопудов: рецензи-
рование и редактирование рукописи.

Для цитирования: Соколкина А.И., Ханбабаева
О.Е., Кудусова В.Л., Сорокопудов В.Н.
Изучение биологических особенностей цвете-
ния культуры флокс метельчатый (*Phlox
paniculata* L.). Овощи России, 2024;(5):38-44.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-38-44>

Поступила в редакцию: 20.05.2024

Принята к печати: 12.09.2024

Опубликована: 27.09.2024

Anastasia I. Sokolkina^{1*}, Olga E. Khanbabayeva²,
Valentina L. Kudusova³, Vladimir N. Sorokopudov⁴

¹ Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural
Academy (RSAU-MTAA)
49, Timiryazevskaya st., Moscow, Russia, 127434

² Surgut State University (SurGU)
1 Lenin Avenue, Surgut, Khanty-Mansi
Autonomous Okrug – Ugra, Russia, 628403

³ Tsitsin's Main Botanical Garden
of the Russian Academy of Sciences
4, Botanicheskaya st., Moscow, 127276, Russian
Federation

⁴ All-Russian Research Institute
of Medicinal and Aromatic Plants
7, Grin str., Moscow, Russia, 117216

*Corresponding Author: sokolkina@rgau-msha.ru

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

Authors' Contribution: A.I. Sokolkina: conducting
research, analyzing literary sources and methods,
writing the manuscript. O.E. Khanbabayeva: scien-
tific supervision of the study, curation and valida-
tion of data, editing and design of the text. V.L.
Kudusova: conducting research, curating outdoor
collections, preparing and collecting photographic
materials. V.N. Sorokopudov: reviewing and edit-
ing the manuscript.

For citation: Sokolkina A.I., Khanbabayeva O.E.,
Kudusova V.L., Sorokopudov V.N. The research of
the *Phlox paniculata* L. flowering biological fea-
tures. Vegetable crops of Russia, 2024;(5):38-44.
(In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-38-44>

Received: 20.05.2024

Accepted for publication: 12.09.2024

Published: 27.09.2024

Изучение биологических особенностей цветения культуры флокс метельчатый (*Phlox paniculata* L.)

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Для удовлетворения спроса отечественного потребителя и эффективного импортозамещения сортов иностранной селекции необходимо выведение новых сортов флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.), обладающих высокой декоративностью, устойчивостью к неблагоприятным факторам среды и неприхотливостью. Условием успешного полового размножения растений для получения новых форм и сортов является продуцирование фертильной, морфологически полноценной пыльцы.

Материал и методика. Цель работы – изучение биологических особенностей цветения и опыления флокса метельчатого в рамках оптимизации селекционного процесса и отбора перспективных родительских пар. Исследования проводили на протяжении 2 лет (2022-2023 годы) в условиях открытого грунта на базе биоресурсной коллекции отечественных сортов флокса метельчатого ГБС РАН им. Н.В. Цицина. Особенности биологии цветения и опыления изучали в фазу массового цветения у 11 отобранных по перспективности для селекции сортов с использованием методов оценки жизнеспособности пыльцы окрашиванием ацетокармином и по методу М. Alexander.

Результаты. В ходе исследований был установлен ряд хозяйственно ценных признаков флокса метельчатого: вариативность строения соцветия и морфологии цветка; длительность цветения (35 и более суток); разные сроки начала цветения (с середины июня до конца августа); способность некоторых сортов к повторному цветению. Установлено, что метод окрашивания пыльцы по Александру более чувствительный, чем окрашивание ацетокармином, и позволяет точнее дифференцировать окрашенные пыльцевые зерна по степени фертильности. Для проведения искусственного опыления и гибридизации у флокса рекомендуется использовать свежую пыльцу, собранную из распустившихся и увядающих цветков. Именно в этих фазах показатель фертильности пыльцы у некоторых сортов превысил 50% от общей массы. В результате исследования выделены наиболее перспективные сорта-опылители с высоким уровнем фертильности пыльцы: Сказка (71,2%), Оленька (63,2%) и Гегеры (66,7%). Установлена перспектива использования сорта Манон как источника мужской стерильности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

флокс метельчатый, биология цветения, синфлоресценция, фертильность пыльцы, морфология цветка

The research of the *Phlox paniculata* L. flowering biological features

ABSTRACT

Relevance. To meet the demand of the domestic consumer and the effective import substitution of foreign breeding varieties, Garden phlox (*Phlox paniculata* L.) needs to breed new varieties with high decorative properties, stability and unpretentiousness. A prerequisite for successful generative reproduction of flowering plants to obtain new forms and varieties is the production of fertile, morphologically complete pollen.

Methodology. The purpose of this work is to study the biological features of garden phlox flowering and pollination as part of the breeding process optimization and selecting promising parent pairs. The research was carried out for 2 years (2022-2023) in open ground conditions on the basis of the garden phlox domestic varieties bioresource collection on the territory of the Tsitsin's Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. The peculiarities of the varieties flowering and pollination biology, by assessing the viability of pollen, were studied during the mass flowering phase in 11 varieties selected for their prospects for breeding using methods for assessing pollen viability by staining pollen with acetocarmine and using the M. Alexander method.

Results. During the research, a number of garden phlox economically valuable features were established: variability structure of the inflorescence and flower morphology; duration of flowering (35 days or more); different periods of flowering (from mid-June to the end of August); the ability of some varieties to bloom again. It was found that the Alexander's pollen staining method is more sensitive than acetocarmine staining, and allows for more accurate differentiation of colored pollen grains according to their fertility degree. For artificial pollination and hybridization in phlox, it is recommended to use fresh pollen collected from blooming and fading flowers, since it is in these phases that the pollen fertility index in some varieties exceeded 50% of the total weight. According to the results of the conducted research, the most promising pollinator varieties with a high level of pollen fertility were identified: Skazka (71.2%), Olenka (63.2%) and Gegery (66.7%). The prospect of using the Manon variety as a source of male sterility has been established.

KEYWORDS:

Phlox paniculata, flowering biology, synflorescences, pollen fertility, flower morphology

Введение

Флокс метельчатый (*Phlox paniculata* L.) — это многолетнее травянистое растение семейства Синюховые (*Polemoniaceae* Juss.), родиной которого является Северная Америка [1, 2]. Флокс имеет прямостоячий стебель, достигающий высоты 2 метра, цельнокрайние листья, сидячей ланцетной или овально-ланцетной формы, правильные цветки, собранные в метельчатые соцветия, различные по размеру, плотности и форме, цветение длительное [1]. В средней полосе РФ флокс зарекомендовал себя как эффектное садовое высокдекоративное растение, выращиваемое в отечественных садах уже более 100 лет [2, 3].

Флокс метельчатый — перспективная декоративная культура для использования в озеленении: благодаря разнообразию сортов и окрасок, неприхотливости, морозостойкости и приспособленности к различным типам почв [2, 4].

В условиях импортозамещения особенно важно проводить целенаправленную селекцию данной культуры для получения устойчивых к городским условиям, вредителям и болезням новых отечественных сортов, способных не только удовлетворить отечественного потребителя, но и составить серьёзную конкуренцию популярным иностранным селекционным достижениям [5, 6].

Обязательным условием успешного полового размножения цветковых растений для получения новых форм и сортов является продуцирование фертильной, морфологически полноценной пыльцы. Данный процесс контролируется ядерными и цитоплазматическими генами, при нарушении работы которых в ходе мутаций происходят anomalies в формировании мужской генеративной сферы. Образование качественной пыльцы является важным фактором, обеспечивающим нормальное оплодотворение и дальнейшее развитие завязавшихся семян [7, 8]. Пыльцевые зерна обладают уникальными биологическими характеристиками и содержат большое количество генетической информации, из-за чего в некоторых исследованиях их предлагают использовать для идентификации видов и сортов некоторых сельскохозяйственных культур [8].

Кроме внутренних механизмов растительного организма на формирование качественных пыльцевых зёрен активно воздействует ряд внешних факторов: температурный и световой режим, влажность и загрязненность среды [7, 9-11]. В современных исследованиях пыльцевой анализ предлагают использовать в качестве компо-

нента фитоиндикации [12]. Связано это с тем, что в пыльце растений, распространенных на загрязненных территориях, наблюдаются негативные изменения структуры пыльцевого зерна, морфологическая незрелость и стерильность [12].

Пыльцевой анализ — это важный метод исследования, позволяющий определять репродуктивный потенциал отбираемых родительских растений. Он основан на изучении морфологических и биологических особенностей пыльцы: структуры экзины, выполненности, фертильности и жизнеспособности пыльцевых зёрен [4, 8, 10]. Определение данных характеристик у цветущих растений, позволяет судить об особенностях процесса полового размножения. Показатели жизнеспособности пыльцевых зёрен при скрещивании самонесовместимых растений напрямую влияют на качество семенной продукции и позволяют прогнозировать объем результативных скрещиваний. Поэтому для оптимизации селекционного процесса важно предварительно определить степень жизнеспособности пыльцы исходного материала.

Все эти характеристики приоритетны при проведении селекционных работ как с целью получения продуктивного потомства, так и наоборот для отбора экземпляров с мужской стерильностью [7, 9]. При повышенной продуктивности родительских особей селекционер имеет возможность получать высокий процент рекомбинации генов в потомстве, что будет влиять на разнообразие доступных для отбора потенциально ценных фенотипически различных образцов [8]. Мужскую же стерильность используют в качестве инструмента контроля и способа оптимизации гибридизации в гибридной селекции растений [7].

Цель данной работы — изучение биологических особенностей цветения и опыления флокса метельчатого с точки зрения оптимизации селекционного процесса и отбора перспективных родительских пар для дальнейшей гибридизации.

Материалы и методы

Исследования проводили на протяжении 2 лет (2022-2023 гг.) на базе биоресурсной коллекции отечественных сортов флокса метельчатого. Коллекция расположена в условиях открытого грунта на территории ГБС РАН им. Н.В. Цицина и представлена 67 сортами отечественной и иностранной селекции. Для данной работы были отобраны 11 сортов, объединенных по срокам цветения (вторая половина июля — начало августа).

Таблица 1. Коллекция (фрагмент) отечественных сортов флокса метельчатого (ГБС РАН им. Н.В. Цицина, куратор Кудусова В.Л., 2022-2023 годы)

Table 1. Collection (fragment) of Garden phlox domestic varieties (Tsitsin's Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, curator V.L. Kudusova, 2022-2023)

№ п/п	Наименование сорта	Оригинатор	Год регистрации
1	Атласный	Берлизов Н.М.	1954
2	Белоснежка	Краснова И.С.	1954
3	Врубель	Репрев Ю.А.	1987
4	Гегеры	Не известен	до 1963
5	Жуковский	Репрев Ю.А.	1982
6	Манон	Бединггауз М.П.	1941
7	Катюша	Краснова И.С.	1952
8	Машуня	Захарова З.Г.	1990
9	Оленька	Гаганов П.Г.	1938
10	Руслан	Гаганов П.Г.	1937
11	Сказка	Гаганов П.Г.	1938

Особенности биологии цветения и опыления данных сортов изучали в фазу массового цветения отобранных образцов согласно общепринятой методике ГСИ и другим [13, 14].

Для исследования пыльцы собирали целые цветки во избежание нарушения целостности пыльников. Сбор, окраска и цитологические исследования проводили в течение одного дня, с целью сохранения пыльников и пыльцевых зерен от высыхания и поражения грибными патогенами. Для анализа формы, размеров, выполненности, фертильности пыльцевых зерен использовали методики окрашивания пыльцы ацетокармином и по Александру [8, 15]. Для каждого сорта окрашивали образцы пыльцы, собранные из окрашенных бутонов, раскрывшегося цветка первых суток цветения и увядающего цветка. Подсчет и измерение осуществлялось в двукратной повторности в 4 полях зрения микроскопа Zeiss Primo Star с помощью USB камеры-адаптера [16].

Результаты и их обсуждение

Морфология цветка. Для многих представителей семейства Синюховые, в том числе для флокса метельчатого, характерны следующие общие черты строения генеративных органов: цветки пазушные, правильные, обоопольные, собраны в метельчатые соцветия

[15, 17]. Чашечка у флокса трубчатая, с пятью надрезами, разделяющими ее на длинные узкие чашелистики. Венчик тарельчатый от 1,2 до 5,2 см в диаметре, состоит из пяти лепестков (округлой, волнистой, прямоугольной и др. форм) и тонкой цилиндрической тру-

би, часто отличающейся по окраске от лепестков (рис. 1) [15, 18, 19].

Важно отметить, что согласно методике ГСИ часть морфологических особенностей цветка для флокса метельчатого является сортовым признаком. По характеристикам венчика исследуемые сорта можно классифицировать следующим образом:

- степень развития венчика: у всех исследуемых сортов венчик развит полностью; наглядным примером с недоразвитым венчиком может служить голландская серия сортов Feelings селекционера Рене ван Гаалена;
- диаметр венчика – маленький: Врубель, Жуковский, Машуня, Оленька; среднего размера: Атласный, Белоснежка, Гегеры, Манон, Сказка, Рулан; большой: Катюша;
- расположение лепестков у нормально развитого венчика – слабо перекрываются: Врубель, Жуковский, Манон, Оленька; сильно перекрываются: Атласный, Белоснежка, Гегеры, Катюша, Машуня, Руслан;
- профиль венчика – вогнутый: Атласный, Манон, Машуня; плоский: Белоснежка, Врубель, Гегеры, Жуковский, Катюша, Оленька, Руслан, Сказка.

Окраска цветка варьирует от белой до насыщенно-фиолетовой, что зависит от уровня содержания антоцианов в цветках. В связи с чувствительностью антоцианов к температурному режиму окружающей среды, окраска цветка может несколько изменяться как при смене сезона, так и в течение суток у некоторых особенно чувствительных к степени освещенности сортов (Синеющий Гаганова, Blue Paradise и др.) [18].

Цветок имеет пять прикрепленных на различной



Рис. 1. Цветки и бутоны сортов флокса в различных стадиях цветения: а) Врубель; б) Манон; в) Сказка
Fig. 1. Flowers and buds of phlox varieties in various stages of flowering: a) Vrubel; b) Manon; c) Skazka

высоте тычинок. Для флокса метельчатого характерна гетеростилия: 2-3 тычинки подняты до уровня лепестков или выше, остальные располагаются внутри цветка (обычно 1 тычинка размещается ниже уровня рыльца пестика). Пестик же в большинстве случаев редко выступает наружу цветка. Завязь у пестика верхняя, трёхгнёздая, столбик нитевидный, рыльце трёхраздельное [1].

Для флокса метельчатого характерна протоандрия – пестик созревает позже тычинок, с интервалом около 2-3 дней [18]. При созревании рыльце пестика разделяется на 3 части, направленные в разные стороны одной плоскости. До созревания пестика эти части представляют удлинённую головку.

По методике ГСИ по расположению пыльников исследуемые сорта группируются следующим образом:

Интрорзные пыльники имеют желтую окраску и подвижность, содержат в себе желтовато-белую пыльцу, растрескиваются после распускания цветка. Пыльцевые зерна сфероидальные от 25 до 50 мкм в диаметре (в зависимости от сорта). Экзина имеет сетчатую структуру с округлыми порами, её толщина 4-6 мкм [8, 18]. Поверхность экзины пылинки в зависимости от сорта имеет различный по форме рисунок, с большим количеством выростов (шипов).

Структура синфолресценции. Цветки флокса собраны в сложные фрондулозные соцветия, находящиеся на концах побегов (рис. 2). Верхушка соцветия заканчивается терминальным цветком, то есть соцветие ограниченное. По строению соцветие является метелкой: сверху до низу оно становится все более сильно и нерегулярно разветвленным. Парциальные соцветия имеют сложный ботриоидный характер [18].

Метелки флокса могут быть весьма разнообразными

по форме: овальными, овально-коническими (Белоснежка, Врубель), округлыми (Жуковский, Манон, Сказка), округло-коническими (Атласный, Катюша, Оленька, Руслан), цилиндрическими, узкоцилиндрическими, наклоненными овально-коническими (Гегеры, Машуня), дробно-коническими, коническими с выступом, плоскими и плоскоокруглыми [1].

Характеристика цветения. По срокам цветения флоксы делят на ранние сорта (перв. пол. VII), средние сорта (кон. VII - нач. VIII), поздние сорта (третья декада VIII) [20]. По продолжительности цветения выделяют сорта длительноцветущие (более 35 суток) и средней продолжительности цветения (25-35 суток) [20]. Благодаря этому флоксы можно активно использовать для создания монокультурных посадок с продолжительным сроком декоративности.

Для флокса метельчатого характерно акропетальное зацветание – цветение начинается с верхушки к основанию, однако терминальный цветок обгоняет боковые, прилегающие к нему. Продолжительность функционирования одного цветка варьирует от 3 до 15 дней [18, 21]. Для многих сортов характерно второе цветение, по декоративности не уступающее первому [1].

Качественное и количественное исследование пыльцы. Ацетокарминовый метод окрашивания пыльцевых зерен является одним из наиболее удобных и простых способов оценки фертильности пыльцы, однако в ходе исследования установлено, что менее популярный метод Александра является более чувствительным и позволяет более четко дифференцировать пыльцевые зерна флокса по фертильности (см. рис. 3).

При окрашивании пыльцы по двум методикам можно было наблюдать весьма наглядную разницу в чувствительности методов: при окраске ацетокармином не

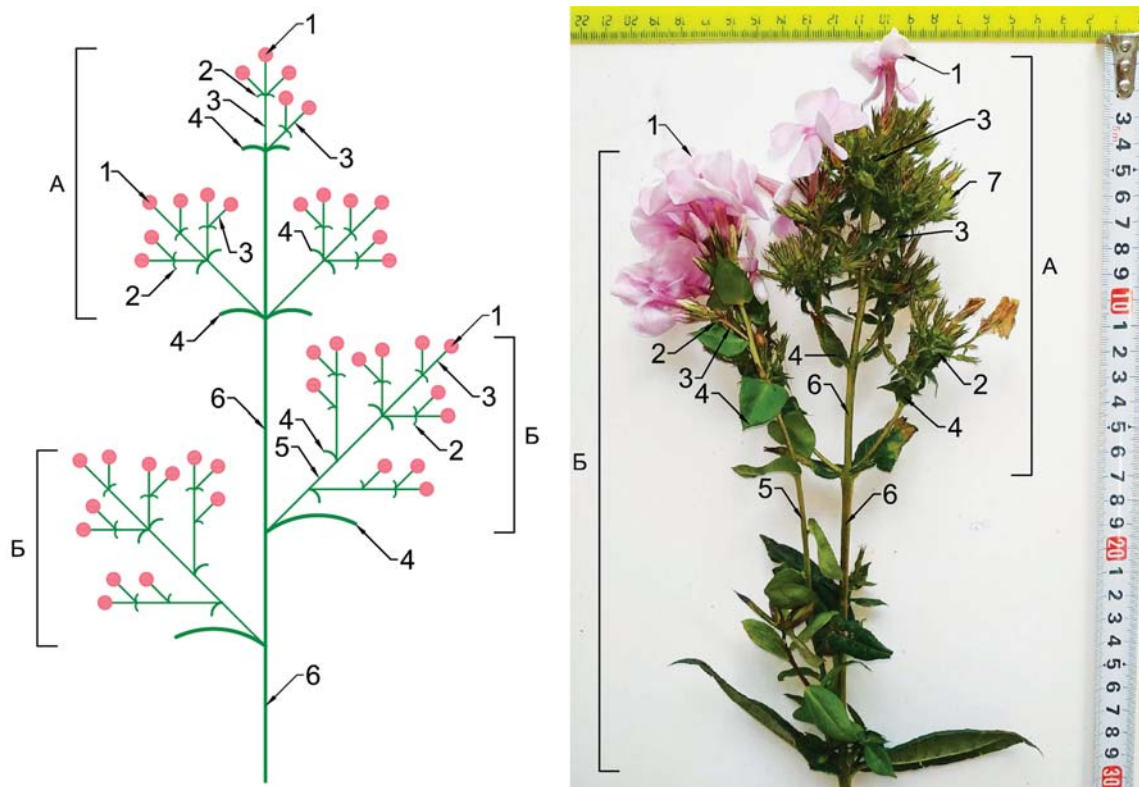


Рис. 2. Строение соцветия флокса метельчатого (сорт Аккурат): А – главное соцветие; Б – соцветие паракладиев (парциальное): 1 – верхушечный цветок; 2 – прицветник; 3 – цветонос; 4 – лист; 5 – паракладий; 6 – главная ось; 7 – коробочка
Fig. 2. The structure of the garden phlox inflorescence (variety Akkurat): A – the main inflorescence; B – the inflorescence of the paracladia (partial): 1 – apical flower; 2 – bract; 3 – peduncle; 4 – leaf; 5 – paracladium; 6 – main axis; 7 – seed box

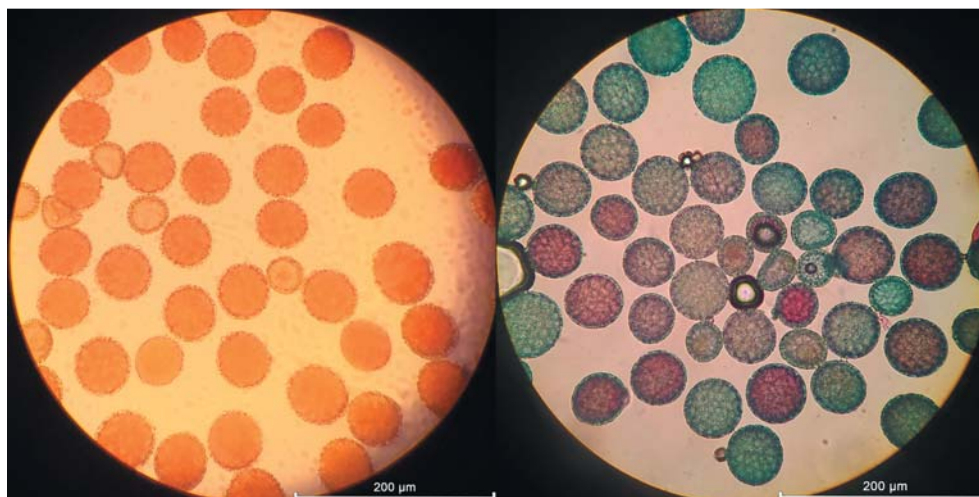


Рис. 3. Микрофотографии пыльцевых зёрен флокса метельчатого (сорт Машуня), собранных с одного распустившегося цветка: слева – ацетокарминовый метод (фертильных выполненных пыльцевых зёрен – 86,7%), справа – метод окрашивания по Александру (фертильных выполненных пыльцевых зёрен – 41,4%)
Fig. 3. Micrographs of garden phlox pollen grains (Mashunya variety) collected from one blooming flower: on the left – acetocarmine method (fertile pollen grains – 86.7%), on the right – Alexander's staining method (fertile pollen grains – 41.4%)

окрашивались только мелкие невыполненные пыльцевые зёрна, в то время как по методике Александра их окраска зависит именно от фертильности, а не размера и выполненности.

использовать свежую пыльцу, собранную из распустившихся и увядающих цветков, так как именно в этих фазах показатель фертильности пыльцы у некоторых сортов превысил 50% от общей массы.

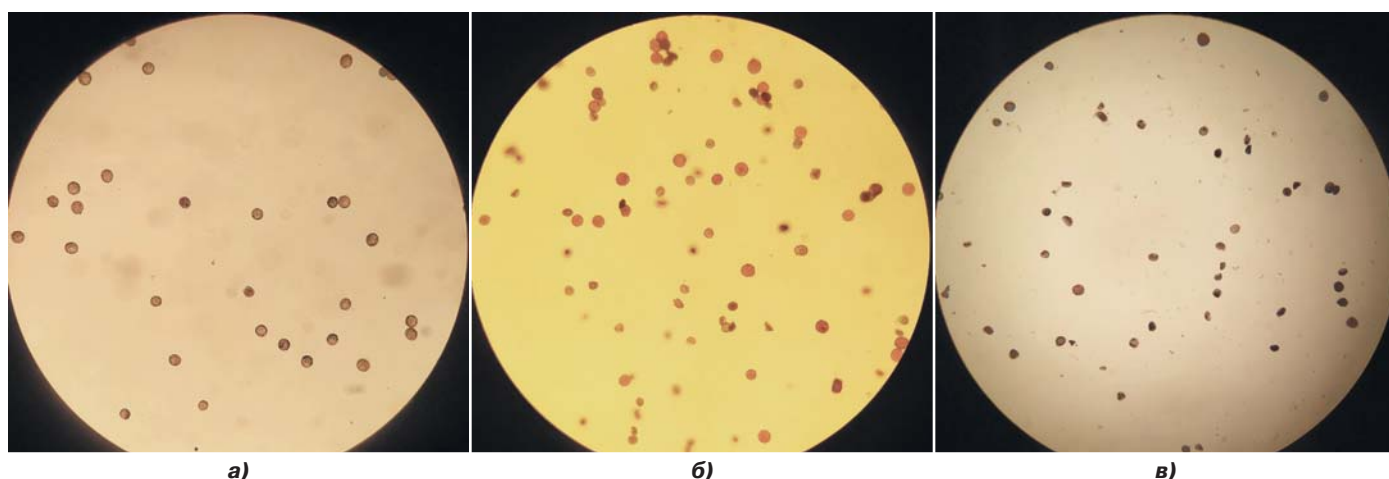


Рис. 4. Окрашивание ацетокарминовым раствором пыльцевых зёрен флокса метельчатого сорта Манон: а) стадия окрашенного бутона (фертильных пыльцевых зёрен – 1,5%); б) распустившийся цветок (фертильных пыльцевых зёрен – 3,7%); в) увядающий цветок (фертильных пыльцевых зёрен – 0%)
Fig. 4. Staining of the Manon variety garden phlox pollen grains with acetocarmine solution: a) the stage of a colored bud (fertile pollen grains – 1.5%); b) a blooming flower (fertile pollen grains – 3.7%); c) a withering flower (fertile pollen grains – 0%)

При проведении окрашивания пыльцевых зёрен изучаемых сортов ацетокарминовым раствором, было установлено, что пыльца сорта Манон является деформированной на всех стадиях цветения и практически не окрашивается красителем, что говорит о возможной мужской стерильности у данного сорта (см. рис. 4). Также сорт характеризуется весьма скудным количеством образуемых пыльцевых зёрен.

В результате подсчёта окрашенных по методике Александра пыльцевых зёрен было установлено, что пыльца, собранная с изучаемых сортов флокса метельчатого, имеет значительную достоверную разницу по уровню фертильности не только в зависимости от сорта, но и от фазы цветения цветка (таблица 2).

В ходе анализа установлено, что для проведения искусственного опыления флокса рекомендуется

Наибольший уровень фертильности пыльцы установлен у сортов Сказка (71,2% и 55,1%), Оленька (63,2% и 54,2%) и Гегеры (66,7%). Разница в показателе фертильности пыльцы в рамках фаз цветения с другими сортообразцами значительно превысила показатель НСР₀₅=10,8.

При этом у сортов Оленька и Сказка разница уровня фертильности в рамках одного сорта у пыльцы, собранной с распустившихся и увядающих цветков не превышает НСР₀₅ = 19,8, что свидетельствует о возможности её сбора, хранения и дальнейшего использования в селекционном процессе.

У остальных сортов показатель фертильности не превышал 50% на всех исследуемых фазах цветения, а также между ними не было установлено достоверной разницы.

Таблица 2. Результаты исследования фертильности пыльцы в зависимости от стадии развития цветка у сортов флокса метельчатого по м. Александера
Table 2. The results of a pollen fertility study depending on the stage of flower development in garden phlox varieties according to Alexander's method

№	Название сорта	Фертильность пыльцы в окрашенном бутоне, %	Фертильность пыльцы в распустившемся цветке, %	Фертильность пыльцы в увядающем цветке, %	НСР05
1	Атласный	12,9	48,9	28,7	19,8
2	Белоснежка	5,4	39,6	29,7	
3	Врубель	17,1	35,7	14,9	
4	Гегеры	29,1	66,7	39,3	
5	Жуковский	23,4	35,6	19,3	
6	Катюша	12,5	24,5	13,8	
7	Машуня	12,0	41,4	27,2	
8	Оленька	44,3	63,2	54,2	
9	Руслан	14,6	46,1	29,8	
10	Сказка	41,3	71,2	55,1	
НСР05		10,8			

Закключение

В ходе исследования был установлен ряд биологических и морфологических особенностей флокса метельчатого. Проведен анализ репродуктивного потенциала отобранных сортов с помощью исследования фертильности пыльцы. Исходя из результатов проведенной работы, флокс метельчатый — перспективная культура для селекции благодаря целому ряду установленных биологических особенностей у изучаемых сортов.

Для флокса как ценной декоративной культуры характерно внутривидовое морфологическое разнообразие: вариативность плотности и строения соцветия; окрасок, форм и размеров цветка. Повышает актуальность использования флокса метельчатого в озеленении длительность цветения (35 и более суток) и разные сроки его начала (с середины июня и до конца августа), а также способность некоторых сортов к повторному цветению.

При проведении анализа фертильности пыльцы флокса с помощью окрашивания ацетокармином установлена перспектива использования сорта Манон как источника мужской стерильности в рамках селекционного процесса (окрашивалось менее 5% пыльцевых зёрен).

Метод Александера более точный и чувствительный для оценки фертильности пыльцы флокса метельчатого, чем окраска ацетокармином, так как позволяет более точно дифференцировать окрашенные пыльцевые зерна по степени их фертильности, вне зависимости от их размера и выполненности.

При оценке фертильности пыльцы по методике Александера были выделены наиболее перспективные сорта-опылители, отличающиеся высоким уровнем фертильности пыльцы: Сказка (71,2%), Оленька (63,2%) и Гегеры (66,7%). Для подтверждения данного утверждения в дальнейшем будут проведены исследования фертильности пыльцы с помощью проращивания пыльцевых трубок на питательной среде.

• Литература

- Гаганов П.Г. Флоксы многолетние. Сельхозиздат, 1963. 208 с.
- Мазаева А.С. Флокс метельчатый (*Phlox paniculata* L.). Проблематика культуры: особенности размножения, болезни и методики оценки декоративных качеств. Национальная ассоциация ученых. 2016;3-2(19):27-29.
- Сорокопудова О.А., Артюхова А.В. Перспективные для озеленения сорта многолетних флоксов коллекции ФГБНУ ВСТИСП. Садоводство и виноградарство. 2018;(1):42-50. <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.1.10524> <https://elibrary.ru/nsgnrl>
- Исакова А.Л. Жизнеспособность и фертильность пыльцы нигеллы посевной (*Nigella sativa* L.) и нигеллы дамасской (*Nigella damascena* L.). Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2017;(4):61-64. <https://elibrary.ru/ylpucf>
- Артемова А.А., Соколкина, А.И. Флокс - популярная культура в частном озеленении. Вестник ландшафтной архитектуры. 2023;(36):3-7. <https://elibrary.ru/khyqdc>
- Келдыш М.А., Червякова О.Н. Болезни флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.) и экологизация защиты растений. Плодоводство и ягодоводство России. 2016;(46):127-130. <https://elibrary.ru/wmhgit>
- Suarez J.C.A., Ramos C.P.F. Identification of sources of male sterility in

the Colombian Coffee Collection for the genetic improvement of *Coffea arabica* L. PLoS ONE. 2023;18(9):e0291264.

<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0291264>

8. Цаценко Л.В., Логвинов А.В. Пыльцевой анализ растений в селекционной практике Просвещение-юг, 2021. 101 с. ISBN: 978-5-93491-887-4. <https://elibrary.ru/fevzvc>

9. Fauziah Q., Susanti S. Morphological Structure and Fertility of Melinjo (*Gnetum gnemon* L.) Pollen based on Microscopic Data. Berkala Ilmiah Biologi. 2022;(13):1-12. <https://doi.org/10.22146/bib.v13i2.4380>

10. Jafarzadeh S., Iskandar E. Comparative study of pollen morphology and fertility in *Pyrus* L. species under *in situ* and *ex situ* conditions in Greater Caucasus, Azerbaijan. BIO Web of Conferences. 2024;(100):03006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410003006>

11. Nayab N. Pollen fertility estimation of some medicinal plants of Samastipur District of Bihar, India. Plant Taxonomy And Traditional Knowledge In The Himalayas And North-East India & Annual Conference Of East Himalayan Society For Spermatophyte. 2022.

12. Василевская Н.В. Фертильность пыльцы как показатель мутагенности городской среды. Мировая экологическая повестка и Россия : Материалы Всероссийской научной онлайн-конференции с международным участием, Москва, 16–18 ноября 2020 года. 2020. С. 208-213. <https://elibrary.ru/pyqkwm>

13. Воронова О.Н., Гаврилова В.А. Количественный и качественный анализ пыльцы подсолнечника (*Helianthus* L.) и его использование в селекционной работе. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):95-104. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-95-104> <https://elibrary.ru/liuqxsx>
14. Эрдтман Г. Морфология пыльцы и систематика растений (введение в палинологию). Изд-во иностр. лит., 1956. 485 с.
15. Alexander M.P. Differential staining of aborted and nonaborted pollen. *Stain Technology*. 1969;44(3):117-122.
16. Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятков А.Г. и др. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М.: Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
17. Ханбабаева О.Е., Иванова И.В., Ташина С.В. Цветоводство с основами ландшафтного дизайна. МЭСХ, 2019. 150 с. ISBN: 978-5-6042797-2-4. <https://elibrary.ru/ulqjew>
18. Бутенкова А.Н. Биологические особенности видов и сортов рода флокс (*Phlox* L., *Polemoniaceae*) в подзоне южной тайги Западной Сибири. Томск, 2014. 22 с.
19. Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Флокс метельчатый, флокс пятнистый и их гибриды. 2016. RTG/1056/1. 13 с.
20. Соколкина А.И., Ханбабаева О.Е. Классификация сортов флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.) по фенологическим и морфологическим признакам. *Тенденции развития науки и образования*. 2022;(81-1):152-158. <https://doi.org/10.18411/trnio-01-2022-41> <https://elibrary.ru/bxaswz>
21. Ковалева И.С., Мацнева А.Е., Ханбабаева О.Е. Оптимизация условий культивирования сортов флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.). *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;(9):108-110. <https://elibrary.ru/trptyh>

• References (In Russ.)

1. Gaganov P.G. *Phlox* is perennial. Selkhozizdat, 1963. 208 p. (In Russ.)
2. Mazaeva A.S. *Phlox paniculata* L. Problems of culture: features of reproduction, diseases and methods for assessing decorative qualities. *National Association of Scientists*. 2016;3-2(19):27-29. (In Russ.)
3. Sorokopudova O.A., Artyukhova A.V. Promising for landscaping perennial phloxes varieties of the ARHIBAN collection. *Horticulture and viticulture*. 2018;(1):42-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.1.10524> <https://elibrary.ru/nsgnnl>
4. Isakova A.L. Viability and fertility of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. pollen. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2017;(4):61-64. (In Russ.) <https://elibrary.ru/ylpycf>
5. Artemova A.A., Sokolkina A.I. *Phlox* is a popular crop in private landscaping. *Journal of landscape architecture*. 2023;(36):3-7. <https://elibrary.ru/khyqdc>. *Вестник ландшафтной архитектуры*. 2023;(36):3-7. (In Russ.) <https://elibrary.ru/khyqdc>
6. Keldysh M.A., Chervyakova O.N. The diseases of *phlox paniculata* L. and the ecologization of plant protection. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2016;(46):127-130. (In Russ.) <https://elibrary.ru/wmhgit>
7. Suarez J.C.A., Ramos C.P.F. Identification of sources of male sterility

- in the Colombian Coffee Collection for the genetic improvement of *Coffea arabica* L. *PLoS ONE*. 2023;18(9):e0291264. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0291264>
8. Tsatsenko L.V., Logvinov A.V. Pollen analysis of plants in breeding practice Enlightenment-South, 2021. 101 p. ISBN: 978-5-93491-887-4. (In Russ.) <https://elibrary.ru/fevzvc>
9. Fauziah Q., Susanti S. Morphological Structure and Fertility of Melinjo (*Gnetum gnemon* L.) Pollen based on Microscopic Data. *Berkala Ilmiah Biologi*. 2022;(13):1-12. <https://doi.org/10.22146/bib.v13i2.4380>
10. Jafarzadeh S., Iskandar E. Comparative study of pollen morphology and fertility in *Pyrus* L. species under *in situ* and *ex situ* conditions in Greater Caucasus, Azerbaijan. *BIO Web of Conferences*. 2024;(100):03006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410003006>
11. Nayab N. Pollen fertility estimation of some medicinal plants of Samastipur District of Bihar, India. Plant Taxonomy And Traditional Knowledge In The Himalayas And North-East India & Annual Conference Of East Himalayan Society For Spermatophyte. 2022.
12. Vasilevskaya N.V., Sikalyuk A.I. Pollen fertility as an indicator of mutagenicity of the urban environment. World environmental agenda and Russia: Proceedings of the All-Russian online scientific conference with international participation, Moscow, November 16–18, 2020. 2020. Pp. 208-213. (In Russ.) <https://elibrary.ru/pyqkwm>
13. Voronova O.N., Gavrilova V.A. Quantitative and qualitative analysis of sunflower pollen (*Helianthus* L.) and it's use in breeding work. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2019;180(1):95-104. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-95-104> <https://elibrary.ru/liuqxsx>
14. Erdtman G. Pollen morphology and plant taxonomy (introduction to palynology). Foreign publishing house lit., 1956. 485 p. (In Russ.)
15. Alexander M.P. Differential staining of aborted and nonaborted pollen. *Stain Technology*. 1969;44(3):117-122.
16. Barykina R.P., Veselova T.D., Devyatov A.G. and others. Handbook of botanical microtechnology. Fundamentals and methods. M.: Moscow State University Publishing House, 2004. 312 p. (In Russ.)
17. Khanbabaeva O.E., Ivanova I.V., Tazina S.V. Floriculture with the basics of landscape design. M., 2019. 150 p. ISBN: 978-5-6042797-2-4. (In Russ.) <https://elibrary.ru/ulqjew>
18. Butenkova A.N. Biological characteristics of species and varieties of the genus *Phlox* (*Phlox* L., *Polemoniaceae*) in the southern taiga subzone of Western Siberia. Tomsk, 2014. 22 p. (In Russ.)
19. Methodology for testing for distinctiveness, uniformity and stability. *Phlox paniculata*, spotted phlox and their hybrids. 2016. RTG/1056/1. 13 p. (In Russ.)
20. Sokolkina A.I., Khanbabaeva O.E. Classification of varieties of *Phlox paniculata* L. according to phenological and morphological characteristics. *Trends in the development of science and education*. 2022;(81-1):152-158. (In Russ.) <https://doi.org/10.18411/trnio-01-2022-41> <https://elibrary.ru/bxaswz>
21. Kovaleva I.S., Matsneva A.E., Khanbabaeva O.E. Optimization of cultivation conditions for varieties of *Phlox paniculata* L. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2018;(9):108-110. (In Russ.) <https://elibrary.ru/trptyh>

Об авторах:

Анастасия Ивановна Соколкина – аспирант, ассистент кафедры ландшафтной архитектуры, <http://orcid.org/0000-0002-2803-6270>, ResearcherID: ACP-5924-2022, автор для переписки, sokolkina@rgau-msha.ru, SPIN-код: 5526-4005

Ольга Евгеньевна Ханбабаева – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, <http://orcid.org/0000-0002-6645-6188>, ResearcherID: AAE-1122-2022, Scopus Author ID: 57394370300, hanbabaeva@yandex.ru, SPIN-код: 9084-1202

Валентина Леонидовна Кудусова – младший научный сотрудник лаборатории декоративных растений, felina3@yandex.ru, SPIN-код: 5759-2101

Владимир Николаевич Сорокопудов – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Лаборатории химии природных соединений, <http://orcid.org/0000-0002-0133-6919>, Scopus Author ID: 8673366700, sorokopud2301@mail.ru, SPIN-код: 6202-7770

About the Authors:

Anastasia I. Sokolkina – graduate student, assistant at the Department of Landscape Architecture, <http://orcid.org/0000-0002-2803-6270>, ResearcherID: ACP-5924-2022, Corresponding Author, sokolkina@rgau-msha.ru, SPIN-code: 5526-4005

Olga E. Khanbabaeva – Dr. Sci. (Agriculture), leading researcher, <http://orcid.org/0000-0002-6645-6188>, ResearcherID: AAE-1122-2022, Scopus Author ID: 57394370300, hanbabaeva@yandex.ru, SPIN-code: 9084-1202

Valentina L. Kudusova – Junior Researcher at the Laboratory of Ornamental Plants, felina3@yandex.ru, SPIN-code: 5759-2101

Vladimir N. Sorokopudov – Dr. Sci. (Biology), Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Chemistry of Natural Compounds, <http://orcid.org/0000-0002-0133-6919>, Scopus Author ID: 8673366700, sorokopud2301@mail.ru, SPIN-code: 6202-7770

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-45-51>
УДК 635.9:631.529(571.1)

Р.В. Чернов, Н.Г. Казыдуб,
С.П. Кузьмина*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» (ФГБОУ ВО Омский ГАУ) 644008, РФ, Омская область, г. Омск, Институтская площадь, 1

*Автор для переписки: sp.kuzmina@omgau.org

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов при написании данной работы.

Вклад авторов: Р.В. Чернов: концептуализация, проведение исследований, курирование данных, написание-рецензирование и редактирование рукописи. Н.Г. Казыдуб: научное руководство исследованием, курирование данных. С.П. Кузьмина: проведение исследований, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Для цитирования: Чернов Р.В., Казыдуб Н.Г., Кузьмина С.П. Перспективность интродукции мезоамериканского вида чиа *Salvia hispanica* L. в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Овощи России*. 2024;(5):45-51. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-45-51>

Поступила в редакцию: 20.05.2024

Принята к печати: 21.06.2024

Опубликована: 27.09.2024

Roman V. Chernov, Nina G. Kazydub,
Svetlana P. Kuzmina*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin» (FSBEI HE Omsk SAU)
1, Institutskaya square St.,
Omsk-8, 644008, Russia

*Corresponding Author: sp.kuzmina@omgau.org

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

Authors' Contribution: R.V. Chernov: conceptualization, research implementation, data curation, writing-review and editing of the manuscript. N.G. Kazydub: scientific supervision of the study, data curation. S.P. Kuzmina: research, writing, reviewing and editing the manuscript.

For citation: Chernov R.V., Kazydub N.G., Kuzmina S.P. The prospects for the introduction of a mesoamerican species *Salvia hispanica* L. chia in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):45-51. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-45-51>

Received: 20.05.2024

Accepted for publication: 21.06.2024

Published: 27.09.2024

Перспективность интродукции мезоамериканского вида чиа *Salvia hispanica* L. в условиях южной лесостепи Западной Сибири

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В данной статье представлены результаты селекционной работы и интродукции мезоамериканской культуры шалфей испанский или чиа (*Salvia hispanica* L.), которая на данный момент является одно из самых популярных в странах Западной псевдозерновых культур из семейства Яснотковые (*Lamiaceae*) за счет своих уникальных семян, богатых питательными веществами, ПНЖК, пищевыми волокнами и антиоксидантами. В 2009 г. Евросоюз счел семена растения перспективным видом пищи. В мире насчитывается всего 17 зарегистрированных генотипов культуры, в коллекции ГРР ВИР присутствуют две формы, полученных из стран Европы. В государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ пока нет зарегистрированных сортов шалфея испанского. Исследования данной культуры ограничены лишь биологической стороной: изучением морфобиологических особенностей, ее использованием в декоративных целях.

Материал и методика. Исследования проведены в учебно-опытном хозяйстве ФГБОУ ВО Омский ГАУ в 2019-2023 гг. Объектами исследований являлись несколько образцов различного эколого-географического происхождения и полученные в ходе отбора в местных условиях 2 новые формы шалфея испанского. Все учеты и наблюдения осуществлялись согласно методикам: полевого опыта в овощеводстве (С.С. Литвинов, 2011), Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989), оценки первичной интродукции Г.П. Семенов (2001) и сортооценки цветочных декоративных растений В.Н. Былова (1971).

Результаты. В результате непрерывной круглогодичной интродукционной работы селекционерам Омского ГАУ удалось преодолеть фотопериодическую чувствительность растения и получить адаптивные форма 0/18 и 3/18. Дана оценка декоративной ценности, успешности интродукции и возможности внедрения в производство новых образцов в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Первая из полученных в местных условиях форм как более продуктивная в 2023 г. передана на государственное сортоиспытание под предполагаемым названием сорта «Сибирский изумруд». Селекционная работа в данном направлении продолжается.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

шалфей испанский, чиа, сорт, интродукция, селекция, образец

The prospects for the introduction of a mesoamerican species chia *Salvia hispanica* L. in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia

ABSTRACT

Relevance. This article presents the results of breeding work and the introduction of the Mesoamerican culture Spanish sage or chia (*Salvia hispanica* L.), which is currently one of the most popular pseudo-grain crops from the family of *Lamiaceae* in Western countries due to its unique seeds rich in nutrients, PUFA, dietary fiber and antioxidants. In 2009, the European Union considered the seeds of the plant to be a promising type of food. There are only 17 registered genotypes of culture in the world, in the collection of GRR VIR there are two forms obtained from European countries. There are no registered varieties of Spanish sage in the state register of breeding achievements approved for use in the territory of the Russian Federation. The research of this culture is limited only by the biological side: the study of morphobiological features, its use for decorative purposes.

Material and methodology. The research was conducted in the educational and experimental farm of the Omsk State Agrarian University in 2019-2023. The objects of research were several samples of various ecological and geographical origin and 2 new forms of Spanish sage obtained during local selection. All records and observations were carried out according to the following methods: field experience in vegetable growing (S.S. Litvinov, 2011), State variety testing of agricultural crops (1989), assessment of primary introduction by G.P. Semenov (2001) and variety assessment of floral ornamental plants by V.N. Bylov (1971).

Results. As a result of continuous year-round introduction work, the breeders of the Omsk State Agricultural University managed to overcome the photoperiodic sensitivity of the plant and obtain adaptive forms 0/18 and 3/18. An assessment of the decorative value, the success of the introduction and the possibility of introducing new samples into production in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia is given. The first of the locally obtained forms, as more productive, was transferred to the state variety testing in 2023 under the assumed name of the variety "Siberian Emerald". Breeding work in this direction continues.

KEYWORDS:

Spanish sage, chia, variety, introduction, selection, sample

Введение

Понятие интродукции подразумевает собой целенаправленные действия по введению человеком новых неестественных видов (семейств, подвидов, сортов, форм) растений в культуру для данной местности, на которой они ранее не произрастали. В более простом смысле интродукция – это выращивание растений за пределами их естественного ареала.

Интродукция имеет долгую историю, ее корни восходят к первобытному обществу, когда она происходила стихийно, то есть имела место неорганизованная передача различных растений из одной страны в другую. С развитием человеческого общества значение интродукции постепенно возрастало, придавая этому занятию целенаправленный характер. Изначально это были только красивоцветущие и пищевые растения, затем лекарственные, технические, пряные и другие культуры [1].

Шалфей испанский – сельскохозяйственная псевдозерновая культура второстепенного значения, выращиваемая исторически на юге Мексики и в Центральной Америке из-за богатых питательными веществами семян, содержащих большое количество белков [2], полиненасыщенные жирные кислоты, пищевые волокна, минералы, витамины и антиоксиданты [3]. По сравнению с такими популярными источниками пищевых волокон, как соя, пшеница и кукуруза, семена шалфея испанского содержат приблизительно 54 г/100 г пищевых волокон, из которых ~93% составляет нерастворимая клетчатка. Аналогичным образом, 60% всех жирных кислот составляют ПНЖК, а белки составляют 18-24% массы семян. Благодаря своему компонентному составу семена чиа положительно влияют на улучшение содержания липидов в мышцах, здоровье сердечно-сосудистой системы, соотношение общего холестерина, содержание триглицеридов и антиканцерогенный эффект, которые были изучены на людях и животных [4]. Кроме того, высокое содержание пищевых волокон в семенах помогает ослабить гипогликемический эффект и стабилизирует уровень глюкозы в крови у пациентов с сахарным диабетом второго типа.

Замоченные в воде семена образуют слизистый полисахаридный гель, который действует как модификатор текстуры, эмульгатор, желирующий и инкапсулирующий агент в пищевых, косметических и фармацевтических продуктах. Эфирные масла, извлеченные из листьев чиа, обладающие антимикробной активностью, являются богатым источником вторичных метаболитов, таких как производные кумариновой кислоты, флавоноиды и сесквитерпеноиды [5].

Чиа – однолетнее травянистое растение семейства Яснотковые, к которому также относятся многие популярные кулинарные травы. Генетическое разнообразие, плоидность и число хромосом в роде *Salvia* сильно варьируются от $2n=2x=12$ у *S. hispanica* (чиа) до $2n=8x=88$ у октоплоидного *S. guaranitica*. Секвенированные геномы видов из данного рода включают *S. miltiorrhiza* (шалфей краснокорневищный), *S. bowleyana* (шалфей Буллея), *S. officinalis* (шалфей лекарственный) и *S. splendens* (шалфей сверкающий) [6]. Публикуются новые геномные и транскриптомные исследования шалфея испанского, включая недавние отчеты о секвенировании генома. Данные исследования сосредоточены на секвенировании генома, анализе транскриптома важных генов метаболических путей (метаболизм жирных кислот, биосинтез кислот и гельмешка вокруг семени при замачивании) и идентификации ценных генетических маркеров, которые могут помочь при селекции на увеличение урожайности [7].

Актуальность исследований обусловлена тем, что на территории нашей страны нет занятых площадей под столь ценной пищевой культурой из-за отсутствия форм, способных образовывать семена за пределами рекомендуемых для их возделывания широт – от 20°55' с. ш. до 25°05' ю. ш. Исследования шалфея испанского ограничивались лишь изучением морфобиологических особенностей, использованием в декоративных целях, химического состава и использования в пищевой промышленности зарубежного сырья [1, 4].

Подбор исходного коллекционного материала, создание на его основе новых форм чиа будет способствовать расширению ареала возделывания куль-



Рис. 1. Сельскохозяйственные районы выращивания чиа: красный и оранжевый – ранние доколумбовые времена (3500 год до н.э. – 1000 год н.э.); желтый – поздние доколумбовые времена (1000 год н.э.-1500 год н.э.); зеленый – постколумбовые времена (1500 год н.э.); синий – современные времена (после 2010 года)

Fig. 1. Agricultural areas of chia cultivation: red and orange – early pre-Columbian times (3500 BC – 1000 AD); yellow – late pre-Columbian times (1000 AD-1500 AD); green – post-Columbian times (1500 AD); blue – modern times (after 2010)

туры и даст возможность аграрным предприятиям производить собственный органический продукт, обеспечив сырьем (семена, зеленая масса) местные пищевую, перерабатывающую, фармацевтическую, косметическую и другие отрасли промышленности.

На данный момент в мире известно всего о 17 генотипах чиа, произрастающих в диком виде и полученных в ходе селекционной работы в древности, научно обоснованная селекция и интродукция ведется с 1991 года (рис. 1). В коллекции ГРП ВИР имеется две формы культуры из стран Европы. В государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ пока нет ни одного пригодного для возделывания сорта шалфея испанского [8]. Благодаря интродукционной работе в Омском ГАУ получены новые адаптивная и высокопродуктивные формы 0/18 и 3/18, первая из которых передана на государственное сортоиспытание [9].

Благодаря самоотверженности селекционеров из Германии, США, Франции были выведены новые генотипы «долгодневного цветения», которые способны индуцировать образование цветков при продолжительности дня более 12 часов [10]. Поэтому, в отличие от традиционных форм чиа, эти генотипы могут зацветать раньше, когда продолжительность светового дня превышает 12 часов, что позволяет созреть семенам до заморозков. И это больше не ограничивает выращивание шалфея испанского широтами ниже 25 градусов вблизи экватора, что позволяет выращивать его в более широком диапазоне условий окружающей среды [11].

В университете Кентукки США получены новые мутанты, способные зацветать при длинном световом дне. На данный момент интродукцией и domestikацией культуры шалфей испанский или чиа занимаются в различных уголках планеты на всех континентах, пригодных для сельскохозяйственного производства. Новые высокопродуктивные формы создаются также на территории Италии, Греции, Испании, Австралии, Китая, Таиланда, Индии,

Бангладеш, Эфиопии, Египта, Израиля, Никарагуа, Чили, Парагвая и многих других [12].

На данный момент известно, что существуют несколько сортов шалфея испанского, созданных с помощью селекции и множество экотипов, полученных при распространении культуры в других странах (рис. 2).

Наша страна занимает самую большую территорию в мире, но ее географическое положение объясняет ограниченные возможности выращивания тропических культур.

Лимитирующими факторами при выращивании чиа являются теплообеспеченность региона, скороспелость культуры, которая, связана с чувствительностью растений к фотопериоду [13]. Поэтому, перед нами стоит задача по поиску форм с пониженной чувствительностью к фотопериоду, это важно для любого интродуцированного вида при возделывании в нетипичных для него условиях [14, 9].

Методы проведения исследований

Все учеты и наблюдения осуществлялись согласно методике полевого опыта в овощеводстве (С.С. Литвинов, Москва, 2011), методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Москва, 1989). Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного, кластерного и корреляционного анализа.

Оценку первичной интродукции вида проводили по методике Г.П. Семеновой, которая выделяет 12 признаков, что можно объединить в 3 группы: характеристики феноритма, размножения и поддержания вида в коллекции. Каждый признак оценивается трехбалльной системой. Г.П. Семенова, учитывая критерии приспособленности, используя сравнительно-описательную характеристику, выделяет 4 группы растений:

- I группа (перспективные виды) – 31-36 баллов;
- II группа (среднеперспективные) – 25-30 баллов;
- III группа (малоперспективные) – 19-24 баллов;
- IV группа (неперспективные) – 12-18 баллов.

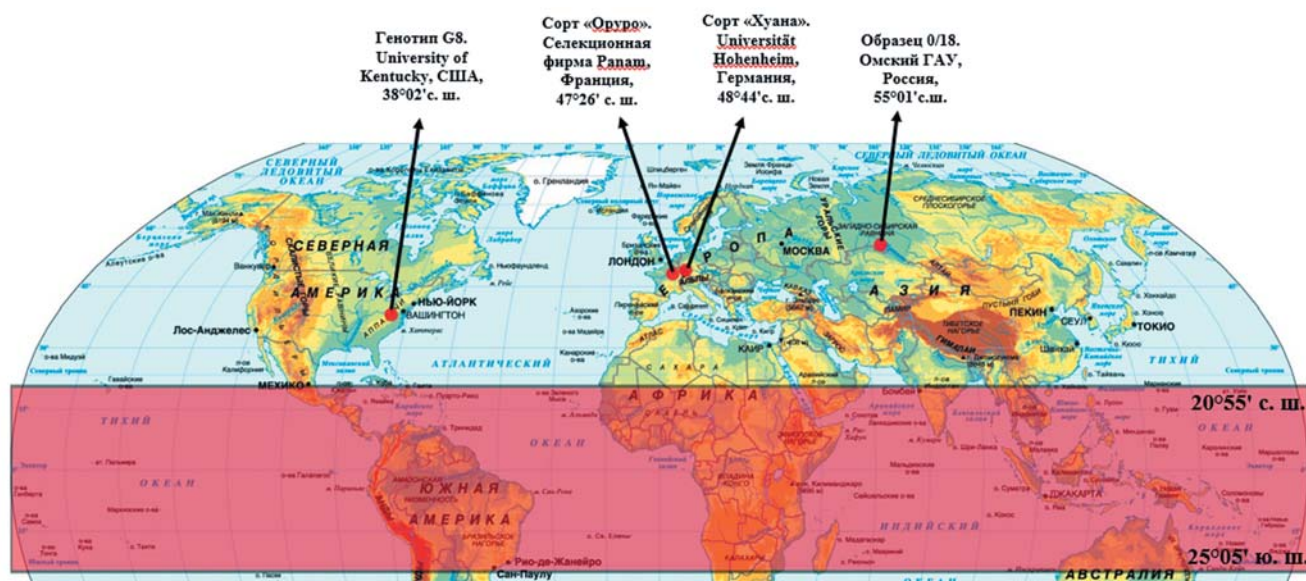


Рис. 2. Современные центры успешной интродукции культуры шалфей испанский, находящиеся выше оптимальных широт для ее возделывания, 2023 год

Fig. 2. Modern centers of successful introduction of the Spanish sage culture, located above the optimal latitudes for its cultivation, 2023

В основе многих систем оценки интродукции травянистых растений лежит как основной показатель – плодоношение, а в последнее время всеми исследователями учитывается наличие или отсутствие самосева.

Успешность интродукции определяется суммой баллов, и в зависимости от этого были выделены: очень перспективные, перспективные, малоперспективные и неперспективные виды. Н.В. Трулевич (1991) ввела понятие интродукционной устойчивости растений, которое является интегральным показателем биологической приспособленности растений к новым условиям существования. Под устойчивостью Н.В. Трулевич понимает способность растений не только существовать в данных климатических условиях, но и сохранять природный фенологический ритм, позволяющий проходить полный цикл развития побегов, природные особенности ростовых процессов, жизненную форму, темпы онтогенеза. Оценка поведения травянистых видов в культуре проводили по 5 показателям, каждый показатель оценивается по трехбалльной шкале [15].

Суммирование баллов по всем пяти показателям дает возможность выделить высокоустойчивые в культуре растения (14-15 баллов), устойчивые (11-13 баллов), слабоустойчивые (8-10 баллов) и неустойчивые (5-7 баллов).

При оценке декоративности коллекционных образцов использовалась методика сортооценки цветочных декоративных растений В.Н. Былова (1971). Оценка

декоративной ценности растений проводится в период массового цветения по стобальной системе с коэффициентами. Оценку проводят дифференцированно по важнейшим декоративным признакам. При оценке декоративности растения в зависимости от значимости признака для каждого вида установлен свой переводной коэффициент. Каждый признак декоративности оценивают в пределах пятибалльной шкалы. В дальнейшем баллы (по каждому признаку в отдельности) перемножают на переводной коэффициент (степень значимости признака) и полученный результат, который является окончательной оценкой признака, заносят в соответствующую графу карточки оценки декоративности [16].

Результаты и их обсуждение

Оценка первичной интродукции любого вида является важной задачей в первые годы исследований как основной показатель успешности его доместикации в местных условиях. При интродукции растений важно не только фактическое приспособление видов, но и дальнейшее их существование. Нами произведена интегральная оценка перспективности интродукции на основе 12 показателей. По данным признакам существенных различий между новыми формами не было выявлено, поэтому их оценка проводилась в общем как интродуктора (табл. 1).

Учитывая критерии приспособленности и используя сравнительно-описательную характеристику по методике Г.П. Семеновой (2001) была проведена оценка перспек-

Таблица 1. Оценка перспективности интродукции образцов шалфея испанского 01/18 и 0/18, 2019-2023 годы, балл
Table 1. Assessment of the prospects for the introduction of Spanish sage samples 01/18 and 0/18, 2019-2023, point

№	Показатель	Оценка признака по трехбалльной системе
1	Цветение	3
2	Диссеминация	3
3	Размножение: % семенификации	2
4	Грунтовая всхожесть	3
5	Самосев или вегетативное размножение	3
6	Поддержание в коллекции: продолжительность жизни особи	2
7	Агрессивность	2
8	Способ размножения в коллекции	1
9	Болезни и вредители	3
10	Засухоустойчивость	3
11	Морозоустойчивость, зимостойкость	1
12	Мульчирование	3
Итого:		29

Таблица 2. Интродукционная устойчивость образцов шалфея испанского 01/18 и 0/18, 2019-2023 годы, балл
Table 2. Introduction resistance of Spanish sage samples 01/18 and 0/18, 2019-2023, point

№	Показатель	Оценка признака по трехбалльной системе
1	Интенсивность плодоношения	3
2	Семенное и вегетативное самовозобновление, динамика численности особей в питомнике	2
3	Размеры надземной части растения	2
4	Устойчивость к болезням и вредителям	3
5	Длительность выращивания в культуре	1
Итого:		11

тивности интродукции чиа в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Итоговая сумма баллов (29) позволяет отнести выделенные образцы шалфея испанского 0/18 и 3/18 ко II группе (среднеперспективные, 25-30 баллов).

Инструментом для прогнозирования успешного введения в культуру растений является предварительная оценка их интродукционных возможностей (табл. 2).

Таким образом, наши исследования показали, что сумма баллов (11) при оценке интродукционной устойчивости по всем пяти показателям позволяет отнести образцы 3/18 и 0/18 к группе устойчивых (11-13 баллов) в культуре растений, что важно для дальнейшей селекционной работы.

Исследуя представленные формы культуры, можно сделать вывод, что растение обладает достаточно высокой декоративностью в условиях Западной Сибири, обладая оптимальной высотой, крупными листьями с резным краем, окраской цветков от белого (в 2023 году выделена новая белоцветковая форма) до светло-фиолетового или синего оттенка. Формы габитуса и соцветий позволяют создать выровненный фон для раскрытия декоративности других цветочных культур (рис. 1). Непрерывное формирование на цветоносах все новых и новых цветков в течение летне-осеннего периода, их яркость и большое количество одновременно открытых цветков определяют оригинальность культуры и ее значимость в общей композиции.



Рис. 3. Цветение растений шалфея испанского, образец 0/18, Учебно-опытное хозяйство Омского ГАУ, 2022 год
Fig. 3. Flowering of Spanish sage plants, sample 0/18, Educational and experimental farm of Omsk State Agrarian University, 2022

Таблица 3. Оценка декоративной ценности образцов 01/18 и 0/18, 2019-2023 годы, балл
Table 3. Assessment of the decorative value of samples 01/18 and 0/18, 2019-2023, point

№	Название признака	Оценка признака по пятибалльной системе	Переводной коэффициент в зависимости от значимости признака	Оценка признака по столбальной системе
1	Окраска соцветия	4	3	12
2	Устойчивость соцветий к неблагоприятным метеорологическим условиям	3	2	6
3	Форма соцветия	4	1	4
4	Цветонос (длина и прочность)	5	2	10
5	Обилие цветения	5	3	15
6	Длительность цветения	5	3	15
7	Куст (форма, декоративность)	5	2	10
8	Оригинальность	4	2	8
9	Аромат	4	2	8
10	Состояние растений (выравненность образца)	5	1	5
Итого:		44	-	93

Таблица 4. Семенная продуктивность новых форм шалфея испанского при посеве в открытый грунт, 2020-2023 годы
Table 4. Seed productivity of new forms of Spanish sage when sown in open ground, 2020-2023

Год / образец	3/18 (стандарт)	01/18	0/18	НСР ₀₅
Число семян с цветоноса, шт.				
2020	32	177	187	13,2
2021	38	121	126	9,5
2022	59	142	160	12,0
2023	53	133	148	11,1
Среднее	45,5	143,3	155,3	11,5
Масса семян с цветоноса, г				
2020	0,04	0,25	0,29	0,06
2021	0,05	0,17	0,19	0,01
2022	0,08	0,20	0,24	0,02
2023	0,07	0,18	0,21	0,02
Среднее	0,06	0,20	0,23	0,02
Масса семян с растения, г				
2020	1,3	19,8	24,3	1,5
2021	1,9	8,2	10,7	0,7
2022	4,7	14,0	18,5	1,2
2023	4,4	11,4	16,1	1,1
Среднее	3,1	13,4	17,4	1,1
Масса 1000 семян, г				
2020	1,41	1,43	1,53	0,2
2021	1,41	1,41	1,49	0,2
2022	1,41	1,43	1,51	0,2
2023	1,40	1,42	1,50	0,2
Среднее	1,41	1,42	1,51	1,5

В наших опытах зацветающие формы 0/18 и 3/18 при выявлении декоративной ценности в условиях южной лесостепи Западной Сибири показали одинаковый результат при подсчете баллов, поэтому информация представлена в общем по культуре (табл. 3).

При оценке декоративной ценности за годы исследований интродуцированные образцы получили по пятибалльной шкале из 50 возможных 44 балла и по столбальной шкале 93 балла, это свидетельствует о перспективности использования растения в декоративных целях региона.

Шалфей испанский выращивается преимущественно ради получения семян, сбалансированных по своему биохимическому составу, которые считаются в развивающихся странах «суперфудом» [13, 17]. Поэтому оценка семенной продуктивности является главной задачей при внедрении в сельскохозяйственное производство новых культур. Элементы продуктивности шалфея испанского в условиях южной лесостепи Западной Сибири находятся на достаточно высоком уровне, но сильно варьируют в зависимости от погодных условий в годы исследований (табл. 4). За стандарт взят образец из Франции 3/18 (сорт Oruro), в ходе отбора из которого была получена форма 0/18.

В ходе проведенных исследований установлено, что признак массы семян с цветоноса за годы исследований у интродуцированных образцов варьировал от 0,17 до 0,29 г, а масса семян с растения от 8,2 (01/18, 2021 год) до 24,3 г (0/18, 2020 год). Масса 1000 семян: образец 01/18 – 1,41-1,43 г; 0/18 – 1,49-1,53 г. Максимальные значения всех изучаемых признаков были отмечены у образца 0/18, особенно на начальном этапе интродук-

ции. Таким образом, полученные образцы со стабильной урожайностью возможно использовать как источники для дальнейшей селекционной работы по перечисленным признакам. Полученные данные указывают на успешность интродукционных мероприятий при доместикации новой интересной сельскохозяйственной культуры.

Обсуждение

Интродукционные испытания образцов шалфея испанского позволили выявить высокие адаптивные возможности вида в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Подводя итог обсуждению проблем, возникающих при селекции нового интродукта – шалфея испанского на территории РФ, можно констатировать, что ключевые признаки, требующие усовершенствования этой тропической культуры, продиктованы лимитирующими факторами ее возделывания в новые условия (южной лесостепи). К ним относится недостаток тепла и длинный фотопериод [18]. Это определяет поиск в генофонде в качестве исходного материала для селекции форм с пониженной фоточувствительностью, коротким периодом вегетации. Также, в литературе чиа описывается как высокосомаопыляющееся растение, это позволяет использовать различные селекционные методы для улучшения исходного материала и новых созданных форм [19].

Исследования по расширению и улучшению генофонда культуры шалфей испанский (чиа) продолжаются во многих развитых странах мира, заинтересованных в получении местной продукции – семян, которые являются сырьем для многих отраслей промышленности.

Научному коллективу направления селекции зернобобовых, овощных и малораспространенных культур

агротехнологического факультета Омского ГАУ при непрерывной круглогодичной работе с коллекционными образцами шалфея испанского из Колумбии, Франции, Мексики и других стран удалось преодолеть фотопериодическую чувствительность и выделить новые формы, которые способны при продолжительности дня 12-15 часов цвести и образовывать семена

за пределами их родных широт, что позволяет выращивать их в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Путем систематического отбора создан образец, который передан в 2023 году на государственное сортоиспытание под названием Сибирский Изумруд. Селекционная работа в данном направлении продолжается.

• Литература

1. Kazydub N.G., Pinkal A.V., Chernov R.V., Nadtochii L.A. Possibilities for the introduction and breeding of chia (*Salvia hispanica* L.) in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022;14(4):354-369. <http://dx.doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-354-369> <https://www.elibrary.ru/fvejvf>
2. Borneo R., Aguirre A., León A.E. Chia (*Salvia hispanica* L.) gel can be used as egg or oil replacer in cake formulations. *Journal of the American Dietetic Association*. 2010;110(6):946-949. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2010.03.011>
3. Yeboah S., Owusu Danquah E., Lamptey J.N.L., Mochiah M.B., Lamptey S., Oteng-Darko P., Adama I., Appiah-Kubi Z., Agyeman K. Influence of Planting Methods and Density on Performance of Chia (*Salvia hispanica*) and its Suitability as an Oilseed Plant. *Agricultural Science*. 2014;2(4):14-26.
4. Coates W., Ayerza R. Commercial production of chia in Northwestern Argentina. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. October 1998;75(10):1417-1420. <http://doi.org/10.1007/s11746-998-0192-7>
5. Ayerza R. Antioxidants, protein, oil content and fatty acids profiles of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) genotype Tzotzol growing in three tropical ecosystems of Bolivia, Ecuador and Paraguay. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*. September 2019;33(3):190-195. September 201933(3):190-195. <http://doi.org/10.31015/jaefs.2019.3.11>
6. Sosa A. Chia Crop (*Salvia hispanica* L.): its History and Importance as a Source of Polyunsaturated Fatty Acids Omega-3 Around the World. *Pontificia Universidad Catolica De Chile : Escuela De Ingenieria Santiago de Chile*. 2016. pp. 72-77.
7. Grimes S.J., Phillips T.D., Hahn V., Capezone F., Graeff-Hönniger S. Growth, Yield Performance and Quality Parameters of Three Early Flowering Chia Genotypes Cultivated. *Agriculture*. 2018;8(10):154. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100154>
8. Чернов Р.В., Казыдуб Н.Г. Характеристика нового исходного материала для селекции шалфея испанского в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Вестник Омского ГАУ*. 2024;1(53):59-67. <https://www.elibrary.ru/lcicbb>
9. Чернов Р.В., Казыдуб Н.Г. Интродукция культуры чиа (*Salvia hispanica* L.) в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Разнообразие и устойчивое развитие агробиоценозов Омского Прииртышья: Материалы Всероссийской (национальной) конференции, посвящённой 95-летию ботанического сада Омского ГАУ, Омск, 24 марта 2022 года. Омск: Омский государственный аграрный университет, 2022. С. 48-51. <https://www.elibrary.ru/mkprdd>
10. Hassani M., Piechota T., Atamian H. Prediction of Cultivation Areas for the Commercial and an Early Flowering Wild Accession of *Salvia hispanica* L. in the United States. *Agronomy*. 2022;12(7):1651/ <https://doi.org/10.3390/agronomy12071651>

11. Ayerza R., Coates W. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and α -linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. *Industrial Crops and Products*. September 2009;30(2):321-324. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.03.009>
12. Montes Osorio L.R., Gil Esturban E.A., Castillo Mont J.J., Sorensen M. The Chia (*Salvia hispanica* L.) – The Rediscovered Meso-American Functional Food Crop. Preprints 2021, 2021050128. <https://doi.org/10.20944/preprints202105.0128.v1>
13. Cahill J., Provance M. Genetics of Qualitative Traits in Domesticated Chia (*Salvia hispanica* L.) *The Journal of heredity*. 2002;93(1):52-55. <http://doi.org/10.1093/jhered/93.1.52>
14. Jamboonsri W., Phillips T., Geneve R., Cahill J., Hildebrand D. Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L.— a new ω 3 source. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2012;59(2):171-178. <http://doi.org/10.1007/s10722-011-9673-x>
15. Трулевич Н.В. Эколого-фитоценотические основы интродукции растений. М.: Наука, 1991. 213 с.
16. Былов Н.В. Основы сортоизучения и сортооценки декоративных растений при интродукции. *Бюллетень Главного ботанического сада АН СССР*. 1971;(81):69-77.
17. Hernández-Gómez J., Miranda-Colín S., Peña Lomeli A. Cruzamiento natural de chia (*Salvia hispanica* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 2008;14(3):331-337.
18. Gebremeskal Ye.H., Nadtochii L.A., Kazydub N.G., Chernov R.V., Lu W. Total phenolic content and antioxidant activity of Spanish Sage (*Salvia hispanica* L.) introduced in the Russian Federation. *Polzunovskiy Vestnik*. 2023;(4):110-117. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.014> <https://www.elibrary.ru/nubpzz>
19. Kazydub N.G., Pinkal A.V., Chernov R.V., Nadtochii L.A. Possibilities for the introduction and breeding of chia (*Salvia hispanica* L.) in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022;14(4):354-369. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-354-369> <https://www.elibrary.ru/fvejvf>

• References (In Russ.)

8. Chernov R.V., Kazydub N.G. Characteristics of a new source material for the selection of spanish sage in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Bulletin of Omsk State Agricultural University*. 2024;1(53):59-67. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/lcicbb>
9. Chernov R.V., Kazydub N.G. Introduction of chia (*Salvia hispanica* L.) in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. Omsk, 2022. P. 48-51. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/mkprdd>
15. Trulevich N.V. Ecological and phytocenotic basis of plant introduction. M.: Nauka, 1991. 213 p. (In Russ.)
16. Bylov N.V. Basics of variety study and variety assessment of ornamental plants during introduction. Bulletin of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences. 1971;(81):69-77. (In Russ.)

Об авторах:

Роман Валерьевич Чернов – ассистент кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений, <https://orcid.org/0009-0008-1010-2584>, Researcher ID: CAH-9684-2022, SPIN-код: 7988-5110, rv.chernov@omgau.org

Нина Григорьевна Казыдуб – доктор с.-х. наук, профессор кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений, <https://orcid.org/0000-0002-2234-9647>, Scopus ID571962559502, SPIN-код: 8100-7068, ng-kazydub@yandex.ru

Светлана Петровна Кузьмина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства, автор для переписки, sp.kuzmina@omgau.org, SPIN-код: 8745-1928, <http://orcid.org/0000-0002-2256-0434>

About the Authors:

Roman V. Chernov – Assistant at the Department of Horticulture, Forestry and Plant Protection, <https://orcid.org/0009-0008-1010-2584>, Researcher ID: CAH-9684-2022, SPIN-code: 7988-5110, rv.chernov@omgau.org

Nina G. Kazydub – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of Horticulture, Forestry and Plant Protection Department, <https://orcid.org/0000-0002-2234-9647>, Scopus ID571962559502, SPIN-code: 8100-7068, ng-kazydub@yandex.ru

Svetlana P. Kuzmina – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Agronomy, Selection and Seed Production, Corresponding Author, sp.kuzmina@omgau.org, SPIN code: 8745-1928, <http://orcid.org/0000-0002-2256-0434>

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-52-58>
УДК 635.342:631.524.85

Н.В. Полякова*

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение
«Федеральный научный центр риса»
350921, Россия, г. Краснодар,
п. Белозерный, д.3

*Автор для переписки: nelshul1994@gmail.com

Конфликт интересов. Автор подтверждает
отсутствие конфликта интересов при написа-
нии данной работы.

Вклад авторов: Н.В. Полякова: оценка селек-
ционного материала, изучение комбинацион-
ной способности линий и принципа подбора
родительских пар для создания высокотоле-
рантных гибридов. Анализ полученных резуль-
татов, статистическая обработка данных.

Для цитирования: Полякова Н.В. Подбор роди-
тельских пар при получении гибридов F₁ капу-
сты белокочанной с устойчивостью к ожогу
верхушки внутренних листьев кочана. *Овощи
России*. 2024;(5):52-58.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-52-58>

Поступила в редакцию: 24.07.2024

Принята к печати: 11.09.2024

Опубликована: 27.09.2024

Nellie V. Polyakova*

Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Scientific Rice Centre»
3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia

Corresponding Author: nelshul1994@gmail.com

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

Authors' Contribution: N.V. Polyakova: assessment
of breeding material, study of the combina-tive
ability of lines and the principle of selection of
parental pairs to create highly tolerant hybrids.
Analysis of the results obtained, statistical data
processing.

For citation: Polyakova N.V. Selection of parental
pairs when obtaining F₁ hybrids of white cab-bage
with resistance to the tip burn of the inner leaves.
Vegetable crops of Russia. 2024;(5):52-58. (In
Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-52-58>

Received: 24.07.2024

Accepted for publication: 11.09.2024

Published: 27.09.2024

Подбор родительских пар при получении гибридов F₁ капусты белокочанной с устойчивостью к ожогу верхушки внутренних листьев кочана

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Капуста белокочанная в процессе формирования кочанов в определенных условиях повреждается ожогом верхушки внутренних листьев кочана, который за рубежом получил устойчивое название «tip burn». Данное нарушение трактуется как физиологическое или неинфекционное заболевание, причина которого заключается в нарушении поступления кальция. Заболевание проявляется внутри кочана, являясь результатом взаимодействия стресс- факторов внешней среды и предрасположенности генотипа. Самым эффективным способом борьбы с данным расстройством является создание высокотолерантных гибридов. Особенно это актуально для юга России, где стрессовая нагрузка на растения максимальна. **Цель исследований** – разработать принцип подбора родительских пар для создания устойчи-вых гибридов к ожогу верхушки внутренних листьев кочана, выделить перспективные гибриды.

Материалы и методы. В 2021-2022 годах в ФГБНУ «ФНЦ риса» в отделе овощеводства в поле-вых условиях проведена оценка 45 гибридных комбинаций полученных на основе 10 инбред-ных линий по признаку «повреждение ожогом внутренних листьев кочана». Проведен анализ комбинационной способности линий по Гриффингу, и анализ наследования признака по Хейману. В 2023 году проведено конкурсное испытание перспективных гибридов.

Результаты. Отрицательно стабильную ОКС по поражению ожогом в оба года исследований имели 5 линий: Ген4270, Яс25п, Бс1ф, Агр 82, 270Хн111. СКС линий в большей степени подвер-жена изменениям по годам. Эффекты СКС в гибридах за счет доминирования, эпистаза и сверхдоминирования в отдельных комбинациях значительно влияют на проявление признака в сторону уменьшения или усиления. Принцип подбора родительских пар для создания устойчи-вых гибридов построен на комбинации линий с отрицательным значением ОКС, в отдель-ных случаях допустимо включать одну линию со средней ОКС и низкой СКС. Анализ генетиче-ских параметров по Хейману подтверждает факт превалирования неаддитивного наследова-ния признака поражения, в неустойчивых формах расстройство контролируется доминантны-ми полигенами и является высоконаследуемым.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

капуста белокочанная, ожог внутренних листьев кочана, некроз, гибрид, линия, устойчивость

Selection of parental pairs when obtaining F₁ hybrids of white cabbage with resistance to the tip burn of the inner leaves

ABSTRACT

Relevance. During the formation of cabbage heads, under certain conditions, white cabbage is dam-aged by a burn of the top of the inner leaves of the head, which abroad received the stable name “tip burn”. This disorder is interpreted as a physiological or non-infectious disease, the cause of which is a violation of calcium intake. The disease manifests itself inside the cabbage head, resulting from the interaction of environmental stress factors and the predisposed genotype. The most effective way to combat this disorder is to develop highly tolerant hybrids. This is especially true for the south of Russia, where the stress load on plants is maximum.

Purpose of the study – to develop a principle for selecting parental pairs for developing hybrids that are resistant to the tip burn of the inner leaves of a cabbage head, and to identify promising hybrids.

Materials and methods. In 2021-2022 in FSBSI “Federal Scientific Rice Centre”, in the department of vegetable growing, 45 hybrid combinations obtained on the basis of 10 inbred lines were assessed under field conditions for the trait “burn damage to the inner leaves of the cabbage head.” An analy-sis of the combining ability of lines according to Griffin, and an analysis of the inheritance of the trait according to Heiman were carried out. In 2023, a competitive test of promising hybrids was carried out.

Results. In both years of research, 5 lines had negatively stable TCA for burn damage: Ten4270, Yas25p, Bs1f, Agr 82, 270Hn111. SCA of lines is more subject to changes from year to year. The effects of SCA in hybrids due to dominance, epistasis and overdominance in individual combinations significantly influence the manifestation of the trait in the direction of decrease or increase. The prin-ciple of selecting parental pairs to develop stable hybrids is based on a combination of lines with a negative SCA value; in some cases, it is permissible to include one line with an average SCA and low SCA. Analysis of genetic parameters according to Heiman confirms the prevalence of non-additive inheritance of the lesion; in unstable forms, the disorder is controlled by dominant polygenes and is highly heritable.

KEYWORDS:

white cabbage, tip burn of the inner leaves, necrosis, hybrid, line, resistance

Введение

Производство капусты является важной и стратегически значимой отраслью сельского хозяйства в России, занимающей более 30% всей площади, выделенной под выращивание овощей. В мировой селекции капусты белокочанной большое внимание уделяется вопросу совмещения в одном генотипе хозяйственно-важных признаков и устойчивости к абиотическим и биотическим факторам. Главные требования, предъявляемые к F₁ гибридам это: отличный товарный вид кочанов при соответствующих вкусовых качествах, высокая стабильность урожая, морфологическая выравненность, устойчивость к основным заболеваниям, толерантность к вредителям, высокая лежкость при хранении [1,2].

На территории Краснодарского края возделывание капусты белокочанной ведется в условиях высоких температур, превышающие оптимум (25°C), недостаточной влажности воздуха, сопровождающиеся частыми порывами горячего ветра в период высокой солнечной инсоляции.

Апогей солнечной активности и отсутствие осадков на Кубани приходится на период с июля по сентябрь, что способствует перегреву листового аппарата растений капусты и вводит растения в стресс, в результате отрицательно воздействуя на обменные процессы в метаболизме растений, провоцируя заболевания, задержку в развитии и росте. Повышение урожайности, адаптивных свойств и качества капусты белокочанной при выращивании в неблагоприятных условиях возделывания, возможно в результате выращивания новых гетерозисных гибридов [3].

Селекционная работа по созданию гибридов для южного региона на первых этапах включает выделение перспективного исходного материала (F₁-F₂ гибриды, индивидуальные отборы в сортовых популяциях), отвечающего требованиям по хозяйственно ценным признакам, ген источникам по устойчивости к патогенам, устойчивости к стрессам. Дальнейшее создание чистых гомозиготных линий ценных по морфологическим и хозяйственно-ценным признакам базируется на определении комбинационной способности линейного материала по важным для селекционера признакам [4]. Наиболее опасным и распространенным заболеванием физиологического характера на капусте является ожог верхушки внутренних листьев кочана, которое за рубежом среди аграриев получило устойчивый термин «tip burn». В последние годы голландские производители капусты отметили, что это заболевание становится все более распространенным среди белокочанной и краснокочанной капусты. Выращивание восприимчивого сортимента к tip burn представляет большую опасность для производителей в связи с большим процентом неликвидных кочанов, диагностировать которые предоставляется возможным только при разрезе, а значит подвергает дискредитации как оригинатора гибрида, так и товаропроизводителя.

Внутренний ожог листьев кочана представляет собой некроз клеток, разрушение которых является результатом увеличения проницаемости клеточной мембраны, что в последствии приводит к смешиванию содержимого клеток и разрушению клеточной структуры. Первоначально такой каскад процессов незаметен,

и диагностировать его невозможно [5]. Заболевание развивается скрыто и когда симптомы внутреннего ожога становятся видимыми, многие этапы разрушения уже произошли и восстановление ткани при дефиците кальция, превышающем критический временной период, невозможно [6]. Не раз сообщалось об ограниченной доступности кальция в почве и пассивном его распределении в надземные части растения. Локализованный дефицит кальция вызван не недостаточной доступностью кальция в почве, а внутренним нарушением в распределении кальция в органах растения [7]. Поскольку кальций почти исключительно транспортируется в ксилеме, количество кальция, достигающее быстро растущих тканей кочана капусты, вероятно, связано с количеством воды, поступающей в кочан через ксилему [8].

В виду того, что заболевание имеет широкое распространение во многих широтах возделывания капусты белокочанной, были установлены различные причины вызывающие внутренний ожог.

Наиболее частые случаи дефицита кальция установлены при резком изменении pH почвы, водного и солевого стресса, а также при низком уровне кальция в почве или дисбалансе питательных элементов в ней. Затрудняют усвоение питательных элементов, из-за ограничения роста корней, неблагоприятные анаэробные условия почвы. Помимо этого, капуста чувствительна, как к переувлажнению, так и дефициту почвенной влаги [9]. Нарушение транспорта питательных веществ в растении капусты, в частности кальция, отмечалось не раз при низком уровне воздушной влажности из-за интенсивного испарения. Также в условиях влажного климата заболевание имеет свойство проявляться в кочанах в связи с замедлением транспирации. Влияние высоких температур как провоцирующего заболевание фактора обусловлено концентрацией кальция во внешних листьях и дефицитом во внутренних.

Сообщается, что при интенсивном наборе массы кочаном развивающиеся листья испытывают нехватку макроэлемента при ускоренных темпах роста.

Пораженные ткани растений являются благоприятной средой для инфицирования и развития вторичных заболеваний.

Различная реакция генотипов среднеспелой и позднеспелой капусты белокочанной подтверждает значимость генетического контроля заболевания и имеет свое отражение во многих исследованиях зарубежных ученых. Первые исследования по идентификации типа устойчивости к внутреннему ожогу листьев на линиях капусты белокочанной были предприняты Диксоном более 40 лет назад. Позже учеными были установлены генотипы с различной степенью устойчивости и восприимчивости [10, 11]. На сегодняшний день молекулярные методы позволили определить гены-кандидаты устойчивости к «tip burn», а также установить корреляцию между экспрессией генов и содержанием кальция и калия в растениях капусты. Ученые смогли идентифицировать локусы количественных признаков, влияющих на устойчивость к ожогу верхушки внутренних листьев кочана на салате [12].

В виду того что, внутренний ожог листьев является сложным физиологическим заболеванием, которое

может возникнуть при различных условиях неблагоприятных для растений капусты, изучение характера наследования, а также способов снижения риска развития продолжается до настоящего времени. Ученые сходятся во мнении, что наиболее эффективным способом контроля заболевания на посадках разных представителей семейства Brassicaceae является выращивание устойчивых гибридов F₁.

Предполагается, что вероятность возникновения таких нарушений значительно возрастает на территории южных регионов, где климатические условия летом и в начале осени не соответствуют требованиям капусты белокочанной [13].

Цель исследований – разработать принцип подбора родительских пар для создания устойчивых гибридов к ожогу верхушки внутренних листьев кочана (tip burn).

Методика и условия проведения исследований

В качестве материала исследований было взято 10 инбредных родительских линий среднепозднего и позднего сроков созревания селекции отдела овощеводства ФГБНУ «ФНЦ риса». На их основе в системе неполных диаллельных скрещиваний получено 45 гибридов F₁ для изучения общей (ОКС) и специфической (СКС) комбинационной способности.

Питомник для изучения общей и специфической комбинационной способностей был заложен на базе отдела овощеводства ФГБНУ «ФНЦ риса» в 2021-2022 годах. Конкурсное испытание перспективных образцов проводилось в 2023 году. Способ орошения – капельный полив. Рассадку выращивали в кассете №96 в открытом грунте. Посев в кассеты – 6-7 мая. Высадка в поле в фазе 5 листьев – во второй декаде июня. Схема посадки (90+50)/2х50 см, густота стояния 2,8 растения на 1 м². Количество растений на делянке – 10 шт., повторность 3-кратная. Размещение делянок систематическое. Площадь делянки – 3,5 м². Удобрения вносили под сплошную культивацию и в борозды непосредственно перед высадкой рассады.

Оценка на комбинационную способность проводилась на высоком агрофоне с внесением повышенных доз удобрений под сплошную культивацию и в борозды непосредственно перед высадкой рассады по д.в. N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀, а также двукратной подкормкой аммиачной селитрой по д.в. N60 в период начала формирования кочана.

Общие дозы удобрений в 2023 году по д.в. следующие: N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀.

Агротехника выращивания в годы испытаний проводилась согласно рекомендациям по выращиванию капусты белокочанной в условиях Кубани. Уборка проводилась – в 3 декаде октября – 1 декаде ноября. Учет поражением внутренним ожогом проводили на 10 кочанах. Дифференциация степени развития заболевания проводилась путем замера степени поражения на разрезе, в сантиметрах с последующим соотношением к диаметру кочана в процентном выражении.

В первый и во второй годы исследований (2021–2022) температурные условия были схожи среднедекадная температура в первый период была экстремально высокой и варьировалась в пределах 23,2...29,2°C, низкая влажность воздуха отмечалась во 2 и 3 декадах июля в 2021 году. 2023 год отличался экстремальными температурами на уровне – 25,8...29,3°C

– в первый и во второй период вегетации растений – вплоть до 3-й декады сентября (22,7...28,1°C). В 2021 году сентябрь оказался благоприятным для формирования кочанов по температуре и влажности воздуха, во второй и третий годы данный месяц был засушливым, что в сочетании с высокой температурой и отсутствием осадков задержало развитие кочанов.

Анализ комбинационной способности родительских линий выполняли по В. Griffing [14]. Генетический анализ диаллельной схемы выполняли по методу В.И. Науман [15]. Статистическая обработка результатов данных проводилась методом дисперсионного анализа, используя пакет прикладных программ Microsoft Excel 2010.

Результаты исследований

Инбредные линии капусты белокочанной подвержены депрессии, в том числе, по продуктивному органу. Отдельные линии даже не формируют кочан, поэтому оценить линию по такому признаку, как ожог внутренних листьев кочана, не представляется возможным. В селекционной работе на устойчивость к внутреннему ожогу на капусте белокочанной наиболее эффективным оценочным критерием является изучение родительских инбредных линий капусты белокочанной на комбинационную способность.

Согласно результатам исследований, в 2021 году развитие ожога внутренних листьев кочана у гибридов F₁ находилось в пределах от 1,5 до 82,3%, а в 2022 году – 1,0 до 82,1% (табл. 1). В первый год исследований на уровне устойчивого стандарта F₁ Доминанта (1,5%) были 13 гибридов, развитие ожога у которых не превышало 2,5%. В число высокоустойчивых образцов с поражением кочанов до 10% вошли 25 гибридов F₁. В менее благоприятный год поражение до 10% наблюдалось по 20 образцам, в том числе, на уровне стандарта Доминанта (2,0%) выделено 12 комбинаций. Условия засушливого и неблагоприятного 2022 года спровоцировали увеличения зоны поражения на 16,5–37,1% в шести гибридах, полученных на основе линий 269-824, Agr1321, 272 Бр10.

Из таблиц 1, 2 следует, что отрицательно стабильную ОКС по поражению ожогом в оба года исследований имели 5 линий: Тен4270, Яс25п, Бс1ф, Agr 82, 270Хн111. Стоит отметить, что наибольшее количество гибридов с минимальной степенью развития заболевания получено в сочетании с данными линиями. Лежкая линия Юби122 балансирует по ОКС – от среднего значения до низкого. Стабильно положительными значениями эффектов ОКС характеризовались 4 линии: 269-824, Agr1321, 272 Бр10, Л79.

Как известно, в отличие от ОКС, варианты СКС менее стабильны и более подвержены влиянию внешних условий. Данные СКС за 2 года подтверждают это положение – в частности, 4 линии: Л79, Тен4270, 272 Бр10, 270Хн111 показали наибольшие различия, остальные – наиболее стабильны. Наиболее низкие значения вариантов СКС по 2-м годам характерны для линий Яс25п, Agr 82, Бс1ф, что также указывает на их более высокую стабильность в комбинациях. У четырех линий 269-824, Л79, Agr1321, 272Бр10 варианты СКС имеют максимальные значения как в 2021 году (от 48,2 до 110), так и во второй год исследований (от 84,3 до 111). Исключение представляла собой линия 270

Таблица 1. Значения эффектов ОКС и варианс СКС по признаку поражения внутренним ожогом листьев кочана в течение двух лет исследований, %, 2021–2022 годы
Table 1. Values of the effects of GKA and SCA variance for the sign of damage by internal burn of cabbage leaves during two years of research, %, 2021–2022

♀	269-824	Тен4270	Яс25п	272Бр10	Л79	Бс1ф	Юби122	Агр1321	Агр 82	270 ХН111
♂	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2021 год										
1	-									
2	24,5	-								
3	35,0	4,43	-							
4	55,0	29,6	6,83	-						
5	43,6	25,3	22,0	49,5	-					
6	38,8	3,17	2,0	3,90	1,83	-				
7	65,6	6,77	2,5	4,10	22,3	2,4	-			
8	45,03	2,80	4,4	53,3	30,6	10,1	47,3	-		
9	5,13	2,47	2,0	2,50	16,3	1,50	3,3	2,37	-	
10	2,40	9,2	2,5	9,00	82,3	2,37	1,8	49,3	2,0	-
g OKC	9,25	-3,55	-5,01	3,54	5,73	-5,81	0,56	3,30	-7,20	-0,82
S SKC	80,4	14,9	12,9	48,2	110	22,5	58,8	64,3	18,2	163
2022 год										
1	-									
2	30,1	-								
3	37,4	7,5	-							
4	72,7	41,5	42,6	-						
5	45,5	44,1	30,1	26,3	-					
6	49,7	2,2	2,7	42,9	2,3	-				
7	64,2	6,7	1,2	45,9	25,5	1,1	-			
8	82,1	2,5	32,0	69,8	51,6	18,6	52,4	-		
9	6,8	1,2	1,6	2,8	13,5	1,0	3,1	1,3	-	
10	2,5	13,8	3,3	17,5	75,8	3,2	1,2	43,0	1,7	-
g OKC	11,1	-3,9	-3,1	5,5	3,4	-5,2	-1,3	6,3	-9,7	-3,1
S SKC	104	47,1	20,5	111	164	34,3	47,5	84,3	26,8	14,4

2021 год – $HCP_{05}(x)=3,96$; $HCP_{05}(OKC) = 1,37$; $HCP_{05}(SKC) = 0,88$, St. Доминанта – 1,5%
2022 год – $HCP_{05}(x) = 5,3$; $HCP_{05}(OKC) = 1,73$; $HCP_{05}(SKC) = 0,76$, St. Доминанта – 2,0 %

ХН111, которая имела отрицательные значения по общей комбинационной способности в оба года исследований (-0,82% и -3,1%), в то время как по специфической комбинационной способности варианты сильно резко отличалась по годам (163 и 14,4).

На основании полученных результатов по комбинационной способности, значение эффектов и вари-

анс комбинационной способности были ранжированы на три категории - от низкого до высокого, что позволит наглядно оценить комбинации на устойчивость по вкладу ОКС и СКС (табл. 2).

Низкие значения соответствовали эффектам от -7,2 до -0,82 в 2021 году и от -9,7 до -3,9 в 2022 году; средние значения равны 0,56 в первый год, а во второй год

Таблица 2. Ранжирования линий на основании значений ОКС и СКС, 2021-2022 годы
Table 2. Line rankings based on OKS and SKS values, 2021-2022

Значения ОКС		Значения СКС		Ранжирование
2021	2022	2021	2022	
(-7,2)-(-0,82)	(-9,7)-(-3,9)	12,9-22,5	14,4-34,3	Низкое
0,56	3,1-3,4	48,2-64,3	47,1-47,5	Среднее
3,3-9,5	5,5-11,1	80,4 -163	104-164	Высокое

Таблица 3. Результаты оценки ОКС и СКС линий гибридов капусты белокачанной у гибридов с разной степенью поражения внутренним ожогом, 2021-2022 годы
Table 3. Results of the assessment of the OKS and SCS of white cabbage hybrid lines in hybrids with different degrees of damage by internal burn, 2021-2022

Гибрид F ₁	Поражение заболеванием, %		ОКС 2021 год ¹		СКС 2021 год ²		ОКС 2022 год ³		СКС 2022 год ⁴	
	2021 год	2022 год	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Поражение до 10%										
Агр 82 x 270 Хн111	2,0	1,7	Н	Н	Н	В	Н	С	Н	Н
Тен4270хБс1ф	3,2	2,2	Н	Н	Н	Н	Н	Н	С	Н
Тен4270 x Яс25п	4,4	7,5	Н	Н	Н	Н	Н	С	С	Н
Поражение от 10,1 до 25,0 %										
Л79 x Агр 82	16,3	17,0	В	Н	В	Н	С	Н	В	Н
Яс25п x Л79	22,0	30,1	Н	В	Н	В	С	С	Н	В
Поражение от 25,1 до 50,0 %										
Тен4270х272Бр10	29,6	41,5	Н	В	Н	С	Н	В	С	В
269-824 x Тен 4270	24,5	30,1	В	Н	В	Н	В	Н	В	С
Поражение более 50%										
Л79х270 Хн111	82,3	75,8	В	Н	В	В	С	С	В	Н
269-824 x Юби122	65,6	64,2	В	С	В	С	В	С	В	С
269-824 x272Бр10	55,5	72,7	В	В	С	В	В	В	В	В

находились примерно в одном пределе 3,1 – 3,4. Высокие эффекты по ОКС характерны для линий со значениями в пределах от 3,3 до 11.1 в зависимости от года.

В таблице 3 представлены гибриды, разделенные на группы по степени поражения и вклады ОКС и СКС в проявление признака. Как показали результаты по оценке комбинационной способности, проявление признака в одних комбинациях происходит за счет вкладов ОКС, с другой стороны, у значительной доли гибридов вклад СКС линий способен значительно повлиять на проявление признака в сторону уменьшения или увеличения.

В высоко толерантной группе с поражением 2,0-7,5 % очень слабое поражение детерминировалось низкой ОКС обоих родителей или сочетанием низкой ОКС одного из родителей со средней ОКС и низкой вариан-сой СКС второго родителя.

Во второй группе с поражением до 25% один из

родителей имеет низкую ОКС и СКС по поражению, по второму родителю возможны вариации. Надо отметить, что такая же тенденция сохраняется у гибридов с поражением 24,5 и 29,6 % - из 3-й группы. При поражении от 30% до 50% и более, что не допустимо для гибридов, создаваемых для выращивания в южной зоне, одна или обе линии имеют высокую ОКС по поражению, по СКС возможны вариации от низкой до высокой, т.е в гибридах восприимчивых к ожогу проявление признака детерминируется в большей степени аддитивными эффектами генов.

Дисперсионный анализ методом Хеймана позволяет дать определение механизмам генетического контроля признака поражения tip burn на основании диаллельной схемы. А также выявить характер наследования признака поражения ожогом внутренних листьев кочана в рамках значений полученных в условиях Краснодарского края на представленных линиях (табл. 4).

Таблица 4. Компоненты генетической дисперсии по признаку поражения внутренним ожогом листьев кочана линий, 2021-2022 годы
Table 4. Components of genetic variance for damage by internal leaf burn of cabbage heads of lines, 2021-2022

Генетические компоненты	Значение		Генетические компоненты	значение	
	2021 год	2022 год		2021 год	2022 год
E	0,46	1,10	H1/D	2,07	1,60
D	968,2	637,5	$\sqrt{(H_1/D)}$	1,44	1,27
H ₁	2002,5	1021,4	$\frac{1}{2} \times F/V (D \times (H_1 - H_2))$	0,83	0,87
H ₂	1151,5	638,6	H ₂ /4H ₁	0,14	0,16
F	1509,4	854,6	h ₂	1825,5	536,5

Анализ генетических параметров по Хейману позволяет отметить ряд закономерностей. Существенно значимые показатели компонентов доминирования (H_1 , H_2), по абсолютной величине превышают значения компонента D , характеризующего аддитивное действие генов по признаку поражения верхушки внутренних листьев кочана растений капусты белокочанной. В системе генетического контроля степени развития «tip burn» превалируют неаддитивные гены, о чем свидетельствует компонент H_1 (200,5 и 1021,4), который имеет значение больше, чем D , как в первый, так и во второй год.

В детерминации признака имеет место внутрилокусное сверхдоминирование, что подтверждается параметром $H_1/D > 1$, а между локусами отмечено неаллельное взаимодействие типа комплементарного эпистаза. Полученные данные показывают, что значения H_1 и H_2 неравны, следовательно, доминантные и рецессивные определяющие признак аллели распределены между родительскими линиями асимметрично, что подтверждается отношением $H_2/4H_1$ (0,14 и 0,16). Так как $H_2/4H_1$ меньше теоретического значения (0,25) это указывает на неравномерное распределение аллелей с положительными и отрицательными эффектами.

Средняя степень доминирования ($\sqrt{(H_1/D)}$) больше 1 и в зависимости от года равна 1,44 и 1,27, что обуславливает наличие гетерозисного эффекта по данному признаку. Помимо этого, проявление признака в неустойчивых формах контролируется доминантными полигенами и является высоконаследуемым.

Отношение h_2/H_2 приблизительно равно 1,6, что указывает на то, что, по крайней мере, один ген или блок генов проявляют доминирование. Значение компонента F положительно и указывает

на преобладание числа доминантных аллелей над рецессивными.

Средняя степень доминирования в разных локусах различна в связи со значением компонента $\frac{1}{2} \times F/V$ ($D \times (H_1 - H_2)$), которое не равно 1, но близко по значению (0,83).

Таким образом, при подборе пар скрещивания необходимо учитывать, что проявление ожога в неустойчивых формах контролируется доминантными полигенами и является высоконаследуемым и, что в системе генетического контроля степени развития «tip burn» превалируют неаддитивные гены. Поэтому, необходимо при подборе пар для получения гибридов с минимальным поражением, необходимо отбирать линии с максимальным количеством рецессивных аллелей, что соответствует, как правило, низким значениям ОКС и СКС по признаку.

В 2023 году в конкурсное испытание были включены выделившиеся по комплексу признаков гибриды, полученные с участием линий с низкими ОКС по ожогу верхушки внутренних листьев кочана. В качестве стандарта был взят распространенный на юге иностранный гибрид F_1 Агрессор. По вегетационному периоду (количество дней от высадки рассады до массовой технической спелости) 3 перспективных комбинации относятся к среднепоздней группе, как и стандарт Агрессор F_1 . У остальных комбинаций продолжительность вегетационного периода составила 138 - 140 дней (табл. 5).

Существенная прибавка к стандарту по общей урожайности в размере от 13,4 до 71,3 % отмечается у гибридов F_1 (Агр82 $\times$ 270Хн111) и F_1 (Яс25п2-х Хн270-111). Остальные комбинации показали результаты на уровне стандарта. Стоит отметить, что выход товарной продукции у лучших по урожай-

Таблица 5. Характеристика выделившихся гибридов белокочанной капусты среднепозднего-позднего сроков созревания по хозяйственно ценным признакам, 2023 год

Table 5. Characteristics of the selected hybrids of white cabbage of mid-late-late ripening periods according to economically valuable traits, 2023

№№	Название гибрида	Вегетационный период	Общая урожайность, т/га	Товарность, %	Прибавка к стандарту, %	Проявление tip burn, %
215	Бс1ф $\times$ Юби122	140	59,7	95,0	-11,0	0
217	Агр82 $\times$ 270Хн111	119	76,1	93,0	13,4	0
218	Бс1ф $\times$ 270Хн111	138	62,8	96,3	-6,4	0
220	Тен4270-1а $\times$ Бс1ф	141	68,4	95,0	-1,9	0
221	Яс25п $\times$ Хн270-111	112	115,0	85,0	71,3	0
222	Бс1ф $\times$ Агр82	119	73,6	95,0	9,6	0
St	Агрессор	119	67,1	90,1	-	0
HCP ₀₅					11,8 %	

ности комбинаций составил 93,0 и 85 %. Проявления заболевания «tip burn» в изучаемых гибридах не было обнаружено.

По комплексу хозяйственно- ценных признаков и устойчивости к заболеванию выделено 2 среднепоздних гибрида лежкого плана (№№ 217, 222). Образец (Яс25п2 × Хн270-111), универсального назначения показал самую высокую урожайность– 115,0 т/га.

Выводы

В виду того, что внутренний ожог листьев является высоко наследуемым физиологическим расстройством и в большинстве восприимчивых комбинаций имеет характер сверхдоминирования

и эпистаза, стоит уделять особое внимание генетическому контролю в подборе генотипов. Наиболее эффективным методом отбора устойчивых форм для создания гетерозисных гибридов F₁, является оценка на общую и специфическую комбинационную способность с последующим строгим ранжированием по значениям эффектов и вариантов. В качестве родительских пар для получения высоко толерантных гибридов следует особое внимание уделять линиям с низкими эффектами по ОКС обоих родителей или можно включать линии со средней ОКС и низкой СКС. При этом, используя различные тестеры по устойчивости, достаточно провести оценку ОКС тестируемых линий на высоком фоне по питанию.

• Литература

1. Королева С.В., Шуляк Н.Г. Проявление ожога верхушки внутренних листьев кочана на гибридах белокочанной капусты среднепозднего и позднего сроков созревания. *Овощи России*. 2020;(4):84-87. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-4-84-87> <https://elibrary.ru/eyaaab>
2. Королева С.В., Дякунчак С.А., Юрченко С.А. Создание гибридов F₁ капусты белокочанной с комплексной устойчивостью на юге России. *Овощи России*. 2019;(4):16-20. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-4-16-20> <https://elibrary.ru/ztsxlm>
3. Королева С.В. Конвейер капусты для юга. *Картофель и овощи*. 2013;(7):17. <https://elibrary.ru/rhawot>
4. Шпак Л.И., Драмачук А.Л. Оценка по комплексу признаков поздних перспективных гибридных комбинаций капусты белокочанной. *Вестник*. 2018. С. 131. <https://elibrary.ru/eeecvtu>
5. Maruo T., Tipburn Johkan M. Plant Factory. Academic Press, 2020. С. 231-234. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00015-7>
6. Aloni B. Enhancement of leaf tipburn by restricting root growth in Chinese cabbage plants. *Journal of horticultural science*. 1986;61(4):509-513. <https://doi.org/10.1007/s00425-002-0937-8>
7. Yuan J. et al. Identification of genes related to tipburn resistance in Chinese cabbage and preliminary exploration of its molecular mechanism. *BMC plant biology*. 2021;(21):1-12. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03303-z>
8. Kuronuma T. et al. Tipburn severity and calcium distribution in *lisanthus* (*Eustoma Grandiflorum* (Raf.) Shinn.) cultivars under different relative air humidity conditions. *Agronomy*. 2018;8(10):218. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03303-z>
9. Kim K.D. et al. Tipburn occurrence according to soil moisture, calcium deficiency, and day/night relative humidity regime in Highland Kimchi Cabbage. 2021. <https://doi.org/10.7235/hort.20210065>
10. Okazaki K., Sakamoto K., Kikuchi R., Saito A., Togashi E., Kuginuki Y., Matsumoto S., Hirai M. Mapping and characterization of FLC homologs and QTL analysis of flowering time in *Brassica oleracea*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2007;(114):595-608. <https://doi.org/10.1007/s00122-006-0460-6>
11. Wang Sh., Wang Ch., Zhang X.-X., Chen X., Liu J.-J., Jia X.-F., Jia S.-Q. Transcriptome de novo assembly and analysis of differentially expressed genes related to cytoplasmic male sterility in cabbage. *Plant physiology and Biochemistry*. 2016;(105):224-232. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.04.027>
12. Su T. et al. Natural variation in a calreticulin gene causes reduced resistance to Ca²⁺ deficiency-induced tipburn in Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*). *Plant, Cell & Environment*. 2019;42(11):3044-3060. <https://doi.org/10.1111/pce.13612>
13. Kuronuma T., Watanabe H. Identification of the causative genes of calcium deficiency disorders in horticulture crops: A systematic review. *Agriculture*. 2021;11(10):906. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100906>
14. Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*. 1956;9(4):463.
15. Hayman B.I. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*. 1954;10(2):235-244.

• References (In Russ.)

1. Koroleva S.V., Shulyak N.B. Manifestation of tip burn on white cabbage hybrids of medium-late and late maturation. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(4):84-87. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-4-84-87> <https://elibrary.ru/eyaaab>
2. Koroleva S.V., Dyakunchak S.A., Yurchenko S.A. Development of F₁ hybrids of cabbage with complex resistance in the south of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(4):16-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-4-16-20> <https://elibrary.ru/ztsxlm>
3. Koroleva S.V. Cabbage conveyor for the south. *Potato and vegetables*. 2013;(7):17. <https://elibrary.ru/rhawot>
4. Shpak L.I., Dramanchuk A.L. Evaluation of late promising hybrid combinations of white cabbage by a set of traits. *Bulletin*. 2018. P. 131. <https://elibrary.ru/eeecvtu>

Об авторе:

Нелли Владимировна Полякова – научный сотрудник отдела овощеводства, автор для переписки, nelshul1994@gmail.com, SPIN-код: 5535-2149, <https://orcid.org/0000-0001-8847-9746>

About the Author:

Nellie V. Polyakova – Researcher of the Vegetable Growing Department, Corresponding Author, nelshul1994@gmail.com, SPIN-code: 5535-2149, <https://orcid.org/0000-0001-8847-9746>

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-59-63>
УДК:633.521:631.529(470.5)

К.П. Королёв*, А.Н. Якубенко, Э.Н. Якубенко

ФГАОУ ВО

«Тюменский государственный университет»
625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6

*Автор для переписки:

corolev.konstantin2016@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют
об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов: К. П. Королёв: концептуализация, разработка и обоснование схемы скрещиваний, проведение полевых исследований, написание и редактирование рукописи. А. Н. Якубенко, Э. Н. Якубенко: сбор, обработка, визуализация полученных экспериментальных данных.

Для цитирования: Королёв К.П., Якубенко А.Н., Якубенко Э.Н. Адаптивность гибридных популяций *Linum usitatissimum* L. в условиях Северного Завуралья. *Овощи России*. 2024;(5):59-63.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-59-63>

Поступила в редакцию: 02.07.2024

Принята к печати: 19.09.2024

Опубликована: 27.09.2024

Konstantin P. Korolev*,
Alina N. Yakubenko, Elina N. Yakubenko

Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education "Tyumen State University"
6, st. Volodarskogo, Tyumen, 625003, Russia

*Corresponding Author:

corolev.konstantin2016@yandex.ru

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

Authors' Contribution: K. P. Korolev: conceptualization, development and justification of the crossing scheme, conducting field studies, writing and editing the manuscript. A. N. Yakubenko, E. N. Yakubenko: collection, processing, visualization of the obtained experimental data.

For citation: Korolev K.P., Yakubenko A.N., Yakubenko E.N. Adaptability of hybrid populations of *Linum usitatissimum* L. in conditions of the Northern Transural region. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):59-63. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-59-63>

Received: 02.07.2024

Accepted for publication: 19.09.2024

Published: 27.09.2024

Адаптивность гибридных популяций *Linum usitatissimum* L. в условиях Северного Завуралья

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Отбор генотипов с высокими адаптивными свойствами для условий Тюменской области позволяет внести вклад в разработку региональной стратегии селекционно-генетических работ, подбору и выращиванию сортов в связи с меняющимися погодными-климатическими условиями.

Материал и методика. Исследования выполнены в течение трехлетнего периода (2020-2022 годы) в северной лесостепной зоне Тюменской области. Межсортовую гибридизацию (схема 4x4), оценку полученного материала по морфологическим (4 шт.), биологическим (1 шт.), адаптивным показателям (2 шт.) выполняли общепринятыми методиками. В качестве объектов исследования использованы 12 комбинаций льна-долгунца, впервые полученных в условиях региона.

Результаты. Определены достоверные различия ($p < 0,05^*$) между гибридными популяциями льна-долгунца по влиянию генотипа, среды, генотип-средового взаимодействия на степень реализации изученных признаков. Выявлены корреляционные взаимосвязи, определяющие содержание волокна в стебле ($r = 0,79-0,91^*$, период вегетации, высота растений, длина соцветия, мыклость), количества и массы семян на 1 растении ($r = 0,79-0,91^*$, длина соцветия, число, размер и растрескиваемость коробочки). По результатам индивидуального отбора в третьем гибридном поколении (F3) выделены раннеспелые (4 шт.), высокорослые ($n=4$), с максимальным количеством коробочек ($n=4$) и числа семян в них ($n=7$), содержанием волокна ($n=4$) в стебле комбинации.

Выводы. Гибридные комбинации льна-долгунца с высокими показателями стабильных свойств (G1, G3, G9, G10, G11), критериев продуктивности (G1, G2, G4, G7, G8, G9, G11, G12) могут иметь ценность в селекционной работе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лен-долгунец, гибриды, многофакторный анализ, индекс среды, адаптивность, продуктивность

Adaptability of hybrid populations of *Linum usitatissimum* L. in conditions of the Northern Transural region

ABSTRACT

Relevance. The selection of genotypes with high adaptive properties for the conditions of the Tyumen region allows us to contribute to the development of a regional strategy for breeding and genetic work, selection and cultivation of varieties in connection with changing weather and climatic conditions.

Material and methodology. The research was carried out over a three-year period (2020-2022) in the northern forest-steppe zone of the Tyumen region. Intervarietal hybridization (4x4 scheme), evaluation of the obtained material according to morphological (4 pcs.), biological (1 pc.), adaptive indicators (2 pcs.) was carried out using generally accepted methods. The objects of study were 12 combinations of fiber flax, first obtained in the region.

Results. Significant differences ($p < 0.05^*$) were determined between hybrid populations of fiber flax in the influence of genotype, environment, and genotype-environment interaction on the degree of implementation of the studied traits. Correlation relationships have been identified that determine the fiber content in the stem ($r = 0.79-0.91^*$, growing season, plant height, inflorescence length, softness, camber), the number and weight of seeds per plant ($r = 0.79-0.91^*$, inflorescence length, number, size and crackability of the capsule). Based on the results of individual selection in the third hybrid generation (F3), early ripening (4 pieces), tall ($n=4$), with the maximum number of bolls ($n=4$) and the number of seeds in them ($n=7$), fiber content ($n=4$) in the stem of the combination.

Conclusions. Hybrid combinations of fiber flax with high levels of stable properties (G1, G3, G9, G10, G11), productivity criteria (G1, G2, G4, G7, G8, G9, G11, G12) can be valuable in breeding work.

KEYWORDS:

fiber flax, hybrids, multivariate analysis, environmental index, adaptability, productivity

Введение

Выращивание льна определяется его комплексным использованием в различных отраслях промышленности, медицины, декоративном садоводстве. Потенциал сортов определяется их способностью формировать продуктивность при оптимальных условиях, однако в связи с меняющимися климатическими условиями, они также должны обладать и максимальной способностью к адаптации, которая является определяющим критерием для реализации генотипа в различных условиях выращивания [1-3]. Важным составляющим компонентом для селекции льна является проведение экологического испытания, использование в гибридизации в качестве исходных родительских форм перспективных современных сортов и образцов коллекции различного эколого-географического статуса, некоторых краевых форм и ценных гибридных линий местного экотипа [4,5,6].

Способы оценки свойств адаптивности апробированы на многих видах культурных растений. Выявлены различия между сортами чечевицы [7], картофеля [8], пшеницы [9, 10], подсолнечника [11]. Наибольший вклад генотип-средовых факторов на формирование количественных признаков установлен в условиях Пакистана [12] на растениях сои, кукурузы в Индии [13]. В исследованиях [14, 15, 16, 17] указывается на необходимость комплексной эколого-продукционной оценки сортов и форм культурных растений. На льне исследования в данном направлении фрагментарны, отражают поиск продуктивных форм, обладающих высоким адаптивным потенциалом: например, в условиях Беларуси (Институт льна НАН Беларуси) выявлены генотипы льна-долгунца, характеризующиеся высоким уровнем агро-адаптивного статуса [18,19], условиях Северо-Западного региона России (ФНЦ лубяных культур) выявлены сорта льна-долгунца с высокой урожайностью обладающих хорошей стрессоустойчивостью, генетической гибкостью, компенсаторной способностью, стабильностью, отзывчивостью на изменения условий выращивания [20, 21]. В исследованиях [22] определен вклад факторов среды в формирование продуктивности, выявлены стабильные сорта льна в трех агроэкологических пунктах Эфиопии. Отсутствие полноценной информации по реакции генотипов льна-долгунца на изменчивость экологического фактора в условиях Северного Зауралья требует проведение дополнительных исследований. Цель исследований

заключалась в выявлении гибридных комбинаций льна, характеризующихся адаптивностью и высоким уровнем проявления морфологических показателей.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследования использованы гибридные популяции льна-долгунца (F1-F3): ♀Ярок х ♂Грант (G1), ♀Ярок х ♂Alizee (G2), ♀Ярок х ♂Betertelsdorf 6884/60 (G3), ♀Alizee х ♂Грант (G4), ♀Alizee х ♂Ярок (G5), ♀Alizee х ♂Betertelsdorf 6884/60 (G6), ♀Грант х ♂Ярок (G7), ♀Грант х ♂Alizee (G8), ♀Грант х ♂Betertelsdorf 6884/60 (G9), ♀Betertelsdorf 6884/60 х ♂Ярок (G10), ♀Betertelsdorf 6884/60 х ♂Ярок (G11), ♀Betertelsdorf 6884/60 х ♂Ярок (G12). Межсортовую гибридизацию впервые проводили на Опытном полигоне для изучения генетического разнообразия культурных растений (Биостанция ТюмГУ «Озеро Кучак», Нижнетавдинский р-н, Тюменская обл., географические координаты: 57°21' с.ш. и 66°04' в.д.) по методике, предложенной А.Г. Рогашем и Г. В. Дунаевой [15]. Почва участка дерново-подзолистая, супесчаная с содержанием гумуса 3,6%, подвижных форм фосфора (P_2O_5) – 433,3 мг/кг почвы, обменного калия (K_2O) – 234,0 мг/кг почвы. Закладку опытов, проведение всех учетов и наблюдений проводили по Методическим указаниям [24].

Климатические условия характеризовались отклонениями от среднеемноголетних значений по температуре и количеству выпавших осадков. Гидротермический коэффициент (ГТК по Селянинову) за годы исследований различался от 1,2 (засушливый) до 1,6 (влажный). Статистическую обработку полученных данных выполняли методом многофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) по Б. А. Доспехову [25] в программе Statistica 6.0 (Statsoft Inc., США). Достоверность различий между генотипами определяли с использованием t-критерия Стьюдента (уровень значимости $p = 0,05$, $p = 0,01$). Экологическую оценку растений льна-долгунца выполняли согласно методу, предложенного S.A. Eberhart, W.A. Russel [26].

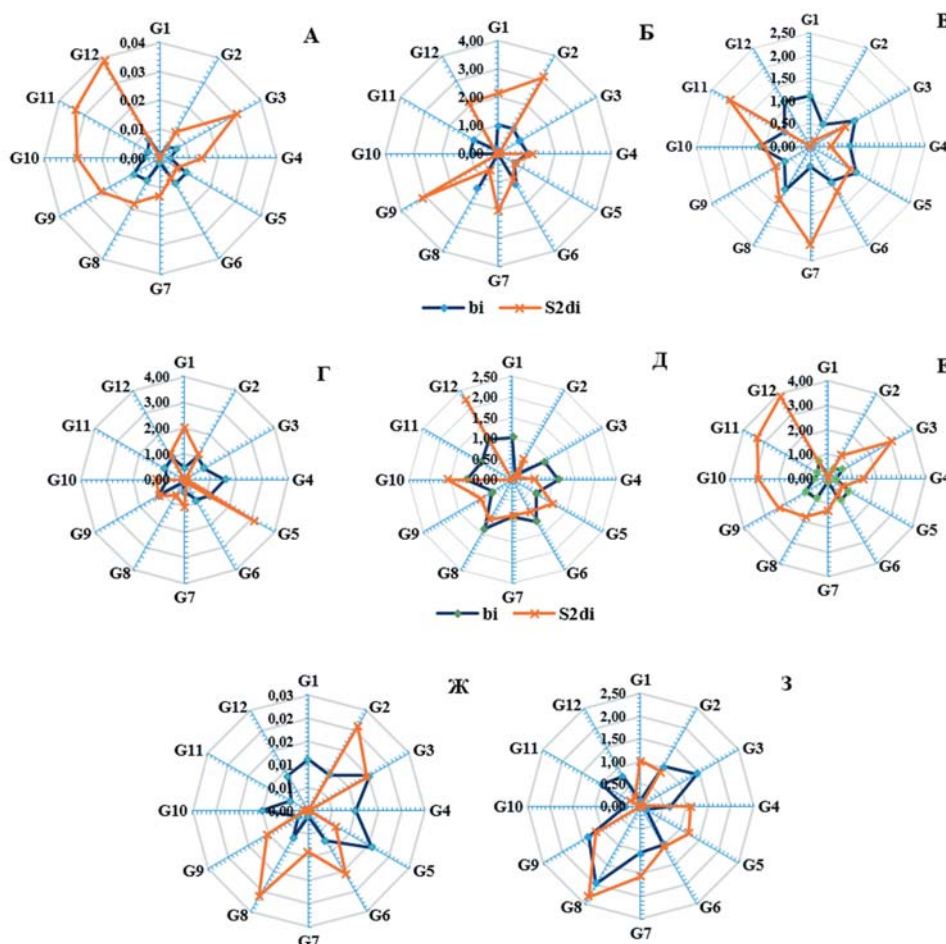
Результаты исследований

По результатам дисперсионного анализа (ANOVA) выявлены достоверные различия между гибридными комбинациями ($p > 0,05$, $p > 0,05$) (табл. 1). Значимость влияния генотип-средового взаимодействия была доказана, что позволило провести оценку их по адап-

Таблица 1. Результаты многофакторного дисперсионного анализа количественных признаков у льна-долгунца
Table 1. Results of multivariate analysis of variance of quantitative traits in fiber flax

Источник дисперсии	Степень свободы (df)	Средний квадрат (mS)						
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
Общее	27	-	-	-	-	-		-
Генотип (фактор А)	11	25,68 **	31,15 **	21,32 **	9,85 **	21,67 **	26,57 **	1,05
Среда (фактор Б)	2	88,15 **	69,55 **	102,57 **	11,39	55,19 *	31,15 *	8,12
Взаимодействие факторов (АхБ)	5	61,14 **	88,15 **	113,66 **	10,15 **	88,16 **	45,55 **	3,04
Случайное	10	13,63	21,17	10,04	5,10	11,39	10,87	0,89

Примечание: *различия достоверны при $p < 0,05$; ** $p < 0,01$. Признаки: период вегетации (А), длина соцветия (Б) высота растений (В), содержание волокна (Г), число коробочек на 1 растении (Д), растрескиваемость коробочки (Е), мыкость (Ж), сбежистость (З).



Примечание: период вегетации (А), высота растений (Б), масса стебля (В), масса волокна (Г), содержание волокна (Д), число коробочек (Е), число семян в 1 коробочке (Ж), мыклость (З)

Рис. Характеристика гибридных комбинаций льна-долгунца по параметрам адаптивности, Нижнетавдинский р-н, Тюменская область, 2020-2022 годы

Fig. Characteristics of hybrid flax-fiber flax combinations according to adaptability parameters, Nizhnetavdinsky district, Tyumen region, 2020-2022

тивным свойствам. Наибольшее влияние генотипа выявлено по всем признакам (исключение мыклость), средовые условия оказывали влияние на период вегетации, высоту растений, длину соцветия, число коробочек и их растрескиваемость, генотип-средовое взаимодействие обуславливало формирование всех показателей (исключение мыклость).

В Тюменской области в последние годы участились периоды с контрастным выпадением или недостатком влаги, проявлением негативного влияния пониженных температур в период прорастания и появления всходов, высоких – во время формирования вегетативных и генеративных органов, что в конечном итоге оказывает влияние на конечную продуктивность и качество продукции льна. Для выявления адаптивных свойств гибридных комбинаций проводили экологический тестинг, в результате которого выявлены различия между ними по комплексу изученных признаков и свойств (см. рис.)

Примечание: период вегетации (А), высота растений (Б), масса стебля (В), масса волокна (Г), содержание волокна (Д), число коробочек (Е), число семян в 1 коробочке (Ж), мыклость (З)

Важным направлением селекционных исследований является поиск генотипов растений с высоким потенциалом продуктивности и адаптивностью, при этом сложный характер фактора «генотип-среда», не всегда позволяет наиболее точно отобрать ценные генотипы

на раннем этапе селекции растений [18,19]. Следует иметь полную информацию о стабильности проявления признаков, прежде всего продуктивности, качества, достоверную характеристику более благоприятных сред для проведения индивидуального отбора.

Для определения адаптивного потенциала представленный набор родительских форм и гибридных комбинаций был подвергнут обработке методом Eberhart, Russell [26], в соответствии с которым были выделены несколько групп генотипов по отзывчивости на изменения условий выращивания. К первой, отзывчивым ($bi < 1$, $S2di = 0$) были отнесены G1-G4, G7, G8, G10-G12 (период вегетации); G3-G5, G7, G9-G12 (высота растений); G2, G4, G6, G7, G9, G11 (масса стебля); G1, G3, G4, G8, G10, G12 (масса волокна); G2-G5, G7-G12 (содержание волокна); G1-G4, G7-G8, G10-G12 (число коробочек); G2, G4, G6-G9, G11-G12 (число семян в 1 коробочке); G1, G4-G6, G10-G12 (мыклость). В группу стабильных ($bi = 1,0$, $S2di = 0$) вошли G10-G11 (высота растений); G1 (содержание волокна). Слабой отзывчивостью ($bi > 1$, $S2di = 0$) по периоду вегетации характеризовались G5, G6, G9; по высоте растений – G1, G2, G4, G6, G8; массе стебля – G1, G3, G5, G8, G10-G12; массе волокна – G2, G9, G11; содержанию волокна – G4, G6, G8, G10, G12; числу коробочек – G5, G6, G9; числу семян в 1 коробочке – G1, G3, G5, G7, G8, G10; мыклости – G2, G3, G7-G9.

Таблица 2. Корреляционная матрица количественных признаков у гибридных популяций льна-долгунца, 2020-2022 годы

Table 2. Correlation matrix of quantitative traits in hybrid populations of fiber flax, 2020-2022

r	ПВ	ВР	ДС	СВ	ЧК	ЧС	РК	Р	М	
ПВ	1,00	0,43	0,55*	0,51	0,61*	0,53	0,40	0,20	0,39*	а
ВР	0,43	1,00	0,70**	0,74**	0,65*	0,80**	0,64*	-0,11	0,81*	б
ДС	0,55*	0,70**	1,00	0,68**	0,81**	0,77**	0,63*	0,22	0,34*	в
СВ	0,51	0,74**	0,68**	1,00	-0,35*	0,10	-0,15	-0,01	0,64*	г
ЧК	0,61	0,65*	0,81**	0,35	1,00	0,69**	0,52	0,04	-0,25	д
ЧС	0,53	0,80**	0,77**	0,10	0,69**	1,00	0,51	0,72**	-0,11	
РК	0,40	0,64*	0,63*	-0,15	0,52	0,51	1,00	0,43	0,02	
Р	0,20	-0,11	0,22	-0,01	0,04	0,72**	0,43	1,00	0,09	
М	0,39	0,81**	0,34	0,64**	-0,25	-0,11	0,02	0,09	1,00	
С	0,19	0,71**	0,45	0,73**	-0,15	0,03	0,01	0,10	-0,19	

Примечание: *различия достоверны при $p < 0,05$; Признаки: период вегетации (ПВ), высота растений (ВР), длина соцветия (ДС), содержание волокна (СВ), число коробочек на 1 растении (ЧК), число семян в 1 коробочке (ЧС), размер коробочки (РК), растрескиваемость коробочки (Р), мыклость (М). Сила связи: очень слабая (а; $r = 0,0-0,3$), слабая (б; $r = 0,3-0,5$), средняя (в; $r = 0,5-0,7$), сильная (г; $r = 0,7-0,9$), очень сильная (д; $r = 0,9-1,0$)

Изученные гибридные комбинации, различающиеся по набору морфо-биологических признаков, подвергали обработке методом корреляционного анализа. В результате, была установлена различная степень сопряженности признаков (табл.2).

Выявлена достоверная ($p < 0,05$) сильная корреляционная связь ($r = 0,72-0,81^*$), которой характеризовались показатели, определяющие продуктивность растений льна-долгунца (размеры, число коробочек, и семян в них, масса и содержание волокна, мыклость) с высотой растений и длиной соцветия. Средней силой связи ($r = 0,50-0,70^*$) характеризовались признаки периода вегетации и некоторые параметры коробочек. Слабая связь ($r = 0,34-0,45$) была отмечена между длиной соцветия и мыклостью, период вегетации с высотой растений. Очень слабая прямая и обратная связь ($r = 0,01-0,25$) была определена у гибридов льна между периодом вегетации, высотой растений, содержанием волокна и критериями коробочек, мыклостью.

Выводы

На основании проведенных исследований достоверно установлено влияние генотипа, средовых условий и взаимодействия генотипа с окружающей средой. Наибольший вклад в формирование вегетацион-

ного периода вносили фактор Б (43,5-61,2%), высоты растений – фактор АхБ (37,8-41,1%), массы стебля – фактор АхБ (35,7-54,8%), содержание волокна – фактор А (35,7-56,9%), числа коробочек – фактор Б (43,6-62,3%), числа семян в 1 коробочке – фактор АхБ (53,6-57,9%). К отзывчивым генотипам по периоду вегетации было отнесено 9 комбинаций, по высоте растений – 8 шт., по массе стебля – 6 шт., по массе волокна – 9 шт., содержанию волокна – 7 шт., по числу коробочек – 9 шт., числу семян в 1 коробочке – 6 шт., по мыклости – 7 шт. В группу стабильных вошли 5 комбинаций по признакам высоты растений, содержанию волокна. Остальные генотипы были отнесены к слабоотзывчивым. К гибридным комбинациям, имеющим практическую ценность для дальнейшего индивидуального отбора, можно отнести комбинации ♀Ярок х ♂Грант (G1), ♀Ярок х ♂Alizee (G2), ♀ Alizee х ♂Грант (G4), ♀ Грант х ♂Ярок (G7), ♀ Грант х ♂ Alizee (G8), ♀ Грант х ♂ Betertelsdorf 6884/60 (G9), ♀ Betertelsdorf 6884/60 х ♂ Ярок (G11), ♀ Betertelsdorf 6884/60 х ♂ Ярок (G12). Перспективными комбинациям, сочетающие проявление высокого содержания волокна и стабильности являются ♀Ярок х ♂Грант (G1), мыклости ♀ Betertelsdorf 6884/60 х ♂ Ярок (G11), ♀ Грант х ♂ Betertelsdorf 6884/60 (G9).

Литература

1. Павлова Л.Н. Этапы развития селекционной работы по льну-долгунцу: достижения и основные направления. Научные достижения – льноводству. 2010. С. 39-45.
2. Жученко мл. А.А., Рожмина Т.А., Понажев В.П., Павлова Л.Н., Тихомирова В. Я., Сорокина О.Ю., Павлов Е.И., Поздняков Б.А., Усанова З.И. Эколого-генетические основы селекции льна-долгунца. Тверь: Тверской ГУ, 2009. 272 с.
3. Жученко А.А. Роль адаптивной системы земледелия в растениеводстве XXI века. Коммерческие сорта новых культур Российской Федерации. Москва: ИКАР, 2003. С.10-15.
4. Кутузова С.Н., Брач Н.Б., Пороховинова Е.А., Павлов А.В., Шаров И.Я. Проблема селекции льна-долгунца и исходный материал для их решения в коллекции ВИР. Научные достижения – льноводству. 2010. С. 28-35.
5. Soto-Cerda B. J., Diederichsen A., Ragupathy R., Cloutier S. Genetic characterization of a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) suitable for association mapping studies and evidence of divergent selection between fiber and linseed types. *BMC Plant Biology*. 2013;13:78. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-78>
6. Wang Z., Hobson N., Galindo L., Zhu S., Shi D., McDill J., Yang L., Hawkins S., Neutelings G., Datla R., Lambert G., Galbraith D.W., Grassa C.J., Geraldine A., Cronk Q.C., Cullis C., Dash P.K., Kumar P.A., Cloutier S., Sharpe A.G., Wong G.K., Wang J., Deyholos M.K. The genome of flax (*Linum usitatissimum*) assembled de novo from short shotgun sequence reads. *The Plant Journal*. 2012;72(3):461-473. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2012.05093.x>
7. Mohebdini M., Dehghani, H., Sabaghpour, S.H. Stability of performance in lentil (*Lens culinaris* Medic.) Genotypes in Iran. *Euphytica*; 2006.(149):343-352. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9086-7>
8. Mushinskiy A.A., Aminova E.V., Fedotova L.S., Dergileva T.T. Evaluation of potato tubers of Nevsky variety and selection hybrids by amino acid composition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624(1):012155. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012155>
9. Суринов Н.А. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур сибирской селекции и пути его совершенствования (пшеница, ячмень, овес). Новосибирск. 2011. 708 с.
10. Abdulahi A. Stability analysis of seed yield in safflower genotypes in Iran *Acta Agronomica Hungarica*. 2009;57(2):189-195. <https://doi.org/10.1556/AAgr.57.2009.2.10>
11. Abdulhamid M., Qabil N., El-Saadony F. Genetic variability, correlation and path analyses for yield and yield components of some bread wheat genotypes. *Journal of Plant Production*. 2017;(8):845-852. <https://doi.org/10.21608/JPP.2017.40877>
12. Rani R., Raza G., Ashfaq, H., Rizwan M., Shimelis H., Tung M. H., Arif M. Analysis of genotype × environment interactions for agronomic traits of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) using association mapping. *Frontiers in Genetics*. 2023;13. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1090994>

13. Singamsetti A., Shahi J.P., Zaidi P.H., Seetharam K., Vinayan M.T., Kumar M., Singla S., Madankar K. Genotype × environment interaction and selection of maize (*Zea mays* L.) hybrids across moisture regimes. *Field Crops Research*. 2021;(270):108224. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108224>
14. Duarte J.B., de Zimmermann M.J.O. Correlation among yield stability parameters in common bean. *Crop Science*. 1995;35(3):905912. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500030046x>
15. Padi F.K. Genotype × environment interaction and yield stability in a cowpea-based cropping system. *Euphytica*. 2007;(158):11–25. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9420-8>
16. Purchase J.L., Hatting H., Van Deventer C. S. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*. 2000;(17):101–107. <https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878>
17. Adugna W., Labuschagne M. Parametric and nonparametric measures of phenotypic stability in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica*. 2003;(129):211–218. <https://doi.org/10.1023/A:1021979303319>
18. Полонская Л.М. Потенциал генетической изменчивости у сортов масличного льна (*Linum usitatissimum* L.). *Вестник нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. 2004;(1):58–63.
19. Королёв К.П. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Беларуси. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(3):615–621. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus> <https://elibrary.ru/yzkvvmh>
20. Степин А.Д., Рысев М.Н., Рысева Т.А., Уткина С.В., Романова Н.В. Скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(2):141–151. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151> <https://elibrary.ru/aybhkh>
21. Куземкин И.А., Рожмина Т.А. Скрининг образцов коллекции льна-долгунца по урожайности и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(5):666–674. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674> <https://elibrary.ru/npvlyv>
22. Worku N., Heslop-Harrison J.S., Adugna W. Diversity in 198 Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum*) accessions based on morphological characterization and seed oil characteristics. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2015; 62:1037–1053 <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0207-1>
23. Рогаш А.Р. К вопросу о методике гибридизации льна. *Лен и конопля*. 1969;(6):32–33.
24. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.); под ред. В.З. Богдана. Устье: РНДУП «Ин-т льна», 2011. 12 с.
25. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Альянс, 2014. 351 с.
26. Eberhart S.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;(6):36–40.
7. Mohebdini M., Dehghani, H., Sabaghpour, S.H. Stability of performance in lentil (*Lens culinaris* Medic.) Genotypes in Iran. *Euphytica*; 2006.(149):343–352. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9086-7>
8. Mushinskiy A.A., Aminova E.V., Fedotova L.S., Dergileva T.T. Evaluation of potato tubers of Nevsky variety and selection hybrids by amino acid composition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624(1):012155. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012155>
9. Surin N.A. Adaptive potential of Siberian grain crop varieties and ways of its improvement (wheat, barley, oats). Novosibirsk. 2011. 708 p. (In Russ.)
10. Abdulahi A. Stability analysis of seed yield in safflower genotypes in Iran *Acta Agronomica Hungarica*. 2009;57(2):189–195. <https://doi.org/10.1556/AAgr.57.2009.2.10>
11. Abdulhamid M., Qabil N., El-Saadony F. Genetic variability, correlation and path analyses for yield and yield components of some bread wheat genotypes. *Journal of Plant Production*. 2017;(8):845–852. <https://doi.org/10.21608/JPP.2017.40877>
12. Rani R., Raza G., Ashfaq, H., Rizwan M., Shimelis H., Tung M. H., Arif M. Analysis of genotype × environment interactions for agronomic traits of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) using association mapping. *Frontiers in Genetics*. 2023;13. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1090994>
13. Singamsetti A., Shahi J.P., Zaidi P.H., Seetharam K., Vinayan M.T., Kumar M., Singla S., Madankar K. Genotype × environment interaction and selection of maize (*Zea mays* L.) hybrids across moisture regimes. *Field Crops Research*. 2021;(270):108224. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108224>
14. Duarte J.B., de Zimmermann M.J.O. Correlation among yield stability parameters in common bean. *Crop Science*. 1995;35(3):905912. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500030046x>
15. Padi F.K. Genotype × environment interaction and yield stability in a cowpea-based cropping system. *Euphytica*. 2007;(158):11–25. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9420-8>
16. Purchase J.L., Hatting H., Van Deventer C. S. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*. 2000;(17):101–107. <https://doi.org/10.1080/02571862.2000.10634878>
17. Adugna W., Labuschagne M. Parametric and nonparametric measures of phenotypic stability in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Euphytica*. 2003;(129):211–218. <https://doi.org/10.1023/A:1021979303319>
18. Полонская Л.М. Потенциал генетической изменчивости у сортов масличного льна (*Linum usitatissimum* L.). *Вестник нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. 2004;(1):58–63. (In Russ.)
19. Королёв К.П. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Беларуси. *Сельскохозяйственная биология*. 2017; 52. (3): 615–621. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus> <https://elibrary.ru/yzkvvmh>
20. Stepin A.D., Rysev M.N., Ryseva T.A., Utkina S.V., Romanova N. V. Screening of fiber flax varieties from the VIR collection according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of the Northwestern region. *Agricultural science Euro-North-East*. 2020;21(2):141–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151> <https://elibrary.ru/aybhkh>
21. Kuzemkin I.A., Rozhmina T.A. Screening of flax collection accessions for yield and adaptability parameters in the conditions of the North-West region. *Agricultural Science of Euro-North-East*. 2022;23(5):666–674. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674> <https://elibrary.ru/npvlyv>
22. Worku N., Heslop-Harrison J.S., Adugna W. Diversity in 198 Ethiopian linseed (*Linum usitatissimum*) accessions based on morphological characterization and seed oil characteristics. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2015; 62:1037–1053 <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0207-1>
23. Rogash A.R. On the Methodology of Flax Hybridization. *Flax and Hemp*, 1969; (6): 32–33. (In Russ.)
24. Methodical Guidelines for Studying the Flax Collection (*Linum usitatissimum* L.); edited by V.Z. Bogdan. Usty: RNDUP "In-t Flax", 2011. 12 p. (In Russ.)
25. Dospekhov B.A. Field Experiment Methodology (with the Basics of Statistical Processing of Research Results). Moscow: Alliance, 2014. 351 p. (In Russ.)
26. Eberhart S.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;(6):36–40.

• References (In Russ.)

1. Pavlova L.N. Stages of development of selection work on fiber flax: achievements and main directions. Scientific achievements - flax growing. 2010. P.39–45. (In Russ.)
2. Zhuchenko A.A., Rozhmina T.A., Ponazhev V.P., Pavlova L.N., Tikhomirova V.Ya., Sorokina O.Yu., Pavlov E.I., Pozdnyakov B.A., Usanova Z.I. Ecological and genetic bases of selection of fiber flax. Tver: Tver State University, 2009. 272 p. (In Russ.)
3. Zhuchenko A. A. The role of the adaptive farming system in crop production of the 21st century. Commercial varieties of new crops of the Russian Federation. Moscow: IKAR, 2003. P.10–15. (In Russ.)
4. Kutuzova S.N., Brach N.B., Porokhovina E.A., Pavlov A.V., Sharov I.Ya. The problem of fiber flax breeding and the source material for their solution in the VIR collection. Scientific achievements in flax growing. 2010. P. 28–35. (In Russ.)
5. Soto-Cerda B. J., Diederichsen A., Ragupathy R., Cloutier S. Genetic characterization of a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) suitable for association mapping studies and evidence of divergent selection between fiber and linseed types. *BMC Plant Biology*. 2013;13:78. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-78>
6. Wang Z., Hobson N., Galindo L., Zhu S., Shi D., McDill J., Yang L., Hawkins S., Neutelings G., Datla R., Lambert G., Galbraith D.W., Grassa C.J., Gerales A., Cronk Q.C., Cullis C., Dash P.K., Kumar P.A., Cloutier S., Sharpe A.G., Wong G.K., Wang J., Deyholos M.K. The genome of flax (*Linum usitatissimum*) assembled de novo from short shotgun sequence reads. *The Plant Journal*. 2012;72(3):461–473.

Об авторах:

Константин Петрович Королёв – кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, автор для переписки, corolev.konstantin2016@yandex.ru, SPIN-код: 9597-4011, <http://orcid.org/0001-0001-9595-3493>

Алина Николаевна Якубенко – студент бакалавриата

Элина Николаевна Якубенко – студент бакалавриата

About the Authors:

Konstantin P. Korolev – Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Corresponding Author, corolev.konstantin2016@yandex.ru, SPIN-code: 9597-4011, <http://orcid.org/0001-0001-9595-3493>

Alina N. Yakubenko – undergraduate student

Elina N. Yakubenko – undergraduate student

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-64-72>
УДК: 634.775.1:581.9

Н.А. Голубкина^{1*}, Н.А. Багрикова²,
В.А. Лапченко³, Е.В. Лапченко³,
Т.С. Науменко², Г.Д. Левко¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14
² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» 298648, Россия, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52
³ Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН филиал ФИЦ ИНБЮМ 298188, Россия, Республика Крым, г. Феодосия, пос. Курортное, ул. Науки, 24
*Автор для переписки: segolubkina45@gmail.com

Финансирование. Работа проводилась в соответствии с договором о научном сотрудничестве между ФГБНУ ФНЦО и «НБС-ННЦ», а также в рамках темы Гос. задания № 124030100098-0 (Лапченко В.А., Лапченко Е.В.) и Гос. заданий ФГБНУ «НБС-ННЦ» № 123091200005-9, 122041900097-3 и 122041100253-1 (Багрикова Н.А., Науменко Т.С.)

Конфликт интересов. Голубкина Н.А. является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2008 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Вклад авторов: Н.А. Голубкина: концептуализация, проведение биохимических исследований, написание и редактирование рукописи. Н.А. Багрикова, В.А. Лапченко, Е.В. Лапченко и Т.С. Науменко: сбор материала и подготовка проб для анализа, а также редактирование рукописи. Г.Д. Левко: валидация и курирование данных.

Для цитирования: Голубкина Н.А., Багрикова Н.А., Лапченко В.А., Лапченко Е.В., Науменко Т.С., Левко Г.Д. Биохимический состав натурализованных на территории Крымского полуострова *Opuntia humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii* var. *lidheimeri* и перспективы их использования. *Овощи России*. 2024; (5): 64-72. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-64-72>

Поступила в редакцию: 20.05.2024

Принята к печати: 11.08.2024

Опубликована: 27.09.2024

Nadezhda A. Golubkina^{1*}, Natalia A. Bagrikova^{2*},
Vladimir A. Lapchenko³, Helene V. Lapchenko³,
Tatiana S. Naumenko², Gennady D. Levko¹

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

² Federal State Budgetary Institute of Science «Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center RAS»

52, Nikitsky spusk, vil. Nikita, Yalta, Republic of the Crimea, 298648, Russia

³ T.I. Viazemsky Karadag scientific station – Nature reserve of RAS

24, Nauki str., Kurortnoye settlement, Feodosia, Republic of Crimea, 298188, Russia

*Corresponding Author: segolubkina45@gmail.com

Funding. The investigation was achieved according to the agreement on the scientific cooperation between Federal Scientific Vegetable Center and Nikitsky Botanic Garden and according to the topic of government assignments № 124030100098-0 (Lapchenko V.A., Lapchenko H.V.) and № 123091200005-9, 122041900097-3 and 122041100253-1 (Bagrikova N.A., Naumenko T.S.)

Conflict of interest. Golubkina N.A. has been a member of the editorial board of the journal "Vegetable crops of Russia" since 2008, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

Authors Contribution: Golubkina N.A.: conceptualization, biochemical analysis and writing the draft and final version of the manuscript. Bagrikova N.A., Lapchenko V.A., Lapchenko H.V. and Naumenko T.S.: collection of samples and sample preparation for the analysis and also manuscript editing. Levko G.D.: validation and data curation.

For citation: Golubkina N.A., Bagrikova N.A., Lapchenko V.A., Lapchenko H.V., Naumenko T.S., Levko G.D. Biochemical composition of three *Opuntia* species *O. humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii* var. *lidheimeri*. Prospects of their utilization. *Vegetable crops of Russia*. 2024; (5): 64-72. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-64-72>

Received: 20.05.2024

Accepted for publication: 11.08.2024

Published: 27.09.2024

Биохимический состав натурализовавшихся на территории Крымского полуострова *Opuntia humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii* var. *lidheimeri* и перспективы их использования

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Опуния отличается высокой экологической адаптивностью и широко распространена во многих странах мира. Устойчивость к дефициту воды и высокая биологическая активность определяют перспективность ее выращивания в качестве сырья для пищевой и фармацевтической промышленности. Опуния хорошо растет в Крыму, встречается в Астраханской области и даже в средней полосе России. Оценка перспектив выращивания опунии в Крыму для практического применения предполагает изучение биохимических характеристик, вариативность которых в значительной степени определяется местом произрастания.

Материал и методы. Уровень антиоксидантной активности и титруемую кислотность устанавливали титрометрически, содержание полифенолов – спектрофотометрически, накопление моносахаров и общее содержание сахаров определяли феррицианидным методом, содержание слизи – гравиметрически.

Результаты. Исследование биохимических характеристик кладодий, соцветий и плодов 3 видов опунии: *Opuntia humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii*, – собранных на Южном и Юго-восточном побережье Крыма, выявило широкую вариативность содержания слизи в плодах (4.3-16.56% на сухую массу), сахаров, и общей антиоксидантной активности. Содержание полифенолов снижалось в ряду: соцветия (18.4-21.0)>плоды (11.7-18)>кладодий (10.2-20.0). Уровень накопления моносахаров в плодах достигал (6.2-31) % и в кладодиях (8.1-16.0%). Общее содержание сахаров в плодах было 32.6-95%, в кладодиях (15.5-29.7%). Содержание селена было выше в кладодиях (102-176 мкг/кг с.м.), чем в плодах (46.8-72 мкг/кг с.м.). Наибольший уровень антиоксидантной активности и титруемой кислотности были у *O. engelmannii*, в то время как максимальное содержание сахаров, слизи и самый высокий уровень индекса вкуса были характерны для *O. humifusa*. Однако, масса плодов была минимальной у *O. humifusa* и максимальной у *O. engelmannii*. Результаты предполагают перспективы использования плодов, кладодий и соцветий всех трех видов опунии с предпочтительным применением *O. humifusa* в пищевой промышленности, косметике и фармакологии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

опуния, биохимические характеристики, перспективы применения.

Biochemical composition of three *Opuntia* species *O. humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii* var. *lidheimeri*. Prospects of their utilization

ABSTRACT

Relevance. *Opuntia* distinguished by high adaptability is widespread in many countries of the world. Tolerance to water deficiency and high biological activity provide prospects of its cultivation for food and pharmaceutical industry. In Russia *Opuntia* is grown in the Crimea, Caucasus, Donbass, Astrakhan region and even in the Central Russia. Evaluation of the *Opuntia* cultivation efficiency in the Crimea for various utilization supposes the importance of its biochemical characteristics which variability greatly depends on the place of habitat.

Materials and Methods. Total antioxidant activity and titratable acidity were determined using titration methods, polyphenol content – using spectrophotometric method, monosaccharide and total sugar concentrations were assessed via reaction with ferricyanide, mucilage levels were determined gravimetrically.

Results. Investigation of cladode, inflorescence and fruit biochemical parameters of three *Opuntia* species: *O. humifusa*, *O. phaeacantha*, *O. engelmannii*, – gathered at the Southern and South-Eastern part of the Crimean peninsular revealed wide variability of fruit mucilage (4.3-16.56% d.w.), sugar and total antioxidant activity. Polyphenol content decreased according to: inflorescence (18.4-21.0) > fruit (11.7-18) > cladodes (10.2-20.0). Fruit monosaccharide content reached (6.2-31) % while in cladodes these values were in the range of 8.1-16.0%. Total sugar content was equal to 32.6-95% in fruit and 15.5-29.7% in cladodes. Concentration of selenium as a natural antioxidant was higher in the cladodes (102-176 µg/kg d.w.) than in fruit (46.8-72 µg/kg d.w.). The highest levels of the total antioxidant activity and titratable acidity were registered in *O. engelmannii* while the highest sugar, mucilage and taste index were typical for *O. humifusa*. Nevertheless, *O. humifusa* was characterized by the lowest fruit mass (6.0-6.3 g) contrary to *O. engelmannii* (36-40 g). The results suppose prospects of fruit, cladode and inflorescence utilization in food industry, cosmetics and pharmacology with the preference to *O. humifusa*.

KEYWORDS:

Opuntia, biochemical characteristics, prospects of utilization

Check for updates



Введение

Род *Opuntia* Mill. характеризуется значительным разнообразием, образуя множество разновидностей, форм и гибридов как *in situ*, так и *ex situ*, и включает по данным разных авторов [1-3] и баз данных [4,5] от 90 до 250 видов. В нативном ареале опунции произрастают в Южной и Северной Америке и на прилегающих островах. Многие виды были интродуцированы и широко распространились в Европе, Африке, Азии, Австралии, на Канарских островах, не менее 27 видов являются инвазионными в разных регионах земного шара [6,7]. Широкий спектр мест обитания обусловлен способностью опунций произрастать в условиях дефицита воды при среднегодовом количестве осадков от 250 до 1200 мм [8], а также значительной генетической вариабельностью и высокой экологической адаптивностью растений [9,10], связанной, в частности, с максимальной эффективностью фотосинтеза и усвоения воды по сравнению с растениями C3 и C4 [9-11].

На территории Российской Федерации натурализовавшиеся растения опунций отмечены на Черноморском побережье Кавказа, Северном Кавказе, в Нижнем Поволжье, на Донбасе, Крымском полуострове [7, 12-16]. Наибольшее количество видов натурализовались на территории Крымского полуострова, так как климатические условия региона, в частности южного побережья, подходят для культивирования опунций в открытом грунте. Наиболее распространены являются три вида: опунция приземистая (*O. humifusa* (Raf.) Raf.), опунция команчская (*O. phaeacantha* Engelm. f. *rubra* Späth.) и опунция Энгельманна разновидность Линдгеймера (*O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm. var. *lindheimeri* (Engelm.) B.D. Parfitt & Pinkava) [15].

В то же время следует отметить, что наибольшей популярностью в мире пользуется *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. благодаря высоким вкусовым качествам плодов, отсутствию колючек и высокому урожаю в засушливых регионах. Промышленное выращивание этого вида осуществляется в Италии, Испании, Мексике, Бразилии, Чили, Аргентине и Калифорнии [16,17]. В условиях Италии масса плодов опунции *O. ficus-indica* достигает 100–270 г [18]. В связи с вышесказанным, наибольшее количество исследований биологически активных соединений опунции проведено именно на этом виде опунции, в то время как биохимический состав других видов исследован в меньшей степени, что представляется особенно важным в связи с высокой вариабельностью биохимических показателей в зависимости от места произрастания, времени года и возраста растений [19-21].

Интерес к опунциям значительно вырос в последние десятилетия в связи со значительными перспективами их использования (не только плодов, но и кладодий) в самых разнообразных отраслях народного хозяйства благодаря высокому содержанию полифенолов, витаминов, беталаиновых пигментов, слизи и пищевых волокон [22-24].

Цель настоящей работы – установить содержание биологически активных соединений и антиоксидантов в разных частях растений трех видов опунций *O. humifusa*, *O. engelmannii*, *O. phaeacantha*, натурализовавшихся на Южном и Юго-Восто́чно́м побережье Крыма.

Материалы и методы

Образцы соцветий, плодов и кладодий трех видов опунций *O. humifusa*, *O. engelmannii*, *O. phaeacantha* собирали в период июнь-август 2022 г. на территориях природных заповедников «Мыс Мартыан» (44°30'38" с. ш. 34°15'25" в. д.) на Южном берегу Крыма и «Карадагский» (44°93'61" N, 35°23'33" E) в юго-восточной части полуострова. Образцы измельчали, высушивали при комнатной температуре до постоянной массы и гомогенизировали.

Содержание полифенолов определяли спектрофотометрически с помощью реактива Фолина-Чиокалтеу [25]. 1 г сухого порошка опунции экстрагировали в течение часа при 80°C 20 мл 70 % этанола. Раствор охлаждали до комнатной температуры, переносили количественно в 25 мл мерную колбу и доводили до метки 70 % спиртом. Полученный экстракт перемешивали и фильтровали через складчатый фильтр. В мерную колбу на 25 мл добавляли 1 мл экстракта, 2,5 мл насыщенного раствора карбоната натрия Na_2CO_3 и 0,25 мл разбавленного вдвое дистиллированной водой реактива Фолина-Чиокалтеу. Полученную смесь после интенсивного перемешивания доводили до метки дистиллированной водой. Через час после окончания реакции измеряли показатель поглощения раствора при 730 нм на спектрофотометре Unico 2804 UV (США). Содержание полифенолов рассчитывали по стандартной кривой, полученной с использованием 6 растворов галловой кислоты (Sigma) в интервале концентрации 0-90 мкг/мл. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.).

Для определения антиоксидантной активности (АОА) использовали метод визуального титрования, основанный на титровании раствора 0.01 N KMnO_4 в кислой среде этанольным экстрактом опунции до обесцвечивания, свидетельствующего о полном восстановлении Mn^{+6} до Mn^{+2} [25]. В качестве внешнего стандарта использовали галловую кислоту. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.).

Моносахара определяли феррицианидным методом, основанным на реакции моносахаридов с феррицианидом калия [26]. Общее содержание сахаров устанавливали аналогично после кислого гидролиза водного экстракта 20 % соляной кислотой. В качестве внешнего стандарта использовали фруктозу. Результаты выражали в % на сухую массу.

Титруемую кислотность определяли потенциометрически путем титрования 50 мл смеси образца с водой при соотношении 1:5 0.1 N раствором NaOH до pH 8.1 на иономере Эксперт 001 (Эконикс, Россия). Результаты представляли в мг-экв лимонной кислоты на г сухой массы [27].

Индекс вкуса (ИВ) плодов опунции определяли на основании общего содержания сахаров и титруемой кислотности [28] по формуле:

$$TI = TA + TS/(20 \times TA),$$

где *TI* – индекс вкуса, *TA* – титруемая кислотность, *TS* – общее содержание сахаров.

Содержание слизи устанавливали гравиметрически [29]. Порошок высушенных плодов опунции гомогенизировали с дистиллированной водой (1:2) и оставляли на 24 часа при комнатной температуре. Смесь отфильтровывали через нейлоновую ткань, получаемый гель центрифугировали при 10000 об/мин в течение 30 минут, после чего добавляли трехкратный объем 95 % этилового спирта и смесь оставляли при комнатной температуре на 2 часа. Осадок отделяли и высушивали при 70°C до постоянного веса.

Содержание селена определяли флуориметрическим методом [30]. Высушенные гомогенизированные образцы разлагали смесью азотной и хлорной кислот с последующим восстановлением селената (Se^{+6}) в селенит (Se^{+4}) действием 6 N HCl. Концентрацию Se определяли по величине флуоресценции комплекса (пиазоселенола) селенистой кислоты с 2,3-диаминонафталином в гексане по величине эмиссии при 519 нм при длине волны возбуждения 376 нм. Повторность трехкратная. Точность определения контролировалась путем использования в каждом определении внешнего стандарта порошка стеблей кервеля, обогащенного Se, с концентрацией Se 1865 мкг/кг.

Результаты исследования подвергали статистической обработке с использованием теста Дункана и компьютерной статистической программы Excel.

Результаты и обсуждения

На территории Крымского полуострова и в других регионах многие виды опунций используются в зеленом строительстве, в том числе для создания рокариев, так как растения прекрасно размножаются вегетативным способом, образуют плотные группы. Кроме того, разные виды опунций применялись в работах по укреплению эрозионных склонов и песчаных массивов. Кроме того, растения отличаются необычностью форм, обильным цветением и яркой окраской спелых плодов [7,15]. В Никитском ботаническом саду готовят компоты из плодов опунций [31]. В настоящее время три вида, являющиеся объектами наших исследований, в Крыму рассматриваются как инвазионные виды, так как внедряются в естественные сообщества. Поэтому при использовании этих видов необходим строгий контроль за их распространением за пределы мест культивирования

[7]. Имеются данные, что в других регионах земного шара плоды и кладодии этих видов имеют более широкое применение в пищевой, сельскохозяйственной, фармацевтической, косметической и других отраслях, так как плоды используются при изготовлении конфет, желе, джемов, безалкогольных напитков, добавок в пищу, красителей [32-35], в косметологии [36], при лечении онкологических заболеваний [37], кладодии – для очистки сточных вод [38,39], растения – в качестве живых изгородей, в том числе для проведения границ сельскохозяйственных угодий, а также в зеленом строительстве [34, 40].

Для расширения спектра направленного использования этих видов опунций необходимо проведение биохимического анализа не только плодов, но также кладодий и соцветий. На рисунке 1 представлены общий вид кладодий и плодов опунций *O. humifusa*, *O. phaeacantha* и разновидности *O. engelmannii*, произрастающих на территории Крыма. В соответствии с размерами плодов *O. humifusa* – 2.0–5.0 см длина и 1.2–2.2 см диаметр, *O. phaeacantha* 3.0–5.5 см длина, 2.0–3.1 см диаметр, *O. engelmannii* – 3.0–8.0 см длина, до 3.0–4.7 см диаметр [7], наиболее крупные плоды имеют массу до 39 г, мелкие до 6 г (табл. 1). По сравнению с плодами *O. ficus-indica*, выращиваемой в Италии в промышленном масштабе, плоды произрастающих в Крыму видов отличаются меньшими размерами, что определяет существенно более низкую массу плодов.

Показатели антиоксидантного статуса

Данные табл. 1 свидетельствует о высокой антиоксидантной активности произрастающих в Крыму опунций. Показательно, что максимальный уровень антиоксидантной активности характерен для соцветий опунции, что предполагает перспективность их использования для выделения биологически активных соединений. Результаты исследования свидетельствуют о снижении общей антиоксидантной активности в ряду: соцветия>плоды>кладодии. Наиболее выражено такое снижение для *O. engelmannii* (от 46 до 17.1 мг-экв ГК/г с.м.), и наименее выражено у *O. phaeacantha* (от 32.5 до 26.2 мг-экв ГК/г с.м.). Сходная закономерность наблюдалась и по показателю накопления полифенолов (табл. 1).



O. humifusa

O. phaeacantha f. rubra

O. engelmannii var. lindheimeri

Рис. 1. Общий вид кладодий и плодов произрастающих в Крыму видов опунций
Fig. 1. General view of cladodes and fruits of prickly pear, growing in Crimea

Таблица 1. Показатели антиоксидантного статуса и содержания слизи трех видов опунции, произрастающих в Крыму.
Table 1. Indicators of antioxidant status and mucus content of three prickly pear species, growing in Crimea

Показатель Parameter	Орган Organ	<i>O. humifusa</i>	<i>O. phaeacantha</i>	<i>O. engelmannii</i>
Масса, г Mass, g	Плод Fruit	6.3 b	15.4 b	38.9 a
Окраска лепестков Petal color	Соцветия Florets	желтый	красный	желтый
АОА, мг-экв ГК г сух.м. Antioxidant activity, mg GAE/g d.w.	Соцветия Florets Плоды Fruit Кладодии Cladodes	30.7 b 20.7 b 17.5 b	32.5 b 33.9 a 26.2 a	46.0 a 24.8 ab 17.1 b
ТР, мг-экв ГК г сух.м. Phenolics, mg GAE/g d.w.	Соцветия Florets Плоды Fruit Кладодии Cladodes	21.0 b 11.7 c 10.2 b	18.5 b 15.2 b 20.0 a	28.8 a 18.1 a 12.4 b
Селен, мкг/кг сух.м. Se,µg/kg d.w.	Плоды Fruit Кладодии Cladodes	46.8 b 147 b	52.3 b 105 c	74.9 a 176 a
ТА, мг-экв ЛК/г сух.м. Titratable acidity, mg-eq citric acid/g d.w.	Соцветия Florets Плоды Fruit Кладодии Cladodes	1.81 a 1.09 b 0.85 b	1.06 a 0.85 b 0.66 c	2.11 a 2.00 a 1.68 a
Индекс вкуса на сух. м. Taste Index	Плоды Fruit Кладодии Cladodes	5.00 c 2.59 a	2.80 b 1.83 b	3.02 b 2.65 a
Слизь, % на сух.м. Mucilage, % per d.w.	Плоды Fruit	16.5 a	4.30 c	8.23 b

АОА- общая антиоксидантная активность, ТР- общее содержание полифенолов, ТА- титруемая кислотность. Значения в рядах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p<0.05$

Выявлено, что доля полифенолов в общей антиоксидантной активности принципиально различается между тремя исследованными видами. У *O. humifusa* доля полифенолов в общей антиоксидантной активности кладодий достоверно меньше, чем в соцветиях и плодах, в то время как у *O. phaeacantha* доля полифенолов в кладодиях максимальна (рис. 2). Важно отметить, что среди трех исследованных видов опунций только у *O. humifusa* общая антиоксидантная активность соцветий в максимальной степени определялась содержанием полифенолов, в то время как для *O. engelmannii* этот показатель был достоверно ниже. Напротив, *O. phaeacantha* и *O. engelmannii* характеризовались наибольшим вкла-

дом полифенолов в антиоксидантную активность кладодий.

Установлено, что накопление природного антиоксиданта селена в трех исследованных видах опунции также неравномерно и, в отличие от распределения полифенолов и общей антиоксидантной активности, количество селена в кладодиях значительно превышало уровень накопления микроэлемента в плодах (табл. 1). Этот факт косвенно подтверждает важную физиологическую роль селена в росте и развитии опунции и свидетельствует о пищевой ценности кладодий. Известно, что селен способен защищать растения от разных форм оксидантного стресса, включая засуху, высокие температуры и инсоляцию [41].

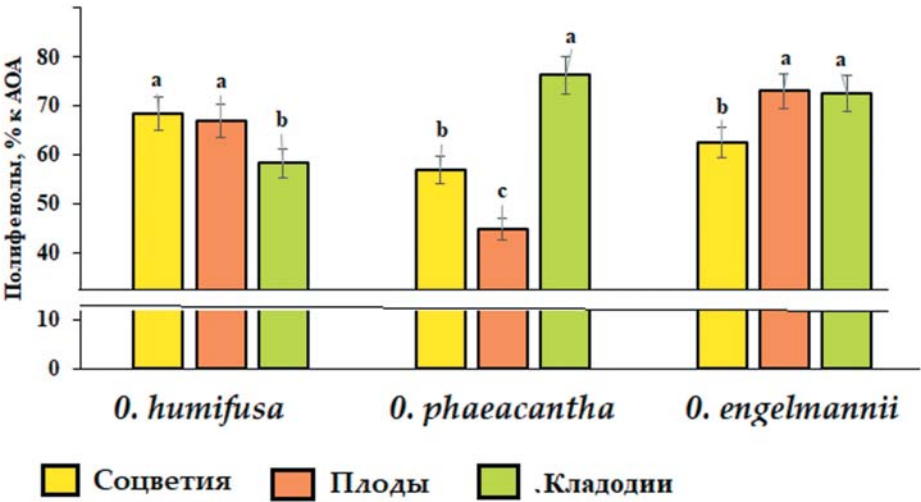


Рис. 2. Доля полифенолов в общей антиоксидантной активности соцветий, плодов и кладодий исследованных видов опунций. Для каждого вида опунции значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p<0.05$
Fig. 2. The share of polyphenols in the total antioxidant activity of flowers, fruits and cladodes of the studied prickly pear species. For each species values with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at $p<0.05$

Моно- и дисахара опунции и содержание органических кислот

Содержание сахаров и органических кислот определяет вкусовые качества плодов. Нами было установлено, что плоды опунции приземистой (*O. humifusa*) наиболее богаты сахарами, уровень которых в плодах этого вида превышает содержание сахаров у *O. engelmannii* и *O. phaeacantha*) в 2 и 2.67 раз соответственно. При этом сахара в плодах *O. humifusa* представлены в основном дисахарами при минимальном содержании моносахаров, в то время как в плодах *O. engelmannii* преобладают моносахара, а в плодах *O. phaeacantha* уровни накопления моно и дисахаров сравнимы. Другие особенности выявлены в накоплении сахаров кладодиями опунций, где для всех трех видов преобладают моносахара. Общее содержание сахаров в кладодиях было максимальным у *O. humifusa* и *O. engelmannii* и минимальным у *O. phaeacantha*. При

этом содержание сахаров в плодах было в среднем в 2 раза выше, чем в кладодиях (рис. 3).

Известно, что биосинтез органических кислот и сахаров в растениях взаимосвязаны. Действительно, более низкий уровень сахаров в кладодиях по сравнению с плодами находится в хорошем соответствии с аналогичным снижением уровня органических кислот, а коэффициент корреляции между титруемой кислотностью и концентрацией моносахаров составляет 0.749 (рис. 4).

Интересно отметить, что максимальное накопление органических кислот характерно для соцветий опунций, причем, различия в накоплении органических кислот между соцветиями и кладодиями наиболее выражено у *O. humifusa* (Рис. 5). Оценка вкусовых качеств плодов опунции на основании показателей кислотности и содержания сахаров выявила наиболее высокие вкусовые качества плодов у *O. humifusa* (см. табл. 1).

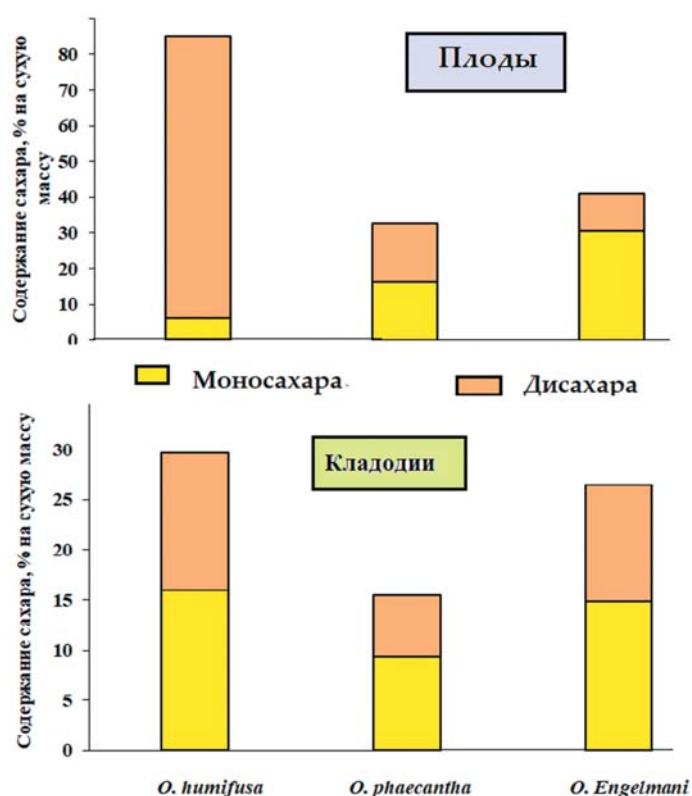


Рис. 3. Сахарный профиль исследованных видов опунций
Fig. 3. Sugar profile of *Opuntia* specie studied

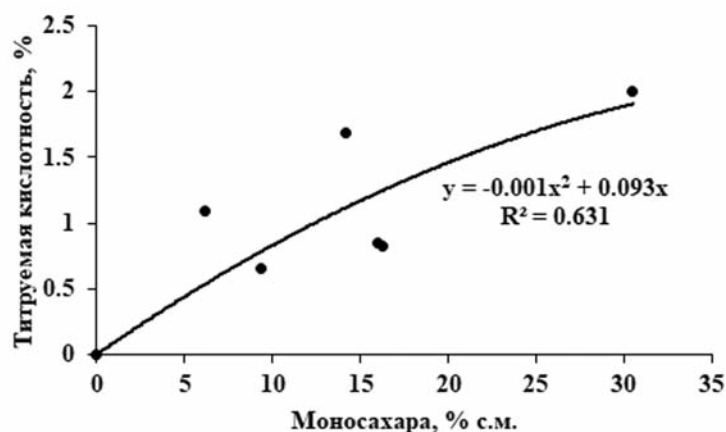


Рис. 4. Взаимосвязь между содержанием моносахаров и титруемой кислотностью в плодах и кладодиях трех видов опунции ($r=0.749$; $p<0.05$)
Fig. 4. Correlation between monosaccharide content and titratable acidity in *Opuntia* fruit and cladode ($r=0.749$; $p<0.05$)

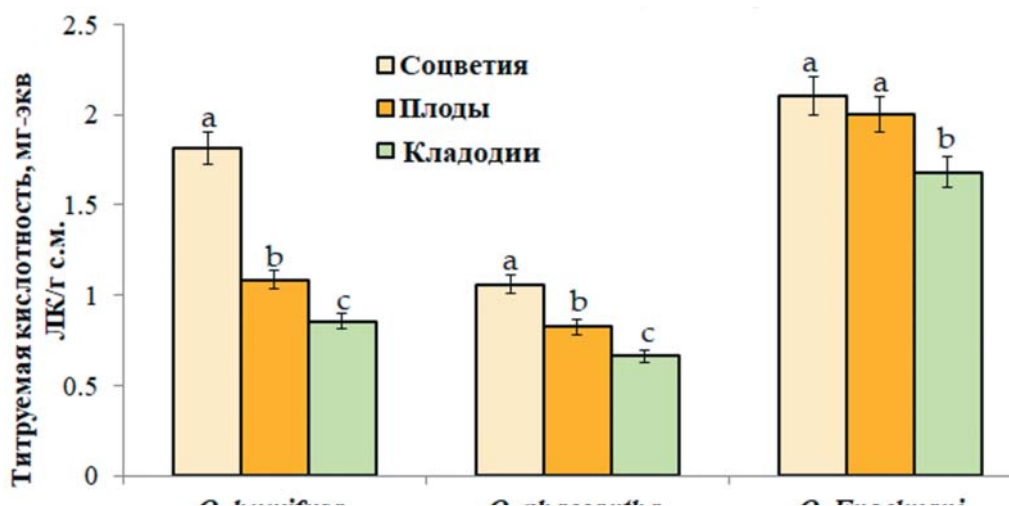


Рис. 5. Титруемая кислотность соцветий, плодов и кладодий изученных видов опунций. Для каждого вида опунции значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$
 Fig. 5. Titratable acidity of *Opuntia* florets, fruit and cladodes. For each species values with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$

Содержание слизи

Согласно литературным данным содержание слизи в плодах *O. ficus-indica*, составляет около 19% [42] (рис. 6). По результатам наших исследований установлены сходные значения содержания слизи в плодах *O. humifusa*, в то время как у *O. phaeacantha* они в 4 раза, а у *O. engelmannii* – в 2 раза меньше. В то же время ряд авторов относят *O. engelmannii* к группе опунций с высоким содержанием слизи [43]. Вполне вероятно, что разновидность *O. engelmannii* var. *lindheimeri*, произрастающая в Крыму, отличается меньшим содержанием слизи, по сравнению с видом, описанным в работе [43].

Анализ литературных источников и полученных нами данных (рис. 2–6; табл. 1, 2) определяет расширение спектра использования опунций в разных отраслях народного хозяйства (рис. 7).

Исследованные виды опунций, произрастающие на южном и юго-восточном побережье Крыма, в значительной степени отражают потенциальные возможности применения, указанные на рис. 7. Плоды *O. humifusa* благодаря высокому содержанию слизи и полифенолов в косметологии, микрокапсулировании, в качестве загустителя и, очевидно, перспективны для

получения биodeградируемых пленок для повышения сохранности фруктов, также как и в других регионах Европы, Америки, Азии [32,44]. Показана антиканцерогенная активность плодов *O. humifusa* в защите от рака молочной железы [37]. Высокая адсорбционная способность кладодий этого вида опунции используется в настоящее время для очистки сточных вод [38,39].

Плоды, кладодии и соцветия *O. phaeacantha* характеризуются наибольшей антиоксидантной активностью и содержанием полифенолов, что может служить основой получения функциональных продуктов питания с высоким содержанием антиоксидантов (табл. 2). В настоящее время плоды этого вида опунции в других регионах используются для приготовления конфет, джемов, желе, безалкогольных напитков и беталаиновых красителей [33]. Однако, данные настоящего исследования указывают на большую перспективность использования в пищевой промышленности *O. humifusa*, чем *O. phaeacantha* на основании более высокого содержания сахаров, слизи и высокого показателя индекса вкуса плодов. Результаты настоящего исследования свидетельствуют о перспективности использования также соцветий и кладодий как источников природных антиоксидантов.

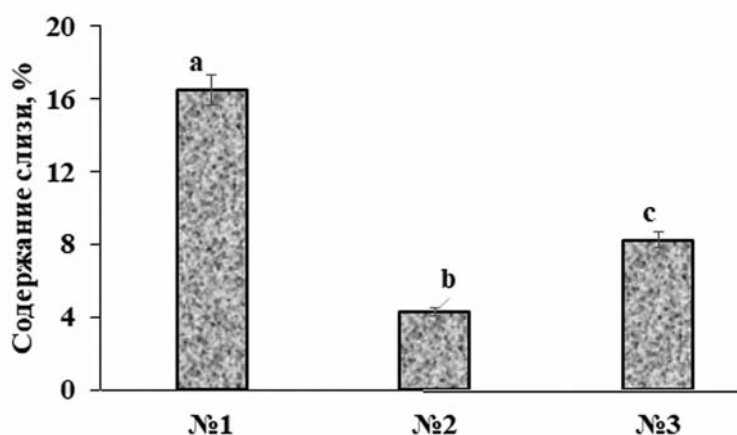


Рис. 6. Содержание слизи в плодах опунции (1 – *O. humifusa*, 2 – *O. phaeacantha* и 3 – *O. engelmannii* var. *lindheimeri*), в расчете на сухую массу. Значения с разными индексами достоверно различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$
 Fig. 6. Mucilage content in *Opuntia* fruit (1 – *O. humifusa*, 2 – *O. phaeacantha* и 3 – *O. engelmannii* var. *lindheimeri*), per d.w. Values with different letters differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$



Рис. 7. Использование опунций
Fig. 7. Prickly pear utilization

Таблица 2. Перспективы использования исследованных видов опунций
Table 2. Prospects of *O. humifusa*, *O. phaeacantha* and *O. engelmannii* utilization

Вид Species	Плоды Fruit	Кладодии Cladodes	Соцветия Florets
<i>O. humifusa</i>	Слизь, моносахара, сумма сахаров, ИВ Mucilage, monosaccharides, total sugar, Taste Index	–	Орг. к-ты Organic acids
<i>O. phaeacantha</i>	АОА	ТР, АОА	ТР
<i>O. engelmannii</i>	Орг. к-ты Organic acids Сумма сахаров Total sugar	Орг. к-ты, АОА, ИВ Organic acids, АОА Taste Index	Орг. к-ты, АОА organic acids

АОА- общая антиоксидантная активность, ТР- общее содержание полифенолов, ИВ- индекс вкуса

Что касается *O. engelmannii*, то в настоящее время этот вид чаще всего используют как декоративное растение, для создания живой изгороди, а плоды применяют в пищевой промышленности [34]. С другой стороны, высокое содержание органических кислот, сахаров и высокий уровень общей антиоксидантной активности предполагают существование более широкого спектра применения *O. engelmannii*.

Заключение

Результаты проведенного исследования представляют первую подробную биохимическую харак-

теристику распределения антиоксидантов, сахаров и селена между плодами, кладодиями и соцветиями трех видов опунций, произрастающих на южном и юго-восточном побережье Крыма и предполагают расширение спектра их использования в различных отраслях народного хозяйства. При этом необходимо проводить контроль за распространением этих видов за пределы мест их культивирования, исключить их использование в природных местообитаниях с целью укрепления оползневых склонов, так как это приводит к деградации растительных сообществ, в том числе сокращению численности редких видов.

• Литература

1. Backeberg C. Das Kakteen lexicon. Enumeratio diagnostic Cactacearum. Jena, 1976. 589 p.
2. Anderson E.F. The cactus family. Portland. 2001. 777 p.
3. Hunt D.R. CITES *Cactaceae* Checklist. England. 2016. 174 p.
4. The Plant List. 2013. Version 1.1. URL: <http://www.theplantlist.org/>
5. POWO – Plant of the World On-line. 2024. URL: <https://powo.science.kew.org/>
6. Novoa A., Le Roux, J.J., Robertson, M.P., Wilson, J.R.U., Richardson, D.M. Introduced and invasive cactus species: a global review. *AoB PLANTS*. 2015;7:plu078. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu078>
7. Багрикова Н.А., Рыфф Л.Э., Чичканова Е.С., Перминова Я.А. Характеристика плодов и семян натурализовавшихся в Крыму представителей рода *Opuntia* (Cactaceae). *Ботанический журнал*. 2021;106(10):1002-1015. <https://doi.org/10.31857/S0006813621100033>
<https://elibrary.ru/skhenh>
8. Le Houérou H.N. Cacti (*Opuntia* spp.) as a fodder crop for marginal lands in the Mediterranean basin. *Acta Hort.* 2002;581:21-46. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.581.1>
9. Mohamed-Yasseen Y., Barringer S.A., Splittstoesser W.E. A note on the uses of *Opuntia* spp. in Central/North America. *J. Arid Environ.* 1996;32:347-353.
10. Nobel P.S. Environmental Biology, in: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta-Barrios, E. (Eds.), *Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. FAO-Plant Production and Protection Paper, Rome*. 1995;132:36-48.
11. Ramadan M.F., Ayoub T.E.M., Rohn S. *Opuntia* spp.: Chemistry, bioactivity and industrial application. – Springer, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7>
12. Афанасьев В.Е. О способах иммиграции новых видов во флору Астраханской области. *Вестник Астраханского гос. технического университета*. 2009;1(48):89-91. <https://elibrary.ru/kufpvn>
13. Бялт В.В. *Opuntia* Mill. В кн.: Конспект флоры Восточной Европы. Т. 1. Санкт-Петербург; Москва: КМК; 2012. С.198-200.
14. Ostapko V.M. Escape in the wild of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. in Donbass. *Industrial Botany*. 2020;20(3):76-81. <https://elibrary.ru/zktdf>
15. Багрикова Н.А., Перминова Я.А. Характеристика и распространение натурализовавшихся в Крыму представителей рода *Opuntia* (Cactaceae). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):149-160. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-3-149-160>
<https://elibrary.ru/wujyeb>
16. Inglese P., Basile F., Schirra M., Cactus per fruit production, in: Nobel, P. S. (Ed.), *Cacti. Biology and Uses*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London. 2002. P.163-183.
17. Barba F.J., Garcia C., Fessard A., Munekatac P.E.S., Lorenzo J.M., Aboudiad A., Ouadiad A., Remize F. *Opuntia Ficus Indica* Edible Parts: A Food and Nutritional Security Perspective. *Food Rev. Int.* 2020;38(5):930-952. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1756844>
18. Rocchetti G., Pellizzoni M., Montesano D., Lucini L. Italian *Opuntia ficus-indica* Cladodes as Rich Source of Bioactive Compounds with Health-Promoting Properties. *Foods*. 2018;7(2):24. <https://doi.org/10.3390/foods7020024>
19. Dok-Go H., Lee K.H., Kim H.J., Lee E.H., Lee J., Song Y.S., Lee Y.H., Jin C., Lee Y.S., Cho J. Neuro-protective effects of antioxidative flavonoids quercetin, β -dihydroquercetin and quercetin 3-methyl ether, isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*. *Brain Res.* 2003;965:130–136. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(02\)04150-1](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(02)04150-1)
20. Stintzing F.C., Herbach K.M., Mosshammer M.R.; Carle, R.; Yi, W.; Sellappan, S.; Akoh, C.C.; Bunch, R.; Felker, P. Color, Betalain Pattern, and Antioxidant Properties of Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Clones. *J. Agric. Food Chem.* 2005;53:442–451.
21. Shoukat R., Cappai M., Pia G., Pilia L. An Updated Review: *Opuntia ficus indica* (OFI) Chemistry and Its Diverse Applications. *Appl. Sci.* 2023;13:7724. <https://doi.org/10.3390/app13137724>
22. Madrigal-Santillán E., García-Melo F., Morales-González J.A., Vázquez-Alvarado P., Muñoz-Juárez S., Zuñiga-Pérez C., Sumaya-Martínez M.T., Madrigal-Bujaidar E., Hernández-Ceruelos A. Antioxidant and anticlastogenic capacity of prickly pear juice. *Nutrients*. 2013;5(10):4145-4158. <https://doi.org/10.3390/nu5104145>
23. Nunez-Castelum J.A., Conzalez-Fernandez R., Hernandez-Herrera A., Campas-Baypoli O. N., Rodriguez-Ramirez R., Lobo-Galo N., Valero-Galvan J. Morphological characteristics, chemical composition and antioxidant activity of seeds by four wild *Opuntia* species from North of Mexico. *JPACD*. 2018;20:23-33.
24. Dubeux J.C.B., dos Santos M.V.F., da Cunha M.V., dos Santos D.C., de Almeida Souza R.T., de Mello A.C.L., de Souza T.C. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. *AFST*. 2021;275:114890. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>
25. Golubkina N.A., Kekina H.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Plant antioxidants and methods of their utilization. Moscow 2020, Infra-M, 257 p.
26. Swamy P.M. Laboratory Manual on Biotechnology. Rastogi Publications: Meerut, India, 2008. 617 p
27. ISO 750-2013 Fruit and vegetable products. Determination of titratable acidity. 2013. Standartinform, Moscow.
28. Navez B., Letard M., Graselly D., Jost J. 'Les critères de qualité de la tomate', Infos-Ctifl 1999, 155. P. 41-47.
29. Otálora M.C., Wilches-Torres A., Lara C.R., Cifuentes G.R., Gómez Castaño J.A. Use of *Opuntia ficus-indica* Fruit Peel as a Novel Source of Mucilage with Coagulant Physicochemical/Molecular Characteristics. *Polymers*. 2022;14:3832. <https://doi.org/10.3390/polym14183832>
30. Alfthan G.V. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry. *Anal. Chim. Acta*. 1984;165:187-194. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)85199-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)85199-5)
31. Компот из опунции. 2018. URL: <https://nikitasad.ru/bez-rubriki/kompot-iz-opuntsii/>
32. Yoon J.-A., Hahm S.-W., Son Y.-S. Nutrients Contents in Different Parts of Prickly Pear (*Opuntia humifusa*) and Possible Anti-Breast Cancer Effect 2009. *Korean J. Food Nutr.* 2009;22(4).
33. Obi K., Frolova L., Fuierer P. Preparation and performance of prickly pear (*Opuntia phaeacantha*) and mulberry (*Morus rubra*) dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*. 2020;208:312–320. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.006>
34. Waal H.O. *Opuntia ficus-indica* and *O. engelmannii* and its utilisation as processed animal feed. *Acta Hort.* 2022;1343:18. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1343.18>
35. Ngoc L.T.N., Moon J.Y., Lee Y.C. Beneficial Effects of *Opuntia humifusa* (Korean Cheonnyuncho) on Human Health Based on Antioxidant Properties: Systematic Review and Meta-Analysis. *Antioxidants (Basel)*. 2023;12(1):174. <https://doi.org/10.3390/antiox12010174>
36. Cha M.N., Jun H.I., Lee W.J., Kim M.J., Kim, M.K., Kim Y.S. Chemical

composition and antioxidant activity of Korean cactus (*Opuntia humifusa*) fruit. *Food Sci Biotechnol.* 2013;22:523-529. <https://doi.org/10.1007/s10068-013-0110-0>

37. Shin D.-S., Han G.-J., Oh S.-G., Park, H.-Y. Functional component analysis and physical property of Cheonnyuncho (*Opuntia humifusa*) powder. *Korean J. Food Preservation.* 2015;22(6):838-844.

<https://doi.org/10.11002/kjfp.2015.22.6.838>

38. Adjeroud N., Elabbas S., Merzouk B., Hammoui Y., Felkai-Haddache L., Remini H., Leclerc J.-P., Madani K. Effect of *Opuntia ficus-indica* Mucilage on Copper Removal from Water by Electrocoagulation-Electroflotation. *Technique. J. Electroanal. Chem.* 2018;811:26–36.

<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.12.081>

39. Salehi E., Emam-Djomeh Z., Fathi M., Askari G. Emerging Natural Hydrocolloids. John Wiley & Sons; Chichester, UK: 2019.

40. Багрикова Н.А., Голубкина Н.А., Науменко Т.С. Антиоксидантный статус натурализовавшихся в Крыму представителей рода *Opuntia*. Труды НОЦ-Ботанический сад МГУ. Вып. VII Роль коллекций в сохранении биоразнообразия суккулентных растений ex-situ: материалы Всероссийской Научно-Практической Конференции с Международным участием (Москва, 16-20 октября 2023). М., 2024. С.21-25.

41. Liu H., Xiao C., Qiu, T., Deng, J., Cheng, H., Cong, X., Cheng, S., Rao, S., Zhang, Y. Selenium Regulates Antioxidant, Photosynthesis, and Cell Permeability in Plants under Various Abiotic Stresses: A Review. *Plants.* 2023;12:44. <https://doi.org/10.3390/plants12010044>

42. Sepúlveda E., Saenz C., Aliaga E., Aceituno C. Extraction and Characterization of Mucilage in *Opuntia* spp. *J. Arid Environ.* 2007;68(4):534-545. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>

43. Melgar B., Pereira E., Oliveira M., Ferreira I.C.F.R. Extensive profiling of three varieties of *Opuntia* spp. fruit for innovative food ingredients. *Food Res. Int.* 2017;101:259-265.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.024>

44. Allegra A., Sortino G., Inglese P., Settanni L., Todaro A., Gallotta A. The Effectiveness of *Opuntia ficus-indica* Mucilage Edible Coating on Post-Harvest

Maintenance of 'Dottato' Fig (*Ficus carica* L.) Fruit. *Food Packag. Shelf Life.* 2017;12:135-141.

<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.010>

References (In Russ.)

7. Bagrikova N.A., Ryff L.E., Chichkanova E.S., Perminova YA.A. Features of fruits and seeds of *Opuntia* (*Cactaceae*) species naturalized in Crimea. *Botanicheskii zhurnal.* 2021;106(10):1002-1015

<https://doi.org/10.31857/S0006813621100033>.

<https://elibrary.ru/skhenh>

12. Afanasyev V.E. On methods of immigration of new species into the flora of the Astrakhan region. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University.* 2009;1(48):89-91. <https://elibrary.ru/kufpvv>

13. Byalt V.V. *Opuntia* Mill. In: Conspectus florae of Eastern Europe. Vol. 1. St. Petersburg; Moscow: KMK; 2012. P. 198-200.

14. Ostapko V.M. Escape in the wild of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. in Donbass. *Industrial Botany.* 2020;20(3):76-81.

<https://elibrary.ru/zkttdf>

15. Bagrikova N.A., Perminova Ya.A. Characteristics and distribution of the *Opuntia* (*Cactaceae*) representatives naturalized in Crimea. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding.* 2022;183(3):149-160.

<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-3-149-160>

<https://elibrary.ru/wujyeb>

25. Golubkina N.A., Kekina H.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Plant antioxidants and methods of their utilization. Moscow 2020, Unfra-M, 257 p.

31. Prickly pear kompote. 2018. URL: <https://nikitasad.ru/bez-rubriki/kompot-iz-opuntsii/>

40. Bagrikova N.A., Golubkina N.A., Naumenko T.S. Antioxidant status of *Opuntia* in the Crimea. Int. Conf. 'The role of collections in preserving the biodiversity of succulent plants ex situ' 2023. 16-20.10.23. Moscow State University Botanic Garden Reports, Moscow. 2024;(VII):21-25.

About the Authors:

Надежда Александровна Голубкина – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, автор для переписки, segolubkina45@gmail.com, SPIN-код: 9284-3454, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Наталья Александровна Багрикова – доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории природных экосистем Никитский Ботанический Сад РАН, nbagrik@mail.ru, SPIN-код: 9298-0370, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4927>

Владимир Александрович Лапченко – научный сотрудник, отдел изучения биоразнообразия и экологического мониторинга, Карадагский Природный Заповедник, ozon.karadag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6441-710X>

Елена Витальевна Лапченко – инженер, отдел изучения биоразнообразия и экологического мониторинга, Карадагский Природный Заповедник, elenalapchenko@gmail.com

Татьяна Сергеевна Науменко – канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ароматических и лекарственных растений, Никитский Ботанический Сад РАН, tanya_yalta@inbox.ru, SPIN-код: 3875-8548, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4927>

Геннадий Дмитриевич Левко – доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаб. зеленых, пряно-вкусовых и цветочных культур, <https://orcid.org/0000-0003-0865-3228>, gennadylevko@yandex.ru

About the Authors:

Nadezhda A. Golubkina – Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of Laboratory-Analytical Department, Correspondence Author, segolubkina45@gmail.com, SPIN-code: 9284-3454, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Natalia A. Bagrikova – Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher of Natural Ecosystems Laboratory, Nikitsky Botanic Garden RAS, nbagrik@mail.ru, SPIN-code: 9298-0370, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4927>

Vladimir A. Lapchenko – Researcher, Department of Biodiversity and Ecological Monitoring, Karadag Nature Reserve, ozon.karadag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6441-710X>

Helene V. Lapchenko – Engineer, Department of Biodiversity and Ecological Monitoring, Karadag Nature Reserve, elenalapchenko@gmail.com

Tatiana S. Naumenko – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Laboratory of aromatic and medicinal plants, Nikitsky Botanic Garden RAS, tanya_yalta@inbox.ru, SPIN-code: 3875-8548, <https://orcid.org/0000-0003-1220-4927>

Gennady D. Levko – Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-0865-3228>, gennadylevko@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-73-78>
УДК: 635.64:631.559(470.46)

Н.В. Тютюма,
А.Н. Бондаренко*

ФГБНУ «Прикаспийский аграрный
федеральный научный центр РАН»
416251, Россия, Астраханская область,
Черноярский район,
с. Солёное Займище, кв. Северный-8

*Автор для переписки: bondarenko-a.n@mail.ru

Финансирование. Исследования проведены в рамках тематики НИР 2022...2024 гг. FNMW-2022-0012 «Разработать усовершенствованные зональные ресурсосберегающие агротехнологии, обеспечивающие повышение плодородия почвы, продуктивности сельскохозяйственных культур и качества продукции в природно-климатических условиях Северного Прикаспия».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов: Н.В. Тютюма: обобщение полученных данных, написание-рецензирование и редактирование рукописи. А.Н. Бондаренко: закладка полевого опыта, сбор фактического материала, написание рукописи.

Для цитирования: Тютюма Н.В., Бондаренко А.Н. Приемы повышения урожайности томата в условиях Астраханской области. *Овощи России*. 2024;(5):73-78.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-73-78>

Поступила в редакцию: 30.05.2024

Принята к печати: 11.07.2024

Опубликована: 27.09.2024

Natalya V. Tutuma,
Anastasia N. Bondarenko*

Federal State Budgetary Scientific Institution
«Precaspian Agrarian Federal Scientific Center
of Russian Academy of Sciences»
Severniiy-8, Solenoe Zaimishche,
Chernoyarsk district, Astrakhan region,
416251, Russia

*Corresponding Author: bondarenko-a.n@mail.ru

Funding. The research was conducted within the framework of the research topic 2022...2024. FNMW-2022-0012 "Develop improved zonal resource-saving agricultural technologies that ensure increased soil fertility, crop productivity and product quality in the natural and climatic conditions of the Northern Caspian region."

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

Authors' Contribution: N.V. Tutuma: generalization of the obtained data, writing, reviewing and editing the manuscript. A.N. Bondarenko: laying out the field experiment, collecting factual material, writing the manuscript.

For citation: Tutuma N.V., Bondarenko A.N. Techniques for increasing tomato yield in Astrakhan region. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):73-78. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-73-78>

Received: 30.05.2024

Accepted for publication: 11.07.2024

Published: 27.09.2024

Приемы повышения урожайности томата в условиях Астраханской области

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Применение минеральных удобрений при возделывании томата в первую очередь должно обеспечивать наилучшие условия питания растений в течение всего периода вегетации в соответствии с их потребностью.

Методика исследований. Целью исследования являлось усовершенствование зональной технологии возделывания томата открытого грунта с использованием листовых подкормок препаратами KCL и KNO₃, направленной на повышение уровня урожайности при орошении в условиях севера Астраханской области. Полевые эксперименты были проведены на опытном орошаемом участке землепользования ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» в период с 2021 по 2023 годы. В ходе работы был проведен сравнительный анализ различных норм применения препаратов с выделением наиболее перспективного варианта.

Результаты. Трехлетними исследованиями было установлено, что применение калийного удобрения KCl с концентрацией 0,5%, на 30-40 сут. после высадки (цветение), 50 сут. после высадки и 60 сут. после высадки дало существенную прибавку урожая относительно контрольного варианта. По итогам проведенного анализа, в среднем за пять сборов, был выделен вариант Фон + 3 обработки KCl (концентрация 0,5%), который имел наиболее высокие показатели по урожайности – 130,56 т/га. Данный вариант существенно отличался как от контроля, так и от других вариантов находящихся в изучении. Прибавка относительно контроля составила + 4,08 т/га или + 3,2%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

томат, гибрид, удобрения, листовые обработки, урожайность

Techniques for increasing tomato yield in Astrakhan region

ABSTRACT

Relevance. The use of mineral fertilizers in the cultivation of tomato in the first place should ensure the best conditions for the nutrition of plants during the entire growing season in accordance with their need.

The research methodology was based on generally accepted methods for vegetable growing. The main goal of this study was to improve the zonal technology for cultivating tomato in open ground using leaf dressing with KCL and KNO₃ preparations, aimed at increasing the level of yield during irrigation in the north of the Astrakhan region. Field experiments were carried out at the experimental irrigated land use area of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" in the period from 2021 to 2023. The scientific novelty of the study was the theoretical and practical justification for the use of leaf dressing with KCL and KNO₃ in the cultivation of vegetables, aimed at the formation of highly productive commercial products.

Results. During the research work, a comparative analysis of various standards of use of drugs was carried out, highlighting the most promising option. Three-year studies found that the use of potassium fertilizer KCl with a concentration of 0.5%, 30... 40 days. after planting (flowering), 50 days. after planting and 60 days. after planting gave a significant increase in yield relative to the control option.

Conclusions. Based on the results of the analysis, an average of five charges, the KCl treatment variant Background + 3 (concentration 0.5%) was identified, which had the highest yield of 130.56 t/ha. This option was significantly different from both control and other options under study. The increase relative to the control was + 4.08 t/ha or + 3.2%.

KEYWORDS:

tomato, hybrid, fertilizers, leaf processing, yield

Введение

Томат довольно хорошо отзывается на внесение минеральных удобрений [1,2,3]. Также растения томата положительно отзываются на листовые обработки стимуляторами роста [4,5,6].

Почвенно-климатические условия Нижнего Поволжья позволяют при внесении минеральных удобрений в дозах N – 200-220, P₂O₅ – 90-120 и K₂O — 120-140 в сочетании с орошением получать в открытом грунте урожай томата на уровне 80-100 т/га [7,8]. По данным Бочарова В.Н. и др., на каштановых почвах Астраханской области однократное основное внесение минеральных удобрений в дозе N₁₈₀P₁₃₅K₈₀ и дробное (N₁₀₀P₁₃₅K₈₀ в основное и N₈₀ в подкормку) обеспечивает получение 85-90 т/га томата [9].

Представлены результаты Пастуховой А.В и др. за 2018-2020 годы, полученные при проведении научно-исследовательской работы по изучению влияния азотных удобрений карбамидно-аммиачной смеси (КАС-32) и аммиачной селитры и их различных доз (40, 80 и 120 кг д.в/га) на качество плодов различных сортов томата, выращиваемого в открытом и защищенном грунте подтвердили положительное влияние доз разных азотсодержащих удобрений на структуру, качество и безопасность получаемой продукции томата. Такой результат позволил рекомендовать проверенные методы и нормы внесения удобрений в период вегетации растений [17].

Томат из почвы с урожаем выносит большое количество питательных элементов. Средний вынос питательных элементов растением по данным Гончаренко В.Е.: 110 кг азота, 30 кг фосфора, 115 кг калия на один га при урожае 10 т [10].

По данным Григоровой М.С., Кузнецова Ю.В., в среднем на 10 т томата выносятся с урожаем азота 35 кг, фосфора 11 кг, калия 59 кг. Потребление элементов питания томата в разные периоды значительно меняется [11, 12, 13].

По данным Кузнецова Ю.В., в условиях Нижнего Поволжья в период массового цветения растения томата потребляли N, P₂O₅ и K₂O в соотношении 1:0,3:0,75, в фазе плодообразования - 1:0,3:1,25, а перед уборкой – 1:1,7:0,3. [13].

Целью исследования явилось испытание листовых подкормок препаратами KCL и KNO₃ на томате открытого грунта.

В задачи исследований входило:

1. Определить действие листовых подкормок препаратами KCL и KNO₃ на основные показатели роста и развития томата;
2. Выявить высокопродуктивный вариант в зависимости от листовых подкормок препаратами KCL и KNO₃ на томатах открытого грунта по основным хозяйственно ценным признакам и уровню урожайности.

Материал изучения

Хлористый калий (KCL), он же хлорид калия – это концентрированное калийное удобрение. Выпускаемое как в порошковом, так и гранулированном виде. Хлористый калий относится к высокоэффективным удобрениям для всех видов садовых и огородных культур. Хлористый калий восполняет в почве запасы калия, который активно потребляют растения, способствует обогащению почвы микроэлементами.

Калиевая селитра (нитрат калия) KNO₃. Калиевая селитра является универсальным удобрением для плодовых и овощных культур. Калиевая селитра (KNO₃) – это эффективное водорастворимое удобрение с высоким содержанием калия и азота.

Научное обоснование направления исследования

Впервые для условий севера Астраханской области, в орошаемых условиях, разработаны и научно обоснованы нормы применения листовых подкормок препаратами KCL и KNO₃ на томатах открытого грунта.

Условия, материалы и методы

В опыте был использован гибрид томата агрофирмы «Седек» Ажур F₁. Предшественником являлся овощебахчевой севооборот. Агротехника в опыте осуществлялась в соответствии с зональными рекомендациями. Минеральные удобрения в виде подкормок вносили через систему капельного орошения 6 раз за вегетацию в следующие фазы развития растений (после высадки рассады в грунт (через 10 суток), бутонизация, начало цветения, полное цветение, начало образования плодов). За три листовые обработки по фазам развития растений суммарная потребность в калийных удобрениях составила: калий хлористый, KCl – 0,45 кг, калиевая селитра, KNO₃ – 0,45 кг. Фоновое внесение

Схема опыта

Варианты	Концентрация раствора, %		
	30-40 сут. после высадки (цветение) – 1-ая декада июня	50 сут. после высадки 2-ая декада июня	60 сут. после высадки 3-ая декада июня
1. NPK – фон (контроль) Внесение: азотосодержащий NPK 16:16:16, аммиачной селитры, моноамонийфосфата, сульфата калия (подача трех последних видов удобрений осуществляется при помощи фертигации)	-	-	-
2. Фон + 3 обработки KCL	0,5	0,5	0,5
3. Фон + 3 обработки KCL	1,0	1,0	1,0
4. Фон + 3 обработки KNO ₃	0,5	0,5	0,5
5. Фон + 3 обработки KNO ₃	1,0	1,0	1,0

минеральных удобрений на 1 га в кг д. в.: аммиачная селитра – 111 кг, моноаммоний фосфат – 188 кг, сульфат калия – 168 кг.

Опыт был заложен в трехкратной повторности, схема размещения вариантов рендомизированная [14]. Размеры опытных делянок – 10 м².

Урожай учитывали за 5 сборов с каждой повторности с 10 учетных растений по мере созревания плодов, согласно Методическим указаниям по изучению подержанию мировой коллекции овощных, пасленовых культур (томаты, перцы, баклажаны, по ред. академика ВАСХНИЛ Д.Д. Брежнева, 1977), а также согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [15, 16].

Экономическая оценка изученных листовых подкормок (KCl и KNO₃) на культуре томата открытого грунта была проведена по Методике определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники (1998), а также Методическим рекомендациям [18, 19].

Результаты исследований и их обсуждение

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка весной до закладки опыта. Отборы почвенных проб на опытном поле были произведены 4 марта. В результате агрохимического анализа проведенного в ФГБУ «ЦАС «Волгоградский» испытательной лаборатории были получены следующие результаты по горизонту 0-20 см и 20-40 см (табл. 1).

Агрохимическая характеристика почвы после проведения опыта (по вариантам опыта). Проведенный агрохимический анализ почв опытного участка по вариантам опыта в горизонте почвы 0-20 см показал существенное изменение по содержанию основных элементов питания. Так, на контрольном варианте, так и на вариантах KCl (концентрация 1%) и на варианте KNO₃ (концентрация 0,5%) с листовыми обработками после окончания опыта содержание нитратного N существенно сократилось до 6,15-22,7 мг/кг почвы от первоначального значения 30,0 мг/га (табл. 2).

В вариантах Фон + 3 обработки KCl (концентрация 0,5%) и Фон + 3 обработки KNO₃ (концентрация 1%) наблюдался существенный рост данного показателя до

166-257 мг/кг. Содержание подвижного Р также оказалось велико, и по вариантам опыта разнилось от 39 до 93 мг/кг почвы. Несущественное увеличение содержания обменного К было отмечено только на варианте Фон + 3 обработки KCl (концентрация 0,5%) до 292,5 мг/кг почвы. В остальных вариантах отмечалось снижение данного показателя до 214,5-181 мг/кг, что существенно отличалось от первоначального значения 260,0 мг/кг при закладке полевого опыта.

Результаты показателей проб по хлоридам по горизонту 0-20 и 20-40 см не выявили каких-то существенных изменений по всем вариантам опыта, начиная от времени закладки опыта и после завершения опыта. В среднем, данный показатель составлял при закладке опыта 0,14 ммоль/100 г и после завершения опыта – 0,10-0,13 ммоль/100 г (табл. 3).

Структура и качество урожая. Учет товарных и нетоварных плодов, продуктивность с 1 растения, средняя масса плода, среднее число плодов на 1 растение проводился с 10 учетных растений делянки с каждой повторности. По итогам проведенного анализа, в среднем за пять сборов, был выделен вариант Фон + 3 обработки KCl (концентрация 0,5%), который имел наиболее высокие показатели по элементам структуры урожая (табл. 3).

Общее число плодов составляло 209,0 шт., что превышало контрольный вариант на 50 шт. Общий вес, так же оказался максимальным 31,6 кг с 10 учётных растений. Продуктивность с 1 растения была равна 3,2 кг, средний вес плода - 160,4 г, среднее число плодов на 1 растение было равным 21,8 шт.

Варианты листовых обработок (Фон + 3 обработки KCl (концентрация 1%), Фон + 3 обработки KNO₃ (концентрация 0,5%), Фон + 3 обработки KNO₃ (концентрация 1%), которые аналогично, присутствовали в опыте, были, менее результативными, по некоторым параметрам даже оказались ниже контрольного варианта (табл. 4). К примеру, продуктивность с 1 растения, которая варьировала от 2,5 до 3,1 кг, среднее число плодов от 15,8 до 18,8 шт., общая масса с делянки – от 24,8 до 30,5 кг. При этом в контроле общая масса был равен 24,0 кг, продуктивность с 1 растения 2,4 кг, средняя масса плода 159,8 г.

Таблица 1. Результаты показателей пробы по горизонтам
Table 1. Results of sample indicators by horizons

Показатели	Единица измерения	НД* на испытания	Фактическое значение	
			0-20 см	20-40 см
Гумус	%	ГОСТ 26213-91	0,88/0,92	0,84/0,88
pH _{KCL}		ГОСТ 26483-85	7,64/7,64	7,64/7,64
Аммонийный N	мг/кг	ГОСТ 26489-85	5,2/5,3	5,2/5,2
Нитратный N	мг/кг	ГОСТ 26951-86	30/3,0	4,9/4,9
Подвижный Р	мг/кг почвы	ГОСТ 26205-91	27,0/30,0	20,0/21,0
Обменный К	мг/кг почвы	ГОСТ 26205-91	260,0/270,0	225,0/232,0
Содержание хлора в слоях почвы	ммоль/100 г почвы или (%)	ГОСТ 26425-85	0,14/0,14	0,14/0,14

*НД – нормативные документы

Таблица 2. Результаты показателей пробы по горизонтам
Table 2. Results of sample indicators by horizons

Показатели	NPK – фон (контроль)			Фон + 3 обработки KCl (концентрация 0,5%)			Фон + 3 обработки KCl (концентрация 1%)			Фон + 3 обработки KNO ₃ (концентрация 0,5%)			Фон + 3 обработки KNO ₃ (концентрация 1%)		
	I повт*.	II повт.	среднее	I повт.	II повт.	среднее	I повт.	II повт.	среднее	I повт.	II повт.	среднее	I повт.	II повт.	среднее
0-20 см															
pH (водный)	7,0	7,1	7,05	7,1	7,1	7,1	7,2	7,2	7,2	7,1	7,1	7,1	7,2	7,2	7,2
Хлориды, %	0,004	0,005	0,004	0,011	0,011	0,011	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005
Хлориды, ммоль/100 г	0,10	0,15	0,125	0,30	0,30	0,3	0,10	0,10	0,1	0,10	0,15	0,125	0,15	0,15	0,15
Аммонийный N, мг/кг	5,2	4,7	4,95	64,6	62,0	63,3	2,8	2,2	2,5	2,6	2,5	2,55	66,9	68,5	67,7
Нитратный N, мг/кг	18,6	19,5	19,05	251	263	257	24,0	21,4	22,7	6,3	6,0	6,15	166	166	166
Подвижный P, мг/кг почвы	57	62	59,5	94	92	93	43	35	39	56	53	54,5	86	84	85
Обменный K, мг/кг почвы	194	192	193	298	287	292,5	210	216	213	181	181	181	210	219	214,5
20-40 см															
Хлориды, %	0,004	0,004	0,004	0,009	0,007	0,008	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004
Хлориды ммоль/100 г	0,10	0,10	0,10	0,25	0,20	0,22	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10	0,13	0,15	0,10	0,13

Повт* – повторность

Таблица 3. Средние показатели элементов структуры урожая (за 5 сборов) с 10 учётных растений, среднее за 2021-2023 годы
Table 3. Average indicators of crop structure elements (for 5 harvests) from 10 accounting plants, average for 2021-2023

Испытываемый фактор	Общее число плодов, шт.	Общая масса, кг	Число товарных плодов, шт.	Масса товарных плодов, кг	Число нетоварных плодов, шт.	Масса нетоварных плодов, кг	Продуктивность плодов с 1 растения, кг	Средняя масса плода, г	Среднее число плодов на 1 растения, шт.
NPK – фон (контроль)	150,0	24,0	146,0	23,2	4,0	0,8	2,4	159,8	15,5
Фон + 3 обработки KCl (концентрация 0,5%)	209,0	31,6	200,0	30,2	9,0	1,4	3,2	160,4	21,8
Фон + 3 обработки KCl (концентрация 1%)	186,0	27,8	181,0	27,1	5,0	0,7	2,8	152,1	18,8
Фон + 3 обработки KNO ₃ (концентрация 0,5%)	159,0	30,5	151,0	29,1	8,0	1,4	3,1	189,2	15,8
Фон + 3 обработки KNO ₃ (концентрация 1%)	156,0	24,8	149,0	23,9	7,0	0,9	2,5	158,2	16,8
HCP ₀₅	68,9	8,3	65,1	8,0	7,7	1,2	0,8	40,5	6,4

Биохимические анализы качества плодов томата Ажур F₁ были проведены в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный центр агрохимической службы «Астраханский» по следующим показателям: содержание сухого вещества, % (ГОСТ 31640-2012), массовая доля нитратов мг/кг (МУ 5048-89), массовая доля витамина С, % (ГОСТ 24556-89), массовая доля сахара, % (ГОСТ 8756.13-87).

По результатам биохимического анализа, приведенного в таблице 6 необходимо выделить следующее, что содержание сухого вещества (%) по всем вариантам опыта было в пределах ошибки особых отличий практически не наблюдалось. Диапазон данного показателя находился в пределах 5,8-6,1%.

Массовая доля нитратов во всех вариантах была даже ниже ПДК и варьировала от 33,1 до 40,5 мг/кг. Высокие показатели витамина С (%) были получены на двух вариантах с листовой обработкой KCl (концентрация 0,5%) и KNO₃ (концентрация 1%) от 52,0 до 52,9%. Вариант NPK – фон (контроль) и Фон+3 обработки KNO₃ (концентрация 1%) отличались высокими значениями массовой доли сахаров 2,9%. Необходимо отметить следующее, что изучаемый гибрид томата Ажур F₁ по результатам исследований оказался в итоге с низким значением массовой доли сахара менее 4,0% (ПДК) (табл. 4).

Результаты экономического анализа возделывания томата Ажур F₁ с использованием листовых подкормок препаратами KCl и KNO₃

Таблица 4. Биохимический анализ плодов после проведения опыта, среднее за 2021-2023 годы
Table 4. Biochemical analysis of fruits after the experiment, average for 2021-2023

Испытываемый фактор	Показатели																			
	содержание сухого вещества, %					массовая доля нитратов, мг/кг					массовая доля витамина С, %					массовая доля сахара, %				
	I	II	III	IV	среднее	I	II	III	IV	среднее	I	II	III	IV	среднее	I	II	III	IV	среднее
НРК – фон (контроль)	5,4	5,9	6,7	5,2	5,8	<30	44,0	< 30	46,0	37,5	34,3	46,6	30,3	49,8	40,3	1,6	1,3	3,3	2,4	2,2
Фон + 3 обработки KCl (концентрация 0,5%)	5,6	5,1	5,9	6,4	5,8	35,0	42,0	32,0	53,0	40,5	61,7	37,5	50,7	58,0	52,0	2,2	2,0	2,9	3,5	2,7
Фон + 3 обработки KCl (концентрация 1%)	5,7	5,3	6,1	6,7	6,0	37,5	32,0	< 30	47,0	36,6	35,4	44,1	48,9	63,0	47,9	2,8	2,6	2,9	3,3	2,9
Фон + 3 обработки KNO ₃ (концентрация 0,5%)	5,3	5,2	6,5	6,6	5,9	39,5	< 30	33,0	< 30	33,1	28,9	30,7	50,3	57,7	41,9	1,4	2,6	3,7	3,4	2,8
Фон + 3 обработки KNO ₃ (концентрация 1%)	5,6	6,1	6,3	6,2	6,1	31,0	57	< 30	36,0	38,5	40,7	40,2	64,3	66,4	52,9	2,4	2,6	3,3	3,3	2,9
ПДК	5-9%					150 мг/кг					34,0%					4,0%				
НСП ₀₅	0,7					12,3					14,2					0,7				

Таблица 5. Результаты экономического анализа возделывания томата Ажур F₁ с использованием листовых подкормок препаратами KCl и KNO₃, среднее за 2021-2023 годы
Table 5. Results of the economic analysis of the cultivation of tomato Azhur F₁ using foliar feeding with KCl and KNO₃, average for 2021-2023

Варианты	Испытуемый фактор	Урожайность, т/га	Общие затраты, тыс. руб./га	Себестоимость, тыс. руб./т	Стоимость реализованной продукции, тыс. руб.	Чистый доход, тыс. руб./га	Чистый доход на 1 т/руб.	Рентабельность, %	Экономическая эффективность, руб./на руб. вложенных затрат
1 вариант	НРК – фон (контроль)	97,92	444020,79	4534,53	1468800,00	1024779,21	10465,47	230,80	3,31
2 вариант	Фон + 3 обработки KCl (концентрация 0,5%)	130,56	443278,29	3395,21	1958400,00	1515121,71	11604,79	341,80	4,42
3 вариант	Фон + 3 обработки KCl (концентрация 1%)	126,48	442921,59	3501,91	1897200,00	1454278,41	11498,09	328,34	4,28
4 вариант	Фон + 3 обработки KNO ₃ (концентрация 0,5%)	114,24	443570,19	3882,79	1713600,00	1270029,81	11117,21	286,32	3,86
5 вариант	Фон + 3 обработки KNO ₃ (концентрация 1%)	102,0	445055,79	4363,29	1530000,00	1084944,21	10636,71	243,78	3,44

Цена реализации продукции 15 руб. за 1 кг

Проведенный анализ экономической эффективности по возделыванию томата Ажур F₁ с использованием листовых обработок, различными калийными удобрениями, выявил высокорентабельный вариант Фон + 3 обработки KCl (концентрация 0,5%) с рентабельностью производства 341,80%. Себестоимость 1 тонны выращенной продукции составляла 3395,21 руб., чистый доход 1 га 1515121,71 руб. чистый доход на 1 т был равен 11604,79 руб., экономическая эффективность вложенных затрат 4,42 руб./руб. при урожайности 130,56 т/га. Данный вариант существенно отличался как от контроля, так и от других вариантов, находящихся в изучении. Прибавка относительно контроля составила + 4,08 т/га или + 3,2% (табл. 5).

Заключение

1. В результате трехлетних исследований проведен сравнительный анализ с выделением наиболее перспективного варианта листовой подкормки удобрениями. Обоснованы элементы ресурсосберегающей технологии возделывания томата в условиях орошения, обеспечивающие получение высокопродуктивной товарной продукции.

2. Использование калийного удобрения KCl (концентрация 0,5%), согласно установленной рекомендации, дало существенную прибавку урожая относительно контрольного варианта, и среднем по повторностям составляла + 4,08 т/га или + 3,2%. Рентабельность производства по данному варианту находилась на уровне 341,80%, при общих затратах на производство 443278,29 р./га.

• Литература

1. Алиева К.А. Влияние различных доз азотных удобрений на продуктивность томата и агрохимические свойства серо-бурой почвы на Апшеронском полуострове (Азербайджан). *Почвы и окружающая среда*. 2018;1(3):118-123.
2. Agarwal A., Sharma U., Ranjan R., Nasim M. Combining Ability Analysis for Yield, Quality, Earliness, and YieldAttributing Traits in Tomato. *International Journal of Vegetable Science*. 2017;23(6):605-615.
3. Zhu Q., Ozores-Hampton M., Li Y.C., Morgan K.T. Phosphorus application rates affected phosphorus partitioning and use efficiency in tomato production. *Agronomy Journal*. 2018;110(5):2050-2058. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0152> <https://elibrary.ru/zbtuml>
4. Байрамбеков Ш.Б., Анишко М.Ю., Гуляева Г.В., Гарьянова Е.Д. Действие некорневых подкормок на продуктивность томата в условиях дельты Волги. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2019;2(54):63-69. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-02-6> <https://elibrary.ru/zbtuml>
5. Зволинский В.П., Плещачев Ю.Н., Калмыкова Е.В., Калмыкова О.В. Влияние макро- и микроудобрений на качество плодов томата. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2019;1(53):32-41. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-3> <https://elibrary.ru/aciqah>
6. Калмыкова Е.В., Петров Н.Ю., Нарушев В.Б. и др. Приемы повышения продуктивности томата и картофеля при орошении в Поволжье. *Аграрный научный журнал*. 2017;4(4):36-40. <https://elibrary.ru/ynbirb>
7. Калмыкова Е.В., Петров Н.Ю., Убушаева С.В. и др. Влияние агротехнических приемов на рост, развитие и продуктивность томата в условиях Нижнего Поволжья. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2017;2(2):111-118. <https://elibrary.ru/zrtddh>
8. Бородыхин В.В., Кузнецов Ю.В., Деметьев А.В. Водопотребление томата при капельном орошении. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2007;2(2):23-25. <https://elibrary.ru/zrtcxh>
9. Бочаров В.В., Киселева Н., Соколова Г. Применение минеральных удобрений под овощные культуры в дельте Волги. *Овощеводство и тепличное хозяйство*. 2012;5(5):28-29.
10. Гончаренко В.Е. Разработка и обоснование системы удобрения овощных культур в Лесостепи Украины. 2014. 35 с.
11. Григоров М.С., Кружилин Ю.И., Ходяков Е.А. Водосберегающие технологии выращивания томата. Проблемы научного обеспечения экономической эффективности орошаемого земледелия в рыночных условиях. ВГСА. Волгоград. 2001. С. 74-75.
12. Григоров М.С., Кузнецов Ю.В. Перспективы применения капельного орошения в Волгоградской области. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2003;4(4):2-5.
13. Кузнецов Ю.В. Вынос питательных веществ томатом зависит от водного режима почвы. Картофель и овощи. 2006;5(5):11-12.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 315 с.
15. Брежнев Д.Д. Методические указания по изучению и поддержанию мировой коллекции овощных пасленовых культур (томаты, перец, баклажаны). Л., 1977. 24 с.
16. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск четвертый картофель, овощные и бахчевые культуры. М.: «Министерство сельского хозяйства РФ». 2015. 61 с.
17. Пастухова А.В., Петров А.Ф., Гаврилец Н.В. Влияние форм и доз вносимых удобрений на показатели качества плодов томата. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2021;11(205):31-40. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2021-205-11-31-40> <https://elibrary.ru/gtrhfc>
18. Шпилюк А.В. и др. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Часть 1. Методические указания. М.: РИЦ ГОСНИТИ, 1998. 331 с.
19. Эффективность сельскохозяйственного производства (методические рекомендации) /Под ред. И.С. Санду, В.А. Свободина, В.И. Нечаева, М.В. Косолаповой, В.Ф. Федоренко. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. С. 46-50.

• References (In Russ.)

1. Aliyeva K.A. Effect of different doses of nitrogen fertilizers on tomato production and agrochemical properties of gray-brown soil on the Absheron Peninsula (Azerbaijan). *Soils and the environment*. 2018;1(3):118-123. (In Russ.)
2. Agarwal A., Sharma U., Ranjan R., Nasim M. Combining Ability Analysis for Yield, Quality, Earliness, and YieldAttributing Traits in Tomato. *International Journal of Vegetable Science*. 2017;23(6):605-615.
3. Zhu Q., Ozores-Hampton M., Li Y.C., Morgan K.T. Phosphorus application rates affected phosphorus partitioning and use efficiency in tomato production. *Agronomy Journal*. 2018;110(5):2050-2058. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0152> <https://elibrary.ru/zbtuml>
4. Bayrambekov Sh. B., Anishko M.Yu., Gulyaeva G.V., Garyanova E.D. The effect of non-root feeding on tomato productivity in the Volga delta. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2019;2(54):63-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-02-6> <https://elibrary.ru/zbtuml>
5. Zvolinsky V.P., Pleskachev Yu.N., Kalmykova E.V., Kalmykova O.V. Influence of macro- and micro-fertilizers on the quality of tomato fruits. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2019;1(53):32-41. (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-3> <https://elibrary.ru/aciqah>
6. Kalmykova E.V., Petrov N.Yu., Narushev V.B. et al. Techniques for increasing the productivity of tomato and potatoes during irrigation in the Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2017;4(4):36-40. (In Russ.) <https://elibrary.ru/ynbirb>
7. Kalmykova E.V., Petrov N.Yu., Ubushaeva S.V. et al. The influence of agrotechnical techniques on the growth, development and productivity of tomato in the conditions of the Lower Volga region. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2017;2(2):111-118. (In Russ.) <https://elibrary.ru/zrtddh>
8. Borodychev V.V., Kuznetsov Yu.V., Dementiev A.V. Water consumption of tomatoes for drip irrigation. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2007;2(2):23-25. (In Russ.) <https://elibrary.ru/zrtcxh>
9. Bocharov B.V., Kiseleva N., Sokolova G. Application of mineral fertilizers for vegetable crops in the Volga delta. *Vegetable growing and greenhouse farming*. 2012;5(5):28-29.
10. Goncharenko V.E. Development and justification of the fertilization system for vegetable crops in the Forest-Steppe of Ukraine. 2014. 35 p. (In Russ.)
11. Grigorov M.S., Kruzhilin Yu.I., Khodyakov E.A. Water-saving technologies for growing tomatoes. Problems of scientific provision of economic efficiency of irrigated agriculture in market conditions. HCCA. Volgograd. 2001. Pp. 74-75. (In Russ.)
12. Grigorov M.S., Kuznetsov Yu.V. Prospects for the use of drip irrigation in the Volgograd region. *Land reclamation and water management*. 2003;4(4):2-5. (In Russ.)
13. Kuznetsov Yu.V. The removal of nutrients by tomato depends on the water regime of the soil. *Potatoes and vegetables*. 2006;5(5):11-12. (In Russ.)
14. Dospekhov B.A. Field Experience Methodology. M.: Agropromizdat. 1985. 315 p. (In Russ.)
15. Brezhnev D.D. Guidelines for the study and maintenance of the world collection of vegetable nightshade crops (tomatoes, peppers, eggplants). L., 1977. 24 p. (In Russ.)
16. Methods of State Variety Testing of Crops. Release fourth potatoes, vegetables and melons. M.: "Ministry of Agriculture of the Russian Federation." 2015. 61 p. (In Russ.)
17. Pastukhova A.V., Petrov A.F., Gavrilits N.V. Influence of forms and doses of applied fertilizers on quality indicators of tomato fruits. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2021;11(205):31-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2021-205-11-31-40> <https://elibrary.ru/gtrhfc>
18. Shpilko A.V. et al. Methodology for determining the economic efficiency of technologies and agricultural machinery. Part 1. Guidelines. M.: RIC GOSNITI, 1998. 331 p. (In Russ.)
19. Efficiency of agricultural production (guidelines) / Ed. I.S. Sandu, V.A. Svobodina, V.I. Nechaeva, M.V. Kosolapova, V.F. Fedorenko. - M.: FGBNU "Rosinformagrotech," 2013. Pp. 46-50. (In Russ.)

Об авторах:

Наталья Владимировна Тютюма – доктор с.-х. наук, член-корр. РАН, директор ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», tutumanv@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6582-2628>, SPIN-код: 8392-3931

Анастасия Николаевна Бондаренко – доктор с.-х. наук, зав. лабораторией агротехнологий овощных культур, автор для переписки, bondarenko-a.n@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4816-5667>, SPIN-код: 2590-2399

About the Authors:

Natalya V. Tyutyuma – Dr. Sci. (Agriculture), Corresponding Member of RAS, tutumanv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6582-2628>, SPIN-code: 8392-3931

Anastasia N. Bondarenko – Dr. Sci. (Agriculture), Head Laboratory of Agricultural Technologies of Vegetable Crops, Corresponding Author, bondarenko-a.n@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4816-5667>, SPIN-code: 2590-2399

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-79-83>
УДК: 634.75:631.82

Л.А. Марченко*, С.В. Акимова,
А.В. Соловьев, С.С. Макаров,
Е.Г. Самощенко, Г.Э. Тер-Петросянц,
А.В. Зубков

Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
Россия, 127434, г. Москва,
Тимирязевская ул., 49

*Автор для переписки:
l.marchenko@rgau-msha.ru

Конфликт интересов. С.В. Акимова является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2023 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Вклад авторов: Марченко Л.А., Соловьев А.В.: концептуализация; Марченко Л.А., Соловьев А.В., Самощенко Е.Г.: методология; Марченко Л.А., Акимова С.В., Тер-Петросянц Г.Э.: проведение исследования; Марченко Л.А., Акимова С.В.: администрирование данных; Марченко Л.А., Акимова С.В., Тер-Петросянц Г.Э., Зубков А.В.: создание черновика рукописи; Марченко Л.А., Акимова С.В.: создание рукописи и её редактирование; Соловьев А.В., Макаров С.С.: руководство исследованием.

Для цитирования: Марченко Л.А., Акимова С.В., Соловьев А.В., Макаров С.С., Самощенко Е.Г., Тер-Петросянц Г.Э., Зубков А.В. Роль минеральных элементов в питании растений земляники садовой. *Овощи России*. 2024;(5):79-83.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-79-83>

Поступила в редакцию: 19.08.2024
Принята к печати: 19.09.2024
Опубликована: 27.09.2024

Liudmila A. Marchenko*, Svetlana V. Akimova,
Alexandr V. Soloviyev, Sergey S. Makarov,
Egor G. Samoshchenkov,
Georg E. Ter-Petrosyants, Alexandr V. Zubkov

Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy
49, Timiryazevskaya street,
Moscow, 127434, Russia

*Correspondence Author:
l.marchenko@rgau-msha.ru

Conflict of interest. Akimova S.V. has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2023, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

Authors Contribution: Marchenko L.A., Soloviev A.V.: conceptualization; Marchenko L.A., Soloviev A.V., Samoshchenkov E.G.: methodology; Marchenko L.A., Akimova S.V., Ter-Petrosyants G.E.: study implementation; Marchenko L.A., Akimova S.V.: data administration; Marchenko L.A., Akimova S.V., Ter-Petrosyants G.E., Zubkov A.V.: manuscript drafting; Marchenko L.A., Akimova S.V.: manuscript drafting and editing; Soloviev A.V., Makarov S.S.: study supervision.

For citation: Marchenko L.A., Akimova S.V., Soloviev A.V., Makarov S.S., Samoshchenkov E.G., Ter-Petrosyants G.E., Zubkov A.V. Role of mineral elements in nutrition of garden strawberry plants. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):79-83. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-79-83>

Received: 19.08.2024
Accepted for publication: 19.09.2024
Published: 27.09.2024

Роль минеральных элементов в питании растений земляники садовой

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Увеличение мирового производства плодов земляники садовой обусловлено высокой востребованностью продукции для потребления в свежем виде, а также в качестве сырья для переработки. Лидирующими странами являются: КНР, США, Турция, Египет, Мексика, Испания, Россия, Польша, Южная Корея, Бразилия. Нарастание объёмов производства обеспечивается за счет высокой продуктивности новых сортов и интенсификации технологий выращивания культуры земляники и в частности питания растений. Возможность управления питанием растений земляники садовой является одной из приоритетных задач от решения которой зависит реализация потенциала продуктивности растений, а также качество получаемой продукции. Роль многих макро- и микроэлементов в питании растений до конца не изучена. Проводятся многочисленные исследования по выявлению механизмов их поглощения и перемещения в растениях земляники. Изучаются новые формы удобрений, позволяющие эффективно влиять на процессы роста и развития растений, минимизировать воздействие на окружающую среду.

Результаты. Статья посвящена обзору роли основных минеральных макро- и микроэлементов в питании растений, какими являются азот, фосфор, калий, магний, кальций, железо, кремний, молибден. На основе анализа литературных источников рассмотрено влияние отдельных минеральных элементов на физиологические процессы, связанные с ростом и развитием земляники садовой. Приведены сведения о реакции растений на оптимальное содержание, избыток и дефицит отдельных элементов, возможности их поступления и усвоения растениями земляники садовой. Применение на практике мирового опыта по управлению минеральным питанием может значительно улучшить существующие технологии возделывания земляники в открытом и защищённом грунте.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

минеральные элементы, земляника садовая, питание растений

Role of mineral elements in the nutrition of garden strawberry plants

ABSTRACT

Relevance. The increase in global production of garden strawberry fruit is due to the high demand for the products for fresh consumption and as raw material for processing. The leading countries are: PRC, USA, Turkey, Egypt, Mexico, Spain, Russia, Poland, South Korea, Brazil. Increase in production volumes is provided due to high productivity of new varieties and intensification of strawberry cultivation technologies and, in particular, plant nutrition. The possibility of managing the nutrition of garden strawberry plants is one of the priority tasks from the solution of which depends on the realization of the potential of plant productivity, as well as the quality of the resulting products. The role of many macro- and microelements in plant nutrition is not fully understood. Numerous studies are conducted to identify the mechanisms of their absorption and movement in strawberry plants. New forms of fertilizers are being studied, allowing to effectively influence the processes of growth and development of plants, minimize the impact on the environment.

Results. The article is devoted to the review of the role of the main mineral macro- and microelements in plant nutrition, such as nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, calcium, iron, silicon, molybdenum. Based on the analysis of literary sources, the influence of certain mineral elements on physiological processes associated with the growth and development of garden strawberries is considered. The data on reaction of plants to the optimal content, excess and deficiency of certain elements, possibilities of their receipt and assimilation by plants of garden strawberries are given. Application in practice of the world experience on management of mineral nutrition can significantly improve the existing technologies of strawberry cultivation in open and protected ground.

KEYWORDS:

mineral elements, garden strawberries, plant nutrition

Обзор

Наращивание объёмов производства плодов земляники садовой в мире обусловлено высокой востребованностью продукции как в свежем виде, так и в качестве сырья для переработки пищевой и фармацевтической продукции. В 2022 году в мире произведено 8 367 млн. т. плодов земляники. Лидирующими странами являются: КНР (3,35 тыс. т), США (1,26 тыс. т), Турция (0,728 тыс. т), Египет (0,638 тыс. т), Мексика (0,568 тыс. т), Испания (0,326 тыс. т), Россия (0,255 тыс. т), Польша (0,199 тыс. т), Южная Корея (0,193 тыс. т), Бразилия (0,184 тыс. т) [1].

Производство продолжает расти за счёт интенсификации, совершенствования сортимента культуры, развития технологий, обеспечивающих реализацию генетического потенциала новых сортов. Ведущая роль в увеличении производства продукции культуры принадлежит сорту [2]. Однако, с развитием агротехнологий, их вклад в реализацию потенциала продуктивности культур приобретает лидирующие позиции [3,4]. Среди ряда факторов, обеспечивающих рост и развитие растений, большое значение играют минеральные элементы [5].

Современные технологии выращивания земляники садовой из всех существующих для ягодных культур достигли наибольшей интенсификации. Производство плодов в однолетней культуре стало возможным на основе изменения многих подходов в технологических этапах выращивания [6].

Уход от влияния многих негативных для культуры факторов окружающей среды (низкие отрицательные температуры, возвратные заморозки во время цветения, избыточное увлажнение или засуха, повышенные температуры, поражение болезнями, повреждение вредителями и т.п.) обеспечивают технологии возделывания земляники садовой в защищённом грунте [7]. Однако, снижая отрицательный эффект воздействия отдельных факторов, такое производство влечёт необходимость контролировать условия роста и развития возделываемых растений. Зачастую усложняются процессы, связанные с питанием, где существенно важно обеспечить реализацию потенциала продуктивности и не повлиять на снижение качества получаемой продукции [8].

Большинство производимых плодов и ягод употребляется в свежем виде для восполнения нехватки витаминов, минеральных веществ и биохимических компонентов, напрямую влияющих на здоровье человека. Сохранение ценных питательных и диетических свойств продукции садоводства остается важнейшей приоритетной задачей развития отрасли.

Оптимизация процессов управления питанием растений земляники садовой является одной из важнейших задач от выполнения которой зависит как повышение продуктивности растений, так и качество получаемой продукции [9].

Таким образом, изучение роли минеральных элементов в питании земляники, является актуальным исследованием в вопросах усовершенствования агротехнологий для обеспечения производства безопасных и качественных продуктов питания.

Азот (N) является важнейшим элементом для растений, играет жизненно важную роль в построении белковых молекул, ферментов, коферментов, нуклеиновых кислот и цитохромов, отвечает за рост, играет значительную роль в фотосинтезе и росте растений [10,11].

Основная часть азотсодержащих удобрений вносится перед посадкой растений или в первой половине вегетации [12].

Так как растения земляники на протяжении всего периода вегетации закладывают генеративные и вегетативные почки, а ростовые процессы практически не останавливаются, то необходимость в поступлении азота существует постоянно [13].

Кроме основного внесения или заправки субстрата азотными удобрениями применяют дополнительные подкормки азотными удобрениями при фертигации, а также применяют биодоброения, содержащие азот, в виде листовых обработок. В опытах Rostami M. et al. (2022) внекорневое внесение гуминовой кислоты в сочетании с основным внесением минеральных удобрений увеличивало проницаемость клеток и приводило к более высокому усвоению питательных веществ растением, что улучшало их вегетативный рост и, как следствие, повышало урожайность земляники [14].

Формы внесения азота и их сочетание активно изучаются с целью повышения эффективности усвоения элемента растениями [15].

Недостаток азота негативно сказывается на росте растений земляники, количестве образуемых листьев и их размере. В фазы быстрого роста листья растений с дефицитом азота остаются маленькими и могут изменить цвет с зелёного на светло-зелёный или жёлтый (наблюдается хлоротичность). В конечном итоге, из-за слабости растений и недостаточного объёма листового аппарата, недостаток азота сказывается на продуктивности и количестве получаемого урожая [16].

Чрезмерное внесение азота приводит к его накоплению во всех тканях и органах растения. Это проявляется в виде увеличения размеров листьев, их количества [17], может приводить на фоне избыточного вегетативного роста к снижению цветения и плодоношения, повышению восприимчивости к болезням [18].

Избыток азота отрицательно сказывается на качестве плодов, ухудшая их вкус и ослабляя аромат [19].

Чрезмерное азотное питание приводит к накоплению в плодах земляники нитратов, что отрицательно сказывается на их лёжкости и транспортабельности, а их накопление в плодах (свыше 100 мг/кг) может приводить к пищевому отравлению [20,21].

Для регулирования азотного питания растений земляники требуется постоянная листовая диагностика выноса элемента [22].

Фосфор (P) – один из основных питательных элементов, играющих жизненно важную роль на всех этапах роста и развития растения земляники садовой [23].

При дефиците фосфора листья мельчают и приобретают темно-зеленую окраску. Замедляется рост растения и задерживается созревание плодов [24].

Taiz L. и Zeiger E. (2002) выявили регуляторную функцию фосфора: при дефиците элемента в тканях растений избыточно накапливается азот [25].

Фосфор играет важную роль во многих процессах, связанных с переносом энергии посредством АДФ (аденозиндифосфат) и АТФ (аденозинтрифосфат) [26]. Элемент необходим для развития новых клеток, для многих физиологических процессов [27].

Исследования Cao F. et al. (2015) по изучению влияния внекорневых подкормок фосфорными удобрениями, позволили установить положительную корреляцию ($r = 0,95$) между содержанием растворимых сухих веществ и фосфора (P) в полностью созревших плодах земляники у 24 изучаемых сортов [28].

Избыток фосфора, получаемого с некорневыми подкормками может привести к снижению общего количества растворимых сухих веществ в плодах и влияет на их вкус (повышение кислотности и снижение сахаристости) [29].

Калий (K) играет важную биохимическую и биофизическую роль в растениях - участвует в активации многих процессах, связанных с фотосинтезом, синтез белков, сахаров крахмала, и регулированием водного баланса [30,31].

Калий регулирует осмотический потенциал растений, способствует повышению тургора клеток во время смыкания и размыкания устьиц [32].

Поглощение элемента происходит главным образом после начала вегетативного роста, цветения и начала созревания плодов, когда большое его количество переносится из листьев в плоды. Урожайность и качество плодов земляники в значительной степени зависят от обеспечения растений необходимым количеством калия [33], отвечающего за перенос питательных веществ в растение, а также транспирацию, регуляцию механизмов устойчивости к недостатку воды в растениях [34]. Элемент способствует увеличению фенольного состава и антиоксидантной активности плодов земляники [35].

Повышенное содержание калия в питательных растворах препятствует росту корней земляники и приводит к снижению продуктивности растений. Избыточное накопление элемента в плодах, при поступлении его с фертигацией, приводит к увеличению их кислотности и уменьшает размер, что также снижает урожайность [36].

Недостаток калия приводит к нарушению баланса K:N и сказывается на снижении урожайности земляники [37].

Магний (Mg) – необходимый для растений элемент, поскольку он способствует фиксации углекислого газа для фотосинтеза, от него зависит синтез хлорофилла, образование белка. Его оптимальное содержание способствует усвоению основных питательных элементов и высокой урожайности [38].

Магний положительно влияет на рост корней и вегетативной массы растений, повышает морозо- и засухоустойчивость, обеспечивает стрессоустойчивость при высокой инсоляции и температурах воздуха [39,40].

Дефицит элемента, особенно на ранних стадиях онтогенеза растений, приводит к нарушениям их роста и развития [41].

Кальций (Ca) участвует в построении клеток корней, листьев, плодов земляники. От его наличия зависит нормальный рост и последующее развитие растений. Кальций участвует в образовании пектиновых соединений, которые связывают клеточные стенки, а также в формировании оболочек клетки, что приводит к увеличению твердости плодов [42].

Как и фосфор кальций необходим в начале вегетации, когда происходит интенсивное наращивание корневой системы растения и рост молодых листьев. Высокая потребность в кальции сохраняется до начала цветения. Ещё один пик приходится на период созревания плодов. Благодаря увеличению его концентрации в начале роста и развития плодов, снижаются дыхательные процессы, происходящие в клетках, задерживается процесс созревания, что приводит к утолщению клеточной стенки и повышает твердость плодов, это косвенным образом уменьшает возможность биологического заражения продукции при хранении и транспортировке [43].

Кальций играет большую роль в продлении срока хранения ягод [44].

Внесение кальция в почву известкованием способствует накоплению элемента в молодых всасывающих корнях, однако этот приём эффективен при низком уровне pH почвы. Кальций является неподвижным питательным элементом и его внесение через почву не слишком эффективно [45].

Внекорневая подкормка – это более надёжный метод доставки кальция к нужным органам растения [46]. Для некорневых подкормок применяют формы удобрений, содержащие легкоусвояемые формы элемента. Так, применение кальция-EDTA (рабочее название “Pusti-Ca”) в исследованиях Pandeya S. и Shrestha A.K. (2023), повлияло на улучшение качества плодов земляники – повысило содержание сахаров в плодах, увеличило

их твёрдость и снизило количество плодов, заражённых серой гнилью [47].

Железо (Fe) – один из важнейших микроэлементов в жизни растений, участвует во многих окислительно-восстановительных реакциях, дыхании, фотосинтезе и биосинтезе хлорофилла [48].

Элемент является компонентом многих жизненно важных растительных ферментов. При недостатке железа нарушается фотосинтетическая активность, наблюдается хлоротичность листьев и угнетение всех функций растений [49].

Наиболее эффективно для восполнения недостатка железа применять хелатные удобрения, сульфат железа, а также синтетические органические или минеральные продукты с замедленным высвобождением элемента [50].

Использование подкормок Fe-EDDHA в исследованиях Duralijaa B. et al. (2022) значительно увеличивает содержание сухих веществ и сахаров в плодах земляники [51].

Цинк (Zn) играет важную роль в синтезе макромолекул, белка, триптофана что способствует нарастанию биомассы растений (увеличению количества и площади листьев, количества цветков), способствует лучшей завязываемости плодов, увеличению размеров ягод, их твёрдости [52].

При испытании удобрений нано-Zn Carlesso et al. (2018) установили влияние цинка на повышение сахаристости плодов земляники [53].

Внекорневое внесение цинка и бора в исследованиях Elahshah A.A. et al. улучшало усвоение азота и играло ведущую роль в завязывании плодов [54].

Вместе с тем, избыточное количество Zn может вызвать фитотоксичность, приводящую к нарушению баланса питательных веществ в растениях и снижению содержания хлорофилла [55].

Выявлено, что кремний (Si) необходим для роста и развития растений. Он способствует ускорению фотосинтеза [56]. Кремний повышает эффективность использования азота, регулирует усвоение фосфора и микроэлементов [57].

Подтверждена значительная роль кремния в снижении отрицательного влияния высоких температур на растения [58,59].

В исследованиях Kowalska et al. наибольший эффект прибавки урожая был достигнут при сочетании почвенного и внекорневого внесения кремния [60].

Применение кремния способствует повышению содержания растворимого сахара в плодах земляники [61].

В исследованиях Javier F.P.-F. et al. применение кремния в корневом питании и некорневых обработках на растениях земляники дало положительный эффект по повышению продуктивности растений, увеличению размера плодов, их сахаристости, твёрдости и лёжкости, продлевая срок хранения на 2 дня [62].

Молибден (Mo) активизирует многие физиологические и биохимические процессы, происходящие в растениях. Улучшает усвоение N и Fe, способствует увеличению содержания в плодах земляники сахаров и кислот, повышает ароматичность ягод [63].

Заключение

Роль многих макро- и микроэлементов в питании растений до конца не изучена. Проводятся многочисленные исследования по выявлению механизмов их поглощения и перемещения в растениях земляники. Изучаются новые формы удобрений, позволяющие эффективно влиять на процессы роста и развития растений, минимизировать воздействие на окружающую среду.

Применение на практике мирового опыта по моделированию минерального питания может значительно улучшить существующие технологии возделывания земляники в открытом и защищённом грунте.

• Литература / References (In Russ.)

1. <https://www.tridge.com/production?code=0544&producer=WL>.
2. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. М.: Изд-во Агрорус. 2009. 1104 с. [Zhuchenko A.A. Adaptive plant growing (ecological and genetic foundations). Theory and practice. Moscow: Agrorus Publishing House. 2009. 1104 p.] (In Russ.)
3. Трухачев В.И. Интенсивные технологии в развитии отечественного садоводства. *Экономика сельского хозяйства России*. 2020;(3):44–47. <https://doi.org/10.32651/203-44> <https://elibrary.ru/itctet> [Truhachev V.I. Intensive technologies in the development of domestic horticulture. *Ekonomika sel'skogo hozaystva Rossii*. 2020;(3):44–47. <https://doi.org/10.32651/203-44> <https://elibrary.ru/itctet>] (In Russ.)
4. Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Завражнов А.И., Завражнов А.А., Ланцев В.Ю., Воробьев В.Ф., Кондратьева О.В., Федоров А.Д., Слинько О.В., Войтюк В.А. Инновационные технологии выращивания высококачественного посадочного материала многолетних плодово-ягодных культур. Аналитический обзор. М., 2020. 96 с. [Mishurov N.P., Fedorenko V.F., Zavrazhnov A.I., Zavrazhnov A.A., Lancev V.Yu., Vorob'ev V.F., Kondrat'eva O.V., Fedorov A.D., Slin'ko O.V., Vojtyuk V.A. Innovative technologies for growing high-quality planting material of perennial fruit and berry crops. Analytical review. Moscow, 2020. 96 p.] (In Russ.)
5. Овсянников Ю.А. О Единстве процессов фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования. *Аграрный вестник Урала*. 2022;1(216):39–46. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46> <https://elibrary.ru/ebvdxj> [Ovsyannikov Yu.A. On the unity of the processes of photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation. *Agrarian bulletin of the Urals*. 2022;1(216):39–46. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46> <https://elibrary.ru/ebvdxj>] (In Russ.)
6. Hernández-Martínez N.R., Blanchard C., Wells D., Salazar-Gutiérrez M.R. Current state and future perspectives of commercial strawberry production: A review. *Scientia Horticulturae*. 2023;(312):111893. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111893>
7. Zhang Yu., Yasutake D., Hidaka K., Kitano M., Okayasu T. CFD analysis for evaluating and optimizing spatial distribution of CO₂ concentration in a strawberry greenhouse under different CO₂ enrichment methods. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020;(179):105811. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105811>
8. Shahini E., Berxolli A., Kovalenko O., Markova N., Zadorozhnyi Yu. Features of growing garden strawberries in open ground conditions. *Scientific Horizons*. 2023;26(7):106–117. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2023.106>
9. Bhagat P., Panigrahi H. Effect of bio-fertilizers on growth, yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Nabila under net tunnel. *The Pharma Innovation Journal*. 2020;9(1):442–446. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2020/vol9issue1/PartH/9-1-38-229>
10. Rostami M., Shokouhian A. & Mohebodin M. Effect of Humic Acid, Nitrogen Concentrations and Application Method on the Morphological, Yield and Biochemical Characteristics of Strawberry 'Paros'. *International Journal of Fruit Science*. 2022;22(1):203–214. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.2022566>
11. Shen H., Dong S., Xiao J., & Zhi, Y. Effects of N and P enrichment on plant photosynthetic traits in alpine steppe of the Qinghai-Tibetan Plateau. *BMC Plant Biology*. 2022;(396):2–11. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03781-9>
12. Farjana S., Park I.S. & Choi J.M. Impact of controlled nitrogen application in water solution on seedling growth, tissue and soil nutrient concentrations in vegetative propagation of strawberry. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 2023;(64):41–50. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00460-4>
13. Farjana S., Park I.S., & Choi J.M. Impact of controlled nitrogen application in water solution on seedling growth, tissue and soil nutrient concentrations in vegetative propagation of strawberry. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2023;1(2):1–10. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00460-4>
14. Rostami M., Shokouhian A. & Mohebodin M. Effect of Humic Acid, Nitrogen Concentrations and Application Method on the Morphological, Yield and Biochemical Characteristics of Strawberry 'Paros'. *International Journal of Fruit Science*. 2022;22(1):203–214. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.2022566>
15. Rueda D., Valencia G., Soria N., Rueda B.B., Manjunatha B., Kundapur R.R., Selvanayagam M. Effect of Azospirillum spp. and Azotobacter spp. on the growth and yield of strawberry (*Fragaria vesca*) in hydroponic system under different nitrogen levels. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2016;6(01):48–54. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2016.600108>
16. Yu W., Zheng J., Wang Y., Ji F., Zhu B. Adjusting the nutrient solution formula based on growth stages to promote the yield and quality of strawberry in greenhouse. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 2023;(16):57–64. <https://doi.org/10.25165/j.jabe.20231602.7797>
17. Aguilheiro-Santos A.C. Quality of Strawberry 'Camarosa' with Different Levels of Nitrogen Fertilization. *Acta Horticulturae*. 2009. P.907–910. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.842.200>
18. Costamagna G., Chiabrando V., Fassone E., Mania I., Gorra R., Ginepro M., & Giacalone G. Characterization and use of absorbent materials as slow-release fertilizers for growing strawberry: Preliminary results. *Sustainability*. 2020;12(17):6854–6867. <https://doi.org/10.3390/su12176854>
19. Cvelbar W.N., Koron D., Jakopič J., Veberič R., Hudina M., Cesnik B.H. Influence of Nitrogen, Calcium and Nano-Fertilizer on Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) Fruit Inner and Outer Quality. *Agronomy*. 2021;(11):997. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050997>
20. Иванова Т.Е., Лekomцева Е.В., Соколова Е.В., Тутова Т.Н., Несмелова Л.А. Влияние микроудобрений на урожайность и качество земляники садовой. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2022;8(214):24–31. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-214-8-24-31> <https://elibrary.ru/oyojkz> [Ivanova T.E., Lekomceva E.V., Sokolova E.V., Tutova T.N., Nesmelova L.A. Impact of microbiological fertilizers on the yield and quality of garden strawberry. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;8(214):24–31. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-214-8-24-31> <https://elibrary.ru/oyojkz>] (In Russ.)
21. Cárdenas-Navarro R., Ruiz-Corro R., López-Pérez L., Castellanos-Morales V. del C., Bravo-Hernández N.L., España-Boquera M.L., Villegas-Moreno J.A. Effect of nitrogen and *Rhizopagus irregularis* inoculation on strawberry plants. *Wulfenia*. 2024;24(10):234–246.
22. Yang X., Du R., He D., Li D., Chen J., Han X., Wang Z., Zhang Z. Optimal combination of potassium coupled with water and nitrogen for strawberry quality based on consumer-orientation. *Agricultural Water Management*. 2023;(287):108461. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108461>
23. Abobatta W.F., Abd Alla M.A. Role of Phosphates Fertilizers in Sustain Horticulture Production: Growth and Productivity of Vegetable Crops. *Asian Journal of Agricultural Research*. 2023;17(1):1–7. <https://doi.org/10.3923/ajar.2023.1.7>
24. Nestby R., Lieten F., Pivot D., Raynal Lacroix C., Tagliavini M. and Evenhuis B. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs. *Acta Hort*. 2004;(649):201–206.
25. Taiz L and Zeiger E. Mineral nutrition. In: Plant Physiology. Third ed. Sinauer Associates Inc. Massachusetts. USA. 2002. P. 67–86.
26. Hindersah R., Purba P.S.J., Cahyaningrum D.N., Nurbaita A., Kamaluddin N.N., & Akutsu M. Evaluation of strawberry seedling growth in various planting media amended with biofertilizer. *KnE Life Sciences*. 2022. P. 358–367. <https://dx.doi.org/10.18502/kl.v7i3.11144>
27. Abobatta F., Abd Alla M.A. Role of phosphates fertilizers in sustain horticulture production: Growth and productivity of vegetable crops. *Asian Journal of Agricultural Research*. 2023;17(1):1–7. <https://doi.org/10.3923/ajar.2023.1.7>
28. Cao F., Guan Ch., Dai H., Li X., Zhang Zh. Soluble solids content is positively correlated with phosphorus content in ripening strawberry fruits. *Scientia Horticulturae*. 2015;(195):183–187.
29. Moor U., Pöldma P., Tõnture T., Karp K., Starast M., Vool E. Effect of phosphate fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. *Scientia Horticulturae*. 2009;119(3):264–269.
30. Ahmad H., Sajid M., Ullah R., Hayat S. and Shahab M. Dose Optimization of Potassium (K) for Yield and Quality Increment of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) Chandler. *American Journal of Experimental Agriculture*. 2014;4(12):1526-1535.
31. Schwarz K., Vilela-Resende J.T., Pierozan-Junior C., Tauffer-de-Paula J., Baier J.E., de Souza-Silva M.L., Brendler-Oliveira F. Yield and nutrition of greenhouse-grown strawberries (*Fragaria x ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier. cv. Camarosa) as affected by potassium fertilization. *Acta Agron*. 2018;(67):114–119. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.59553>
32. Szczerbab M.W., Britto D.T., Kronzuckera H.J. K⁺ transport in plants: Physiology and molecular biology. *Journal of Plant Physiology*. 2009;166(5):447–466. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.12.009>
33. Preciado-Rangel P., Troyo-Diéguez E., Valdez-Aguilar L.A., García-Hernández J.L. and Luna-Ortega J.G. Interactive Effects of the Potassium and Nitrogen relationship on Yield and Quality of Strawberry grown under Soilless Conditions. *Plants*. 2020;9(4):441. <https://doi.org/10.3390/plants9040441>
34. Yi W., Wei-Hua W. Potassium transport and signaling in higher plants. *Potassium Transport and Signaling in Higher Plants*. 2013;(64):51–76. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120153>
35. Khayyat M., Tafazoli E., Eshghi S., Rahemi M., Rajaei S. Salinity, supplementary calcium and potassium effects on fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci*. 2007;(2):539–544. [https://www.idosi.org/aejaes/jaes2\(5\)/13](https://www.idosi.org/aejaes/jaes2(5)/13)
36. Gomes E.R., Broetto F., Queluz J. G. T., Bressan D.F. Effect of potassium fertigation on soil and strawberry yield. *Irriga, Botucatu, Edição Especial*. 2015. 20 anos Irriga + 50 anos FCA. P. 107–122.
37. Nakro A., Bamouh A., Bouslama H., San Bautista A., Ghaouti L. The Effect of Potassium-Nitrogen Balance on the Yield and Quality of Strawberries Grown under Soilless Conditions. *Horticulturae*. 2023;(9):304. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030304>
38. Cakmak I., Yazici A.M. Magnesium: a forgotten element in crop production. *Better Crops*. 2010;94(2):23–25.
39. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. М.: ЦИНАО, 2000. 524 с. [Aristarhov A.N. Optimization of plant nutrition and fertilizer application in agroecosystems. М.: CINAО, 2000. 524 p.] (In Russ.)
40. Cakmak I., Kirkby E.A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiol. Plant*. 2008;(133):692–704.
41. Romheld V., Kirkby E.A. Magnesium function in crop nutrition and yield. *Proceedings of a Conference in Cambridge (7th Dec. 2007)*. 2007. P. 151–171.
42. Khalil N.H., Hammoodi Effect of nitrogen, potassium and calcium in strawberry fruit quality. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*. 2020;16(1):1967–1972. <https://connectjournals.com/03899.2020.16.1967>

43. Lateef M.A., Noori A.M., Saleh Yu.M. and Al-Taey D.K.A. The effect of foliar spraying with salicylic acid and calcium chloride on the growth, yield, and storage traits of two strawberry cultivars, *Fragaria × ananassa* Duch. *Int. J. Agricult. Stat. Sci.* 2021;17(2):611–615. <https://connectjournals.com/03899.2021.17.611>.
44. Bieniasz M., Malodoby M., Dziedzic E. The effect of foliar fertilization with calcium on quality of strawberry cultivars 'Luna' and 'Zanta'. *Acta Horticulturae*. 2012;926(926):457–461. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.926.64>.
45. Sidhu R.S., Singh N.P., Singh S. and Sharda R. Foliar Nutrition with Calcium Nitrate in Strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.): Effect on Fruit Quality and Yield. *Indian Journal of Ecology*. 2020;47(1):87–91.
46. Ruchitha T., Shivakumar B.S., Madaiah D., Ganapathi M., Chaitanya H.S. Influence of foliar nutrients and plant growth regulators on growth and yield of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) under naturally ventilated polyhouse. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020;9(4):720–723.
47. Pandeya S., Shrestha A.K. Effect of pre-harvest spray of calcium on post-harvest quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cv. Winter dawn in Chitwan, Nepal. *Malaysian Journal of Halal Research (MJHR)*. 2023;6(1):25–31. <https://doi.org/10.26480/mjhr.01.2023.25.31>
48. Zhang X., Zhang D., Sun W., Wang T. The adaptive mechanism of plants to iron deficiency via iron uptake, transport, and homeostasis. *Int. J. Mol. Sci.* 2019;(20):2424. <https://doi.org/10.3390/ijms20102424>
49. Zhao L., Wang Yu., Kong Sh. Effects of *Trichoderma asperellum* and its siderophores on endogenous auxin in *Arabidopsis thaliana* under iron-deficiency stress. *International Microbiology*. 2020;(23):501–509. <https://doi.org/10.1007/s10123-020-00122-4>
50. Puglisi I., Brida S., Stoleru V., Torino V., Sellitto V.M., Baglieri A. Application of novel microorganism-based formulations as alternative to the use of iron chelates in strawberry cultivation. *Agriculture*. 2021;(11):217. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030217>
51. Duralijaa B., Mikec D., Jurić S., Lazarević B., Maslov Bandić L., Vlahoviček-Kahlina K., Vinceković M. Strawberry fruit quality with the increased iron application. *SHS Acta Horticulturae. IX International Strawberry Symposium*. 2021. P. 1309. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1309.146>
52. Saini S., Kumar P., Sharma N.C., Sharma N., Balachandrar D. Nano-enabled Zn fertilization against conventional Zn analogues in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*. 2021;(282):110016. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110016>
53. Carlesso L.C., Luz G.L.D., Lajus C.R., Silva L.L., Fiori M., Rossoni C., Fernandes S.C., Riella H. Physical-chemical properties of strawberry pseudo fruits

- submitted to applications of zinc oxide nanoparticles. *Int. J. Adv. Res. Technol.* 2018;(5):262–272. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.5.7.34>
54. Elahshah A.A., Moradi H., Sadeghi H. Boron and zinc foliar application enhanced the morphophysiological responses and mineral absorption in the hydroponically grown 'Aromas' strawberry. *Journal of Plant Nutrition*. 2023;46(11):1–12. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2206428>
55. Rossic L., Fedenia N., Sharifana H., Ma X., Lombardini L. Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019;(135):160–166. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.005>
56. Park Y.G., Muneer S., Kim S., Hwang S.J., and Jeong B.R. Silicon application during vegetative propagation affects photosynthetic protein expression in strawberry. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 2018;(59):167–177. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0022-2>
57. Pavlovic J., Kostic L., Bosnic P., Kirkby E.A., and Nikolic M. Interactions of silicon with essential and beneficial elements in plants. *Front. Plant Sci.* 2021;(12):1224. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.697592>
58. Moraditalab N., Hajiboland R., Aliasgharzad N., Hartmann T.E., and Neumann G. Silicon and the association with an arbuscular-mycorrhizal fungus (*Rhizophagus clarus*) mitigate the adverse effects of drought stress on strawberry. *Agronomy*. 2019;(9):41. <https://doi.org/10.3390/agronomy9010041>
59. Sattar A., Cheema M.A., Sher A., Ijaz M., Wasaya A., Yasir T.A. Foliar applied silicon improves water relations, stay green and enzymatic antioxidants activity in late sown wheat. *Silicon*. 2020;(12):223–230. <https://doi.org/10.1007/s12633-019-00115-7>
60. Kowalska J., Tyburski J., Jakubowska M., and Krzyńska J. Effect of different forms of silicon on growth of spring wheat cultivated in organic farming system. *Silicon*. 2021;(13):211–217. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00414-4>
61. Xiao J., Li Ya., Jeong B.R. Foliar Silicon Spray to Strawberry Plants During Summer Cutting Propagation Enhances Resistance of Transplants to High Temperature Stresses. *Front. Sustain. Food Syst., 27 June Sec. Crop Biology and Sustainability*. 2022;(6). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.938128>
62. Javier F.P.-F., Gil Ya.B., Apaolaza L.H. Silicon beneficial effects on yield, fruit quality and shelf-life of strawberries grown in different culture substrates under different iron status. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2020;(152):23–31. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.026>
63. Li L., Wei X., Mei-ling J., Chao Y., Ling L., Dong-sheng G., Xi-ling F. Effects of molybdenum on nutrition, quality, and flavour compounds of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Akihime) fruit. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017;16(7):1502–1512. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61518-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61518-6)

Об авторах:

Людмила Александровна Марченко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры плодородства, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры, SPIN-код: 8671-8187, <https://orcid.org/0000-0002-7247-9829>, Scopus ID: 57193568421;

автор для переписки, l.marchenko@rgau-msha.ru

Светлана Владимировна Акимова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры плодородства, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры, SPIN-код: 1786-0008, <https://orcid.org/0000-0002-7267-1220>, Scopus ID: 56872788000; akimova@rgau-msha.ru

Александр Валерьевич Соловьев – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой плодородства, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры, SPIN-код: 8245-2748, <https://orcid.org/0000-0002-3186-9767>, Scopus ID: 57204731886; a.solovjev@rgau-msha.ru

Сергей Сергеевич Макаров – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой декоративного садоводства Института Садоводства и ландшафтной архитектуры, <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>, Scopus ID: 57223029793; SPIN-код: 9173-6049, s.makarov@rgau-msha.ru

Егор Григорьевич Самощенко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры плодородства, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры, SPIN-код: 6322-9264, <https://orcid.org/0000-0003-1554-1670>, Scopus ID: 57303420300; samoshenkov@rgau-msha.ru

Георг Эдвардович Тер-Петросянц – ассистент кафедры плодородства, виноградарства и виноделия, SPIN-код: 8016-5049, <https://orcid.org/0000-0002-0087-3886>, Scopus ID: 57303431300; ter-petrosyanc@rgau-msha.ru

Александр Валерьевич Зубков – кандидат экономических наук, доцент кафедры плодородства, виноградарства и виноделия Института Садоводства и ландшафтной архитектуры, <https://orcid.org/0000-0003-2410-152X>, Scopus ID: 57946823000; SPIN-код: 7829-0105, a.zubkov@rgau-msha.ru

About the Authors:

Liudmila A. Marchenko – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 8671-8187, <https://orcid.org/0000-0002-7247-9829>, Scopus ID: 57193568421; Correspondence Author, l.marchenko@rgau-msha.ru

Svetlana V. Akimova – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 1786-0008, <https://orcid.org/0000-0002-7267-1220>, Scopus ID: 56872788000; akimova@rgau-msha.ru

Alexandr V. Solovjev – Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 8245-2748, <https://orcid.org/0000-0002-3186-9767>, Scopus ID: 57204731886; a.solovjev@rgau-msha.ru

Sergey S. Makarov – Dr. Sci. (Agriculture), Head of the of the Department of Ornamental Horticulture Institute of Horticulture and landscape architecture, <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>, Scopus ID: 57223029793; SPIN-code: 9173-6049, s.makarov@rgau-msha.ru

Egor G. Samoshenkov – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 6322-9264, <https://orcid.org/0000-0003-1554-1670>, Scopus ID: 57303420300; samoshenkov@rgau-msha.ru

Georg E. Ter-Petrosyants – assistant of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Institute of Horticulture and Landscape Architecture, SPIN-code: 8016-5049, <https://orcid.org/0000-0002-0087-3886>, Scopus ID: 57303431300; ter-petrosyanc@rgau-msha.ru

Alexandr V. Zubkov – Cand. Sci. (Economics), Associate Professor of the Department of fruit growing, viticulture and winemaking, Institute of Horticulture and landscape architecture, <https://orcid.org/0000-0003-2410-152X>, Scopus ID: 57946823000; SPIN-code: 7829-0105, a.zubkov@rgau-msha.ru

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-84-90>
УДК: 633/635:632.6/.7

Nataliya V. Matsishina¹, Ol'ga A. Sobko^{1*},
Marina V. Ermak¹

¹ Federal State Budget Scientific Institution
"Federal Scientific Center of Agricultural
Biotechnology of the Far East named after A.K.
Chaiki" 30B, Volozhenina st., Timiryazevsky stl.,
Ussuriysk, Primorsky kray, 692539, Russia

*Correspondence Author: o.eyvazova@gmail.com

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

Authors Contribution: N.V. Matsishina: conceptualization, methodology, data verification, application of statistical methods to analyze the study data, conducting the study, writing-reviewing and editing the manuscript. O.A. Sobko: conceptualization, methodology, writing-reviewing and editing of the manuscript. M.V. Ermak: conceptualization, methodology, writing-reviewing and editing of the manuscript.

For citation: Matsishina N.V., Sobko O.A., Ermak M.V. Food as a factor determining the physiological state of populations of the phytopagous pests of agricultural crops. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):84-90. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-84-90>

Received: 25.06.2024

Accepted for publication: 19.09.2024

Published: 27.09.2024

H.B. Мащина¹, О.А. Собко¹, М.В. Ермак¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» 692539 Россия, Приморский край, г. Уссурийск, п. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30Б.

*Автор для переписки: o.eyvazova@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Н.В. Мащина: концептуализация, методология, верификация данных, применение статистических методов для анализа данных исследования, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи. О.А. Собко: концептуализация, методология, написание-рецензирование и редактирование рукописи. М.В. Ермак: концептуализация, методология, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Для цитирования: Matsishina N.V., Sobko O.A., Ermak M.V. Food as a factor determining the physiological state of populations of the phytopagous pests of agricultural crops. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):84-90. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-84-90>

Поступила в редакцию: 26.06.2024

Принята к печати: 19.09.2024

Опубликована: 27.09.2024

Food as a factor determining the physiological state of populations of the phytopagous pests of agricultural crops

Check for updates



ABSTRACT

Relevance. Trophic relationships along with competition and mutualism are the most basic and significant interactions in ecosystems. To develop, survive, and multiply, insects need to consume a certain amount of nutrients at a certain ratio. Food products are complex mixes of nutrients and non-nutritive substances (sometimes toxic ones): macronutrients (proteins, carbohydrates, and lipids), micronutrients (vitamins and minerals), and water. Some nutrients are essential; insects lack the ability to synthesize them in their bodies and must obtain them from their diet or through symbiosis with beneficial organisms. Identification mechanisms being well developed in the system "phytophagous insect – plant" allow insects to successfully spread, multiply, and feed on certain plant species. The complex of hydrolytic enzymes in the insect intestine is one of the main targets for plant defense responses because these enzymes determine the availability of structural compounds for phytophagous insects. For this reason, enzymes in the insect intestine play a key role in the adaptation of insects to the pest resistance of fodder plants. For instance, when proteinase inhibitors are synthesized in a fodder plant as the result of induced insect resistance the complex of enzymes in an insect intestine might change negating the effect of these inhibitors. The development of co-adaptations due to interactions among species in food chains depends on a complicated constellation of conflicting relationships between consumers and food objects. The mechanisms of this influence may be rooted in the allelochemical interactions in the system "phytophagous insect – plant recipient". Allelopathic interactions are among the most complex interactions because they are constituted by direct and indirect effects. Plants when damaged by phytophagous insects activate defense responses, which incorporate several mechanisms, including an increase in the concentration of secondary metabolites, many of which are phenolic compounds.

The aim of the work is to describe the mechanisms of relationships in the system "phytophage-plant".

Conclusion. Management of processes of intra-water divergence of insect-phytophages in agrobiocoenoses in order to prevent the emergence of races and populations of pests adapted to live on initially resistant to them plant forms is possible in compliance with the transition to a targeted selection of agricultural crops for resistance to a complex of pests.

KEYWORDS:

phytophagous insect, plant, food, agroecosystem, digestive enzymes, allelopathic interactions, coevolution, coadaptation

Пища как фактор, определяющий физиологическое состояние популяций фитофагов-вредителей сельскохозяйственных культур

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Трофические отношения, наряду с конкуренцией и мутуализмом, являются наиболее общими и значимыми в экосистемах. Для развития, выживания и выведения потомства насекомым необходимо получать определенные количества и соотношения питательных веществ. Продукты питания насекомых представляют собой сложные смеси питательных и непитательных (иногда токсичных) соединений: макроэлементы (белки, углеводы и липиды), микроэлементы (витамины и минералы) и воду. Некоторые из питательных веществ являются незаменимыми, насекомые лишены способности синтезировать их самостоятельно и должны получать их с пищей или из полезных симбионтов. В системе «фитофаг-растение» хорошо развиты механизмы распознавания, позволяющие насекомым успешно расселяться, размножаться и питаться на конкретных видах растений. Комплекс гидролитических ферментов кишечника насекомых является одной из основных мишеней для действия защитных реакций растения, т.к. именно этими ферментами определяется доступность структурных веществ для фитофагов. Поэтому ферменты кишечника фитофагов играют одну из ведущих ролей в механизмах адаптации насекомых к энтоморезистентности кормовых растений. В частности, при синтезе в кормовых растениях ингибиторов протеиназ в результате индуцированной энтоморезистентности, в кишечнике насекомого может изменяться состав ферментов, что приводит к уходу от действия этих ингибиторов. При взаимодействии видов в пищевых цепях возникновение комплекса взаимоприспособлений находится в зависимости от сложной констелляции противоречивых отношений, связывающих потребителей и пищевые объекты. Механизмы такого влияния могут лежать в области аллелохимических взаимоотношений в системе «фитофаг – растение-реципиент». Аллелопатические взаимоотношения – одни из наиболее сложных, так как в данной форме тесно переплетаются прямое и опосредствованное влияние. Растения при повреждении фитофагами активируют защитные реакции, которые состоят из нескольких механизмов, включая увеличение концентрации вторичных метаболитов, многие из которых являются фенольными соединениями.

Целью работы является описание механизмов взаимоотношений в системе «фитофаг-растение».

Заключение. Управление процессами внутриводовой дивергенции насекомых-фитофагов в агробиоценозах в целях предотвращения появления рас и популяций вредителей, адаптированных к обитанию на первоначально устойчивых к ним формам растений возможно при соблюдении перехода к целенаправленной селекции сельскохозяйственных культур на устойчивость к комплексу вредителей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

фитофаг, растение, пища, агроэкосистема, пищеварительные ферменты, аллелопатическое взаимодействие, коэволюция, коадаптация

Introduction

The phytosanitary destabilization of the Russian agriculture, which began in the 1990s, has become long-term and systemic and been contributing greatly to yield losses. Due to the deterioration of the phytosanitary conditions, millions of tons of grain, potato, and root vegetables are lost every year. Failures to comply with the technologies for crop cultivation and to maintain agroecosystem structures are among the main causes of such high losses. The phytosanitary destabilization of agricultural lands are especially noticeable when the structure of these lands is disrupted [1]. A decrease in the number of rotations and crops used, and even more so the total neglect of crop rotation lead to an unacceptable level of phytosanitary destabilization in agroecosystems. In these conditions, the outbreaks of some pest arthropods, plant pathogens, and weeds become more frequent. These species have high ecological plasticity, are optimally adapted to an anthropogenically transformed environment, and have the status of dominant and super-dominant harmful objects, such as Acridoidea pests, the Colorado potato beetle, the Sunn pest, the beet webworm, the European corn borer, and the pathogenic agents of brown rust, potato blight, etc. [2]. It is known that the synergetic effect of the combined adverse impact of diseases, pests, and weeds leads to a significant yield loss worldwide, which may amount to 50% in particular years [1]. Additionally, the cost efficiency of plant protection products has been rapidly increasing due to the more intensive and well-balanced application of fertilizers and the employment of new innovative agricultural techniques, which could improve the yield of the main agricultural crops. Growing resistant varieties is one of these techniques. A high number of studies were dedicated to the influence of resistant varieties on insect pests. This paper reviews several of these studies.

1. Plant immunity to phytophagous insects

The system “phytophagous pest – plant recipient” is viewed by modern science as a result of the co-adaptation and co-evolution of phytophagous animals and fodder plants [3]. An important characteristic of the evolution of these systems is the ability of phytophagous insects to actively and intentionally search for optimal feeding and reproductive conditions [4]. In particular, many insect species are adapted to feeding and reproduction on certain plant organs and tissues at certain stage of their ontogeny. Searching for suitable fodder plants, feeding on plant tissues, digesting, absorbing hydrolyzed food have a significant metabolic cost [5]. Thus, plant recipients acquired a

number of specific (morphological, physiological, etc.) traits, which prevent phytophagous insects from colonizing plant tissues [6]. Nowadays the term “plant immunity” or “phytoimmunity” means the development and expression of plant protective properties against consumers [7]. The first classification of the plant barrier properties that prevent heterotrophs from feeding on plants was suggested by N.I. Vavilov in his work “Problems of the immunity of cultivated plants” [8]. Plant immunologists distinguish two forms of innate immunity – passive and active immunity. Passive immunity is inherent in plants irrespective of pathogens, active immunity is induced by virus entry. Anatomical-morphological and physiological-biochemical properties of plants constitute the basis of passive immunity. Active immunity is comprised by the plant protective properties that are brought into action by the entry of an infectious agent or the damage caused by a pest. They are aimed at localizing and eliminating infections such as cicatrization, wounding, hypersensitive response, the synthesis of phytoalexins, and etc. According to phytoimmunologist B.A. Rubin, the main idea of phytoimmunity is that immunity cannot be considered an individual isolated chemical or a single physical or morphological trait of an organism. Numerous studies have demonstrated that the ability of plants to respond to damage in a certain way serves as the expression of the dynamic properties of protoplasts, cells, organs, and organism as a whole [9].

There are several conventionally distinguished forms of plant responses to phytophagous insects:

- Antixenosis — negative responses resulting in the inability of phytophagous insects to use plants for feeding and/or reproduction [10].
- Antibiosis – an adverse effect produced by a fodder plant on a phytophagous insect during feeding. Antibiosis is attributed to the damaging effect of physiologically active compounds in plants or to the inability of phytophagous insects to digest and absorb food polymers from plant hosts due to the lack of necessary digestive enzymes [11].
- Plant tolerance to the pathogenic impact of an animal agent is expressed as the ability of a given plant to preserve its biological productivity (yield) without a significant loss when there is no adverse effect on the pathogen [12].

A number of researchers have established that plants have constitutional and induced immunogenetic barriers [13,14,15]. The constitutional barriers are the protective barriers conditioned by the specificity of the morphological constitution that provides plant immunity (external and internal structure of plants and the characteristics of the

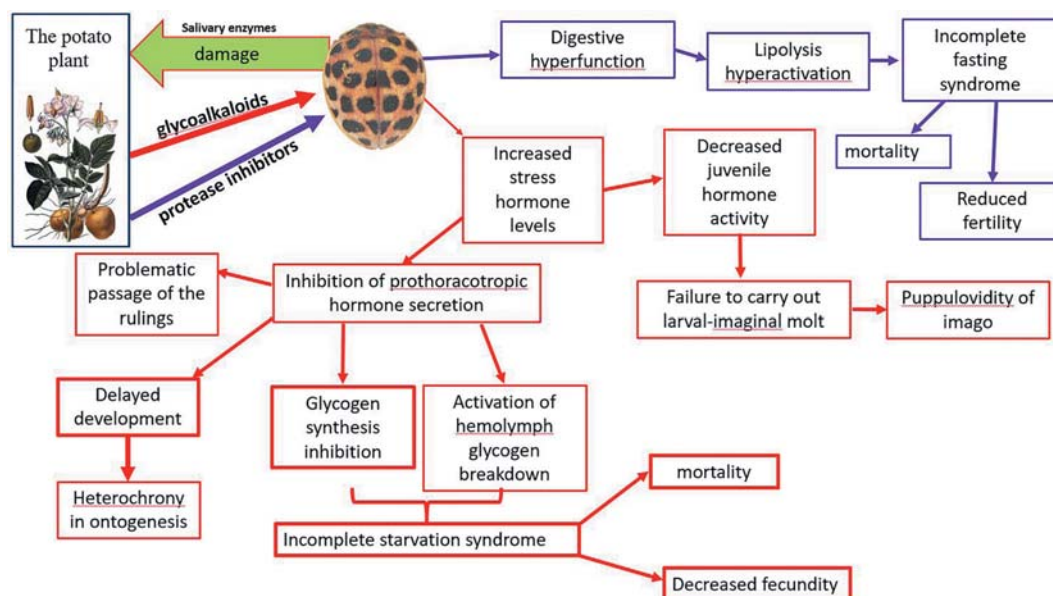


Рис. Схема взаимодействия «фитофаг-растение»
Fig. Scheme of phytophage-plant interaction

metabolism and vital functioning that influence the ontogeny and morphogenesis of insects). This category of barriers includes atretic, morphological, growth, physiological, metabolic, and ontogenetic barriers [16].

The atretic (depolymerizing) barrier is determined by structural differences in plant proteins, lipids, and carbohydrates and reduces their susceptibility to and destruction by the enzymes of phytophagous insects (the insufficient depth and rate of the depolymerization of proteins, lipids, and carbohydrates are a significant immunity factor [17]. The basis of this effect lies in the molecular incompatibility between the enzymes of phytophagous insects and the plant biopolymers targeted by them. This barrier is a property of immune plant varieties. When a phytophagous insect feeds on such plants its nutritional and energy needs are not completely satisfied, which leads to dystrophy – malnutrition and even death (because the energy costs of the search for food, feeding, and the digestion and absorption of food are not fully covered) [18]. The morphological barrier depends on the genetic differences in the differentiation and constitution of plant organs, tissues, and cells. These differences might make it difficult and even impossible for phytophagous insects to use plants as a food source and habitat [19]. The growth barrier is conditioned by differences in the growth rates of vegetative and reproductive plant organs and plant organisms as a whole. This barrier plays an important role because the high growth rates of various plant parts can hinder the normal development of eggs laid by phytophagous insects on rapidly growing plant organs and reduce the contact between their larvae and plant tissues (substrate) thus facilitating the natural cleaning of the latter [20]. The physiological-metabolic barrier depends on the differences between immune and non-immune plants in terms of physiological parameters and the characteristics of metabolism [21]. The ontogenetic barrier is conditioned by differences in the life cycle of immune and non-immune plants and discrepancies in the timing of the diachronic parameters of their individual development (periods, stages, and phases) [22]. The constitutional barriers of phytoimmunity are aimed at thoroughly and consistently protecting plants against harmful organisms at all levels from molecular to organismal one [23]. The induced barriers of phytoimmunity are activated when a plant is damaged. The aim of induced barriers is to localize harmful agents, isolate them from well-functioning unharmed tissues, and subsequently eliminate the pathogenic objects with the withering of damaged tissues. Induced barriers include necrogenic, repairing, gall-forming, oxidative, and inhibitory ones [24]. The necrogenic barrier, which is especially effective against some leaf-miner and sucking phytophagous insects, is manifested as the death of individual cells, cell complexes, tissues, and individual organs induced by injuries and leading to the spatial isolation of phytophagous insects from non-damaged plant parts and thus hindering their feeding on host plants [25]. The repairing barrier is the formation of new homologous organs that morphologically and functionally replace the damaged and destroyed ones (for example, the replacement of one shoot with another or several leaves with newly formed ones, etc.) [26]. The gall-forming and teratogenic barriers are manifested as pathological neoplasms – galls and parasitic teratomorphs – in plant hosts [27]. The oxidative barrier is the oxidation of secondary metabolites occurring when phytophagous insects damage plant tissues. This leads to an increase in the toxicity of secondary metabolites or to the synthesis of compounds interfering with the normal functioning of insects and even causing their death [28]. The inhibitory barrier is the synthesis of compounds with inhibitory functions, which suppress the activity of hydrolytic (amylases, proteases, etc.) and other enzymes, in the plant recipients damaged by phytophagous insects [29,30,31].

Thus, the reviewed immunological barriers developed in plant recipients in the course of their evolution to counteract the adaptation of various phytophagous insects [32,33,34].

2. Influence of food quality on the physiological state of phytophagous insects

Despite the well-developed morphological, physiological, and behavioral mechanisms allowing phytophagous insects to consume adequate nutrition, they still have to face some challenges such as fluctuations in the external supply of plant nutrition over time and in space (the quantity, balance, and availability of nutrients) [35]. Moreover, the nutritional needs of insects are not constant and change depending on what stage of growth, development, and reproduction they are at. If a phytophagous insect cannot respond to the challenge of balancing the ever-changing proportion of what it needs to what fodder plants provide, the insect has to suffer the consequences such as arrested development, a decrease in fecundity, and even premature death. Therefore, studying the compensatory mechanisms used by insects to balance this proportion plays a key role in understanding the relationships between insects and plants. This is also important for pest management and relevant to the optimal foraging theory [36].

In its turn, the nutritional value of plant recipients deeply influences the ecology, behavior, and physiology of phytophagous insects and is determined by numerous factors such as the quantity and quality of different nutrients, leaf roughness, the water content, and the composition of secondary metabolites [37]. Plants differ considerably in the composition and concentration of nutrients. Proteins and carbohydrates are the two macronutrients that are the most often referred to in scientific papers on the feeding ecology of phytophagous insects with special attention paid to their influence on the productiveness and selection of feed [38, 39]. It has been suggested that the recipient selection models used by phytophagous insects might have affected the content of macronutrients in their host plants in the process similar to the coevolution of insects with the defense allelochemical compounds generated by plants [40, 41]. The concentration of nutrients in proportion to unused mass such as cellulose is a component of variability in feeding and plays a certain role in the process [42,43]. It has been reported that phytophagous insects sometimes avoid plant parts containing a high dose of structural compounds [44, 45]. However, there is no definitive interpretation because the structural compounds might affect not only the concentration of nutrients but also the roughness of leaves [46]. Additionally, the experiments that differentiated the mechanical effect from the effect of diluting the volumetric components of plants by prescribing artificial diets showed that phytophagous insects were able to compensate for the dilution of nutrients by increasing the amount of digested food [36]. The same was observed for plant tissues [47]. In general, insects need to obtain a certain quantity of nutrients at a certain ratio to develop, survive, and multiply [48]. It might be challenging to find and gain access to the right combination of nutrients in the wild because food recourses often differ significantly in their chemical and nutritional profiles and do not provide a reliable nutritional profile, which could satisfy the needs of an insect completely [49].

Insects, which cannot change the nutritional content of identified food recourses, compensate the differences in the chemical composition by relying on diversity. For example, it is well known that the floral diversity provides the constant availability of resources allowing insects to regularly digest a great quantity of food and to increase the amount of accumulated food resources [50]. The diversity can improve the nutritional value of food (for example, by diluting toxic plant compounds [51, 52]. However, a large number of plant recipients does not automatically mean high food quality [50], because an important role is also played by the composition. A diet with the ideal composition of nutrients can be the most easily found in an environment with a high diversity of resources. In these conditions, animals can feed on various plant species with a different content of nutrients

as have been shown by Trinkl et al. [54]. The authors have analyzed the nutritional composition of the larval feed obtained from bee colonies located in various environments with floral diversity. They have shown that the proportion of beneficial fatty acids and the proportion P:L increase with the improvement of plant species abundance both in the larval feed and in the environments. These results have pointed out the importance of biological diversity in an environment for the adaptability and survival of many phytophagous insect species.

Insects are the main food source for some higher trophic levels (for example, birds), and the advantages offered by the diversity of resources on a lower trophic levels might lead to an increase in the population size of species on higher trophic levels. It is well known that insects choose food depending on the quality content of nutrients. For instance, Grund-Mueller et al. [55] have shown that adding protein and amino acids to a sucrose diet is not sufficient to extend the lifespan and to ensure the reproduction of adult bumblebees (*B. terrestris*). To maintain physiological functioning, other nutrients are required (such as lipids and microelements). Additionally, a number of studies have demonstrated that species specific proportions of micro- and macronutrients are crucial for the health and adaptability of animals in general [56] and insects in particular [57]. However, there are no extensive data on the food needs and the levels of tolerance to differences in the optimal intake of nutrients for the majority of insect species. It has not been conclusively studied how trophic interactions, social organization, and changes in the environment affect the desired ratio of nutrients.

Morimoto and Lihoreau [58] and Crumière et al. [59] have highlighted the importance of the further development of existing concepts in studies on nutrition such as the geometric framework for nutrition [60]. The latter came to be an extremely useful instrument for evaluating the influence on the proportion of nutrients (for example, P:L) in insects in particular and animals in general. Morimoto and Lihoreau [58] propose open access to GFN data as the basis for the development of comparative analyses and provide a template for structuring these data to simplify meta-analyses employing quantitative methods [58].

The observed variance in the chemical composition of resources requires the insects that consume these resources to be able to evaluate their chemical/ nutritional profiles (for instance, by tasting) and make appropriate decisions on feeding. Numerous behavioral studies have shown that [61] underlying physiological and neural mechanisms are not sufficiently studied especially the ability to distinguish non-sugar macronutrients (for example, oil or protein). It has been recently shown that bumblebees (*B. terrestris*) can sense all the amino acids that have the polar functional group in addition to the amino- and carboxyl groups specific to amino acids [56]. Additionally, bees distinguish not only different amino acids but also different concentrations of the same amino acid [56]. Interestingly, bumblebees do not distinguish pure pollen and the pollen enriched with amino acids [61]. This indicates that their decisions on pollen gathering can be influenced by nutritional compounds other than amino acids. In fact, enriching pollen with fatty acids (instead of amino acids) allows bumblebees to distinguish between the pure pollen and the supplemented one [62]. This means both amino and fatty acids are important but the signal of fatty acids is prioritized. The priority of fatty acids over amino acids has been also confirmed by Vaudo et al. [63] who have shown that *Bombus impatiens* prefers to feed on plants with pollen rich in protein and oil. The prioritized sensitivity to a crucial food component not only increases the chance of survival and therefore the chance of reproduction but also reduces the energy cost. This is a part of a complicated strategy adopted by generalist species for an effective use of various resources by rapidly evaluating the food quality at a low energy cost. This strategy allows insects to maximize the benefits of diversity.

Thus, the food recourses of insects are complex mixes of nutritional and non-nutritive (sometimes toxic) compounds. Usually these compounds include macronutrients (proteins, carbohydrates, and lipids), microelements (vitamins and minerals), and water, all of which directly participate in the physiological functioning of insects [64]. Some nutrients are essential and insects lack the ability to synthesize them in their bodies and must obtain them from food or through symbiosis with beneficial organisms. Others such as nutritional additives (stabilizers, preservatives, and dry compounds) and token stimulators (secondary plant metabolites) do not have a nutritional function.

3. Evolutionary relationships between phytophagous insects and plants

The tritrophic system “plant – phytophagous insect – entomophagous animal” is one of the most significant subsystems within an agroecosystem [65]. Analyzing this three-element system allows us to distinguish the main components in the chain of organisms interacting with each other. These components facilitate the main flow of energy, matter, and information. Phytophagous insects are divided into several categories based on their feeding specialization [66]: 1) host specificity resulting in the ability of insects to survive and normally function only on plant recipients from certain systemic groups; 2) topical specificity affecting the ability of species to normally develop only on specific parts of plant recipients; 3) ontogenetic specificity limiting insects to develop only on plant organs at specific growth stages and in a certain morphological and physiological state [65] (Vilkova and Ivashchenko). According to N.A. Vilkova et al. [67], the adaptability of arthropod species to intraspecific forms of fodder plants (varieties, hybrids, and lines) should also be distinguished within the host specificity. The main doctrine of ecology states there is an interaction between a given system and its environment and this interaction is determined by the responses of its inner components to external conditions. The reported phenomena of plant resistance to consumers assigned to different taxonomic ranks allow researchers to review and broadly characterize the immunogenetic system of plants [68].

There are profound differences in the interactions of micro- and macroorganisms with fodder plants [69]. These differences influence many aspects of the vital functioning of organisms. Most notably, they manifest in how arthropod pests actively choose fodder plants compared to microorganisms. Most phytophagous insects live autonomously and come into contact with plants at certain ontogenetic stages. Among invertebrates, insects achieved the highest level of anatomical development, and first of all, the development of the organs of senses and movement. The advanced sensory system of insects allows them to perceive and decode information from the environment and respond accordingly. The ability of insects to choose fodder plants actively depends on this factor [70]. Today the term “plant immunity” or phytoimmunity is used to denote the manifestation of plant defense mechanisms against consumers [71].

Trophic relationships along with competition and mutualism are the most basic and significant interactions in ecosystems. The patterns of the formation and maintenance of trophic relationships in insect communities within ecosystems are one of the most important fundamental problems in agroecology [72]. The characteristics of insects facilitating their rapid spread, reproduction, and adaptation to new environmental conditions create the possibility of numerous trophic interactions both within a given insect community and with other groups of organisms, with plants in particular. Agroecosystems do not have the same stability as natural ecosystems, the ecological groups and their interactions with each other change constantly; new trophic relationships develop. Phytophagous pests and entomophagous generalists establish such relationships most actively [73]. Both phytophagous pests and entomophagous generalists expand the population size by

expanding their fodder resources. The nutritional needs of a phytophagous insect is the basis for the interactions between this insect and fodder plants. These needs are reflected in the unique feeding specialization and adaptation of insects allowing them to use plant food most effectively. The feeding specialization of phytophagous insects is determined by the physiological and biochemical characteristics of both plant recipients and phytophagous insects themselves [74]. Plant resistance to phytophagous insects depends primarily on specific factors of plant immunity that play the role of barriers limiting the number of plant species and plant organs and tissues suitable for the feeding of insects and mites. In contrast to animals, the phylogeny of plant immunogenetic system has not been thoroughly studied. The factors that determine plant resistance to arthropod pests have been researched the least. Modern science views the system "phytophagous insect – plant recipient" as a result of the coadaptation and coevolution of phytophagous animals and fodder plants [75]. An important evolutionary characteristic of these systems is the ability of phytophagous insects to actively and intentionally search for optimal conditions for feeding and reproduction (Burov et al., 2005). In particular, many insects are adapted to feeding and reproduction on certain plant organs and tissues at certain ontogenetic stages. Identification mechanisms are well developed in the system "phytophagous insect – plant" and allow insects to successfully spread, multiply, and feed on suitable plant species. Searching for fodder plants, feeding on and digesting their tissues, absorbing hydrolyzed food have a significant metabolic cost [71]. Thus, plant recipients possess a number of specific traits (morphological, physiological, etc.) that prevent phytophagous insects from colonizing plant tissues. An act of insect feeding is a process with a high metabolic cost, a chain of consecutive actions in the process of nutrition-seeking activity [76]. The complex of hydrolytic enzymes in the insect intestine is one of the main targets for plant defense responses because these enzymes determine the availability of structural compounds (proteins, sugars, and lipids) for phytophagous insects. For this reason, the digestive enzymes of phytophagous insects play a key role in the adaptation of insects to the pest resistance of fodder plants. For instance, the synthesis of proteinase inhibitors in fodder plants as a result of induced pest resistance might change the composition of enzymes in the insect intestine. This terminates the effect of the inhibitors. For example, feeding Colorado potato beetles the potato leaves that were treated with jasmonic acid (the imitation of induced resistance to insects) increases the expression of cysteine proteinases in the intestines of the beetles. Asparagine proteinase inhibitors were synthesized in the treated leaves [77]. Plant xenobiotics are transformed in insect bodies primarily by the detoxification system [78]. For example, the activity of esterases increases in the intestines of *Myzus persicae* when these insects feed on tobacco plants with a high content of niacin compared to feeding on pepper plants [79]. Esterase activity increases in *Spodoptera litura* when fodder plants are rich in phenols [80]. An increase in GST activity (an enzyme of the detoxification system) was detected in the intestines of *Spodoptera frugiperda* and *Trichoplusia ni* when they fed on a substrate with glucosinolates [81]. Glucose oxidase from the saliva of *Helicoverpa zea* larvae reduces the synthesis rate of nicotine in *Nicotiana tabacum* plants as a response to the acceleration of the nicotine synthesis induced by insect damage [82]. In our opinion, the causes of the development of feeding specialization in phytophagous insect species are a question for discussion. It is necessary to re-examine the needs of phytophagous insects as first-order consumers because they define the character of their interactions with fodder plants and to determine the factors that correct these relationships. From the ecological perspective, the feeding specialization of phytophagous insects can be viewed as a means of preserving and maintaining the stability of the system "producer – consumer". The complex of coadaptations forms between species in food chains in

dependence to a complicated constellation of antagonistic relationships between consumers and food objects [83]. For example, we observed that food resources had different effect on the potato ladybird beetle populations depending on the genotype of the potato variety [84]. The mechanisms of this influence are based on allelochemical interactions in the system "phytophagous insect – plant recipient" [85]. Releasing metabolic products into the environment is the characteristic of any living organism. The main biological principle (in both ontogeny and phylogeny) is the consistent adaptation of one species to the metabolic products released by other species into the mutual environment. Each individual in an ecosystem releases different metabolic products into the environment and thus creates specific environmental conditions, which might be toxic, favorable or neutral for nearby plants, phytophagous insects, and microorganisms [86]. In 1996, the International Allelopathy Society expanded its definition of allelochemical interactions by including any processes with the secondary metabolites produced by plants, microorganisms, viruses, and fungi and influencing the growth and development of agricultural and biological systems [87]. Allelopathic interactions are one of the most complex interactions because both direct and indirect effects are intertwined in this form. The direct influence is determined by the metabolites released by plants and the indirect influence is connected to the activity of insects, microorganisms, and fungi. The allelopathic influence can be not only negative but also positive because plant and microbial discharge were found out to contain all the discovered natural organic compounds [88]. The plants damaged by phytophagous insects activate defense mechanisms, which are constituted by several components, such as an increase in the concentration of secondary metabolites, including phenols. An infected plant having a higher concentration of phenolic compounds might demonstrate a higher allelopathic activity when these compounds are released into the environment. An increase in the concentrations of allelochemicals due to the damage caused by insects to plants may also affect the synchronicity of the development of insects and their predators [89]. In other words, it is supposed there are combinations of allelochemicals that might seriously harm insects but be beneficial for their predators at the same time. Although the biosynthesis, accumulation, and release of secondary metabolites, including allelochemicals, are often organized through interpreting a signal by target plants and the subsequent cascade of transduction, the new role of allelopathy is the transduction of signals. This occurs when compounds of indirect effect are released into the environment because allelochemicals have a signal nature (referred to as semiochemical or chemical signals) in relation to acceptor plants [90]. A host plant can release these chemicals as volatile compounds and root exudates not only from damaged organs but also systemically from non-damaged ones, which are activated at early stages of the signal cascade [91]. A secondary plant metabolite is an allelochemical if it can directly or indirectly affect target plant species, and the effect is allelopathic in this case [92].

Conclusion

To get an idea of the intraspecific structure, researchers can study geographical and biotope populations within the habitat range of species. From the evolutionary and ecological perspective, the diversification of population could be viewed as the process aimed at the most effective adaptation to local conditions and resulting in the development of ecological, genetic, and phenetic differences among them [93]. For this reason, the agroecological monitoring of the consequences of ever-increasing anthropological impact on agroecosystems should be an essential element of modern technologies for crop production. The monitoring should include the analysis of changes in species, intraspecific, and intrapopulation biodiversity of all-level consumers in agroecosystems and, first of all, in the diversity of dominant and superdominant pests. These species can serve as test objects (bioindicators) for

identifying the consequences of the anthropological transformation of agroecosystems. The results of the monitoring should be considered when developing zonal systems for phytosanitary management in agroecosystems to achieve the high efficiency of plant protection measures by hindering the adaptation of consumers to plant protection products and other specific factors of agricultural production.

Management of processes of intra-water divergence of insect-phytophages in agrobiocoenoses in order to prevent the emergence of races and populations of pests adapted to live on initially resistant to them plant forms is possible in compliance with the transition to a targeted selection of agricultural crops for resistance to a complex of pests.

• Литература / References (In Russ.)

1. Tai H.H., Vickruck J. Potato resistance against insect herbivores. In: *Insect Pests of Potato. Global Perspectives on Biology and Management*. Eds: A. Alyokhin, S. Rondon, Y. Gao. 2nd ed., chapter 14. London, UK: Academic Press; 2022. pp. 277-296.
2. Nietupski M., Ludwiczak E., Olszewski J., Gabry 's B., Kordan B. Effect of Aphid Foraging on the Intensity of Photosynthesis and Transpiration of Selected Crop Plants in Its Early Stages of Growing. *Agronomy*. 2022;12(10):2370. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102370>
3. Bentham A.R., De la Concepcion J.C., Mukhi N., Zdrzalek R., Draeger M., Gorenkin D., Hughes R.K., Banfield M.J.. A molecular roadmap to the plant immune system. *Journal of Biological Chemistry*. 2020;295(44):14916-14935. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.010852>
4. Miller R.N., Costa Alves G.S., Van Sluys M.A. Plant immunity: Unravelling the complexity of plant responses to biotic stresses. *Annals of Botany*. 2017;119(5):681-687. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw284>
5. Doughari J.H. An Overview of Plant Immunity. *J. Plant Pathol. Microbiol.* 2015;6(11): 322. DOI:10.4172/2157-7471.1000322
6. Pélissier R., Cyrille V., Morel J.-B. Plant immunity: Good fences make good neighbors? *Curr. Opin. Plant Biol.* 2021;62:102045. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2021.102045>
7. Jones J., Dangl J. The plant immune system. *Nature*. 2006;444(7117):323-329. <https://doi.org/10.1038/nature05286>
8. Vavilov N.I. Study on plant immunity to infectious diseases. Moscow, Leningrad: Sel'khozgiz; 1935. 100 p. (In Russ.)
9. Rubin B.A., Artsikhovskaya E.A. Biochemistry and physiology of plant immunity. Moscow: Vysshaya shkola; 1968. 416 p. (In Russ.)
10. Pascutti Simão T.M., Silva F.C., Guerreiro Ju.C., Boica Junior A.L. Antixenosis in Constitutive Resistance in Maize Genotypes to the Stink Bug *Diceraeus melacanthus*. *Journal of Agricultural Science*. 2023;15(11):57. <https://doi.org/10.5539/jas.v15n11p57>
11. Shapiro I.D., Vilkova N.A., Slepian E.I. Plant immunity to pests and diseases. L.: Agropromizdat; 1986. 188 p. (In Russ.)
12. Masters G.J., Brown V.K. Plant-mediated interactions between two spatially separated insects. *Funct Ecol.* 1992;6:175-179.
13. Shpirnaya I.A., Ibragimov R.I., Umarov I.A. Suppression of Activity Hydrolytic Enzymes the Larvae of the Potato Beetles of Protein from Plants. *Bull. Bashkir Univ.* 2006;11:49-52. (In Russ.)
14. Chandel R.S., Sharma P.C., Verma K.S., Mehta P.K., Vinod K. Insect pests of potato – III: Leaf eating and defoliating insects. *Pestology*. 2011;35:60-66.
15. Chandel R.S. Chandra V.K., Verma K.S., Pathania M. Insect Pests of Potato Global Perspectives on Biology and Management. In: *Insect pests of potato in India: biology and management*. Eds: Giordanengo P., Vincent C., Alyokhin A. Waltham, MA: Academic Press; 2013. pp. 227-268.
16. Chandel R.S., Chandra V.K. Managing tuber damaging pests of potato. *Indian Horticulture*. 2003;48:15-17.
17. Courtney S. Coevolution of pierid butterflies and their cruciferous foodplants. III. *Anthocharis cardamines* (L.) survival, development and oviposition on different plants. *Oecologia*. 1981;51:91-96. <https://doi.org/10.1007/BF00344658>
18. Andrew N.R., Roberts I.R., Hill S.J. Insect herbivory along environmental gradients. *Open Journal of Ecology*. 2012;2:202-213
19. Marchin R., Zeng H., Hoffmann W. Drought-deciduous behavior reduces nutrient losses from temperate deciduous trees under severe drought. *Oecologia*. 2010;163(4):845-854. <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1614-4>
20. Grostal P., O'Dowd D.J. Plants, mites and mutualism: Leaf domatia and the abundance and reproduction of mites *Viburnum tinus*. *Oecologia*. 1994; 97(3): 308-315. DOI: 10.1007/BF00317319
21. Joern A., Provin T., Behmer S.T. Not just the usual suspects: Insect herbivore populations and communities are associated with multiple plant nutrients. *Ecology*. 2012;93(5):1002-1015.
22. Schoonhoven L.M., van Loon J.J.A., Dicke M. Insect-plant Biology. Oxford, UK: Oxford University Press; 2005. 421 p.
23. Read J., Stokes A. Plant biomechanics in an ecological context. *American Journal of Botany*. 2006;93(10): 1546-1565. DOI: 10.3732/ajb.93.10.1546
24. Howe G.A., Jander G. Plant immunity to insect herbivores. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2008;59:41-66. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092825>
25. Verhage A., van Wees S.C.M., Pieterse C.M.J. Plant immunity: it's the hormones talking, but what do they say? *Plant Physiol.* 2010;154(2):536-540. <https://doi.org/10.1104/pp.110.161570>
26. Hare J.D. Ecological role of volatiles produced by plants in response to damage by herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol.* 2011;56:161-180. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144753>
27. Dudareva N., Negre F., Nagegowda D.A., Orlova I. Plant volatiles: recent advances and future perspectives. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2006;25(5):417-440. <https://doi.org/10.1080/07352680600899973>
28. Arimura G.I., Matsui K., Takabayashi J. Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: proximate factors and their ultimate functions. *Plant and Cell Physiology*. 2009;50(5):911-923. <https://doi.org/10.1093/pccp/pcp030>
29. Agrawal A.A., Janssen A., Bruin J., Posthumus M.A., Sabelis M.W. An ecological cost of plant defence: attractiveness of bitter cucumber plants to natural enemies of herbivores. *Ecology Letters*. 2002;5:377-385.
30. War A.R., Paulraj M.G., War M.Y., Ignacimuthu S. Herbivore- and elicitor-induced resistance in groundnut to Asian armyworm, *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Plant Signal. Behav.* 2011;6(11):1769-1777. <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17323>
31. Karban R. The ecology and evolution of induced resistance against herbivores. *Functional Ecology*. 2011;25(2): 339-347. DOI:10.1111/j.1365-2435.2010.01789.x
32. Sharma H.C., Ortiz R. Host plant resistance to insects: An eco-friendly approach for pest management and environment conservation. *J. Environ. Biol.* 2002;23(2):111-135.
33. Simmonds M.S.J. Flavonoid-insect interactions: recent advances in our knowledge. *Phytochemistry*. 2003;64(1):21-30. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00293-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00293-0)
34. Duffey S.S., Stout M.J. Antinutritive and toxic components of plant defense against insects. *Arch. Insect. Biochem. Physiol.* 1996;32:3-37
35. Steppuhn A., Baldwin I.T. Resistance management in a native plant: nicotine prevents herbivores from compensating for plant protease inhibitors. *Ecol. Lett.* 2007;10(6):499-511. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01045.x>
36. Simpson S.J., Simpson C.L. The mechanisms of nutritional compensation by phytophagous insects. In: *Insect-Plant Interactions*. Ed: E.A. Bernays. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 1990. pp 111-160.
37. Bernays E.A. Evolution of feeding behavior in insect herbivores. *BioScience*. 1998;48(1):35-44. <https://doi.org/10.2307/1313226>
38. Bernays E.A. Phytophagous insects. In: *Encyclopedia of Insects*. Eds: Resh V.H., Cardé R.T. 2nd ed. San Diego, CA, USA: Academic Press; 2009. pp. 798-800.
39. Waldbauer G.P., Friedman S. Self-selection of optimal diets by insects. *Annu. Rev. Entomol.* 1991;36:43-63. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.36.010191.000355>
40. Moran N., Hamilton W.D. Low nutritive quality as a defence against herbivores. *J. Theor. Biol.* 1980;86(2):247-254. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(80\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0022-5193(80)90004-1)
41. Lundberg P., Åström M. Low nutritive quality as a defense against optimally foraging herbivores. *The American Naturalist*. 1990;135(4):547-562.
42. Abe T., Higashi M. Cellulose centered perspective on terrestrial community structure. *Oikos*. 1991;60(1):127-133. <https://doi.org/10.2307/3545003>
43. Hochuli D.F. The ecology of plant/insect interactions: implications of digestive strategy for feeding by phytophagous insects. *Oikos*. 1996;75(1):133-141. <https://doi.org/10.2307/3546331>
44. Choong M.F., Lucas W., Ong J.S.Y., Pereira B., Tan H.T.W., Turner I.M. Leaf fracture-toughness and sclerophylly – their correlations and ecological implications. *New Phytologist*. 1992;121:597-610. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01131.x>
45. Williams W.P., Davis F.M., Buckley P.M., Hedin P.A., Baker G.T., Luthe D.S. Factors associated with resistance to fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and southwestern corn borer (Lepidoptera: Crambidae) in corn at different vegetative stages. *J. Econ. Ent.* 1998;91(6):1471-1480. <https://doi.org/10.1093/jeel/91.6.1471>
46. Sands D.P.A., Brancatini V.A. A portable penetrometer for measuring leaf toughness in insect herbivory studies. *Proc. Ent. Soc. Wash.* 1991;93:786-788.
47. Slansky F., Feeny P.P. Stabilization of the rate of nitrogen accumulation by larvae of the cabbage butterfly on wild and cultivated food plants. *Ecol. Monogr.* 1977; 47:209-228.
48. Simpson S.J., Clissold F.J., Lihoreau M., Ponton F., Wilder S.M., Raubenheimer D. Recent advances in the integrative nutrition of arthropods. *Annu. Rev. Entomol.* 2015;60:293-311. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-020917>
49. Jarau S., Hrcir M. Food Exploitation by Social Insects: Ecological, Behavioral and Theoretical Approaches. Boca Raton, FL, USA: Taylor & Francis Group; 2009. 360 p
50. Kaluza B.F., Wallace H.M., Keller A., Heard T.A., Jeffers B., Drescher N., Blüthgen N., Leonhardt S.D. Generalist social bees maximize diversity intake in plant species-rich and resource-abundant environments. *Ecosphere*. 2017;8:e01758. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1758>
51. Irwin R.E., Cook D., Richardson L.L., Manson J.S., Gardner D.R. Secondary compounds in floral rewards of toxic rangeland plants: Impacts on pollinators. *J. Agric. Food Chem.* 2014;62(30):7335-7344. <https://doi.org/10.1021/jf500521w>
52. Eckhardt M., Haider M., Dorn S., Müller A. Pollen mixing in pollen generalist solitary bees: A possible strategy to complement or mitigate unfavourable pollen properties? *J. Anim. Ecol.* 2014;83(3):588-597. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12168>
53. Kaluza B.F., Wallace H.M., Heard T.A., Minden V., Klein A.M., Leonhardt S.D. Social bees are fitter in more biodiverse environments. *Scientific Reports*.

- 2018;8(3):12353. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1758>
54. Trinkl M., Kaluza B.F., Wallace H.M., Heard T., Keller A., Leonhardt S.D. Floral species richness correlates with changes in the nutritional quality of larval diets in a stingless bee. *Insects*. 2020;11(2):125. <https://doi.org/10.3390/insects11020125>
55. Grund-Mueller N., Ruedenauer F.A., Spaethe J., Leonhardt S.D. Adding amino acids to a sucrose diet is not sufficient to support longevity of adult bumble bees. *Insects*. 2020;11(4):247. <https://doi.org/10.3390/insects11040247>
56. Ruedenauer F.A., Raubenheimer D., Kessner-Beierlein D., Grund-Mueller N., Noack L., Spaethe J., Leonhardt S.D. Best be(e) on low fat: Linking nutrient perception, regulation and fitness. *Ecol. Lett.* 2020;23(3):545-554. <https://doi.org/10.1111/ele.13454>
57. Vaudo A.D., Patch H.M., Mortensen D.A., Tooker J.F., Grozinger C.M. Macronutrient ratios in pollen shape bumble bee (*Bombus impatiens*) foraging strategies and floral preferences. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2016;113:e4035-e4042. <https://doi.org/10.1073/pnas.1606101113>
58. Morimoto J., Lihoreau M. Open data for open questions in comparative nutrition. *Insects*. 2020;11(4): 236. DOI: 10.3390/insects11040236
59. Crumière A.J.J., Stephenson C.J., Nagel M., Shik J.Z. Using nutritional geometry to explore how social insects navigate nutritional landscapes. *Insects*. 2020;11(1): 53. DOI: 10.3390/insects11010053
60. Simpson S.J., Raubenheimer D. The central role of the haemolymph in the regulation of nutrient intake in insects. *Physiol. Entomol.* 1993;18:395-403.
61. Nicholls E., Hempel de Ibarra N. Assessment of pollen rewards for foraging bees. *Funct. Ecol.* 2017;31(1):76-87. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12778>
62. Ruedenauer F.A., Leonhardt S.D., Lunau K., Spaethe J. Bumblebees are able to perceive amino acids via chemotactile antennal stimulation. *J. Comp. Physiol. A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol.* 2019;205(3):321-331. <https://doi.org/10.1007/s00359-019-01321-9>
63. Vaudo A.D., Tooker J.F., Patch H.M., Biddinger D.J., Coccia M., Crone M.K., Fiely M., Francis J.S., Hines H.M., Hodges M., Jackson S.W., Michez D., Mu J., Russo L., Safari M., Treanore E.D., Vanderplanck M., Yip E., Leonard A.S., Grozinger C.M. Pollen protein: Lipid macronutrient ratios may guide broad patterns of bee species floral preferences. *Insects*. 2020;11(2):132. <https://doi.org/10.3390/insects11020132>
64. Cohen A.C. Insect diets: Science and technology. Boca Raton, Florida: CRC Press; 2015. 344 p.
65. Burov V.N., Petrova M.O., Stepanycheva E.A., Chermenskaya T.D., Shchenikova A.V. Plant defense responses of a direct and indirect effect in a tritrophic system. *Plant Protection News*. 2002;3:69-70. (In Russ.)
66. Slepnyana E.H. Problems of plant oncology and teratology: proceedings of the 1st National seminar on the problem of pathological neoplasms in plants. Leningrad: Nauka; 1975. 493 p.
67. Vilko N.A., Nefedova L.I., Frolov A.N. Immunity of seed plants and its phytosanitary value in agroecosystems. *Plant protection and quarantine*. 2015;8:3-9. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/uarjvw>
68. Pavlyushin V.A., Vilko N.A., Sukhoruchenko G.I., Fasulati S.R., Nefedova L.I. Phytosanitary consequences of anthropogenic transformation of agricultural ecosystems. *Plant Protection News*. 2008;3:3-26. (In Russ.)
69. Vilko N.A., Sukhoruchenko G.I., Fasulati S.R. Anthropological factors and microevolution of phytophagous insects in agroecosystems including transgenic potato varieties. Transgenic plants are a new direction in the biological protection of plants. Proceedings of the International Scientific Conference. Krasnodar, 2003. p. 170-179. (In Russ.)
70. Fasulati S.R. Microevolutionary aspects of the influence of potato varieties on the population structure of the Colorado potato beetle. In: Variation of insect pests under the conditions of scientific and technical progress in agriculture: Scientific papers of the All-Soviet Institute of Plant Protection. Leningrad; 1988. 71-84 p. (In Russ.)
71. Burov V.N. Petrova M.O., Selitskaya O.G., Stepanycheva E.A., Chermenskaya T.D., Shamshev I.V. Induced plant resistance to phytophages. Moscow: Publishing House KMK; 2012. 182 p. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/uazocx>
72. Shepelev M.A. Agroecology. Kostanai, 2016. 46 p. (In Russ.)
73. Chernyshev V.B. Ecology of insects. Moscow: Lomonosov Moscow State University; 1996. 304 p. (In Russ.)
74. Chernyshev V.B. Ekologicheskaya zashchita rastenii: Chlenistonogie v agroekhosisteme [Ecological protection of plants: Arthropods in an agroecosystem]. Moscow: Lomonosov Moscow State University; 2001. 136 p. (In Russ.)
75. Chulkina V.A., Toropova E.Yu., Stetsov G.Ya. Epiphytology bases of integrated plant management (IPM) In: *Epiphytology (ecological basics of plant protection)*. Ed: Zhuchenko A.A. Novosibirsk; 1998. 226 p. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/jxrhv>
76. Vilko N.A., Nefedova L.I., Asyakin B.P., Konarev A.I.V., Vereshchagina A.B., Ivanova O.V., Razzdoburdin V.A., Fasulati S.R., Yusupov T.M. Principles and methods of the identification of group and complex resistance of the main agricultural crops. Saint Petersburg: RASKhN; 2009. 88 p.
77. Bolter C.J. Jongsma M.A. Colorado potato beetles (*Leptinotarsa decemlineata*) adapt to proteinase inhibitors induced in potato leaves by methyl jasmonate. *Journal of Insect Physiology*. 1995;41:1071-1078.
78. Baldwin A.J. Further biological observations on *Subcoccinella vigintiquatuorpuntata*. *Entomologist's Monthly Magazine*. 1990;126(1516-1519):223-229.
79. Cabrera-Brandt M.A., Contreras E.F., Figueroa C.C. Differences in the detoxification metabolism between two clonal lineages of the aphid *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera:Aphididae) reared on tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2010;70(4):567-575.
80. Ghumare S.S., Mukherjee S.N. Performance of *Spodoptera litura* Fabricius on different host plants: influence of nitrogen and total phenolics of plants and mid-gut esterase activity of the insect. *Indian J. Experiment. Biol.* 2003;41(8):895-899.
81. Gil M.A. Insect resistance in tomato (*Solanum* spp.). *Cultivos Tropicales*. 2015;36(2):100-110. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34979.04640>
82. Musser R.O., Cipollini D.F., Hum-Musser S.M., Williams S.A., Brown J.K., Felton G.W. Evidence that the caterpillar salivary enzyme glucose oxidase provides herbivore offense in solanaceous plants. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. 2005;58(2):128-137.
83. Mujica N. Alcázar J., Kroschel J. Interacción del nematode entomopatogénico *Heterorhabditis indica* (Rhabditida: Heterorhabditidae) y el ectoparasitoide *Diglyphus begini* (Hymenoptera: Eulophidae) en el control de la mosca minadora *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae). LV Convención Nacional de Entomología, 4-7 November, 2013. La Molina, Lima-Perú.
84. Matsishina N.V., Fisenko P.V., Ermak M.V., Sobko O.A., Volkov D.I., Boginskaya N.G. Traditional Selection Potato Varieties and Their Resistance to the 28-punctata Potato Ladybug *Hemosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) in the Southern Russian Far East. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2022;56(4):456-462. <https://doi.org/10.18805/IJAR.EAF-694>
85. Matsishina N.V., Ermak M.V., Kim I.V., Fisenko P.V., Sobko O.A., Klykov A.G., Emel'yanov A.N. Allelochemical Interactions in the Trophic System "Hemosepilachna vigintioctomaculata Motschulsky - *Solanum tuberosum* Linneus". *Insects*. 2023;14(5):459. <https://doi.org/10.3390/insects14050459>
86. Kondrat'ev M.N., Larikova Yu.S. Allelopathy as a mechanism of interaction plants and plants, plants and insects, plants and microorganisms. *Agrarian science*. 2019;2:57-61. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-2-57-61> (In Russ.)
87. Jabran K., Mahajan G., Sardana V., Chauhan B. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*. 2015;72:57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>
88. Kong C., Xu T., Hu F. Study on interactions among allelochemicals of *Ageratum conyzoides*. *Acta Phytocologica Sinica*. 1998;22(5):403-408.
89. Vorontsova E.S. Describing the methods based on allelopathy and allelochemical compounds in agriculture. *Scientific Electronic Journal Meridian*. 2020;6(40):261-263. (In Russ.)
90. Inderjit, Wardle D.A., Karban R., Callaway R. The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends Ecol. Evol.* 2011;26(12): 655-662. DOI:10.1016/j.tree.2011.08.003
91. Pickett J.A. Rasmussen H., Woodcock C., Mattheis M., Napier J. Plant stress signalling: understanding and exploiting plant-plant interactions. *Biochem. Soc. Trans.* 2003;31(1):123-127. <https://doi.org/10.1042/bst0310123>
92. Konaryov A.V. Molecular aspects of plant immunity and their coevolution with insects. *Biosfera*. 2017;9(1):79-99. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v9i1.325> (In Russ.)
93. Vasil'ev A.G., Vasil'eva I.A. Epigenetic changes in a population as a probable mechanism of an ecosystemic crisis. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. Biology*. 2005;1:27-38. (In Russ.)

Об авторах:

Наталья Валериевна Мацишина – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и генетических исследований полевых культур, SPIN-код: 7734-6656, Scopus Author ID: 57218616526, <https://orcid.org/0000-0001-0165-1716>, mnathalie134@gmail.com

Ольга Абдулалиевна Собко – научный сотрудник лаборатории селекции и генетических исследований полевых культур, SPIN-код: 8082-5318, Scopus Author ID: 57218617568, <https://orcid.org/0000-0002-4383-3390>, автор для переписки, o.evyazova@gmail.com

Марина Владимировна Ермак – младший научный сотрудник лаборатории селекции и генетических исследований полевых культур, <https://orcid.org/0000-0002-37278634>, SPIN-код: 1508-8155, ermackmarine@yandex.ru

About the Authors:

Nataliya V. Matsishina – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Breeding and Genetic Research on Field Crops, SPIN-code: 7734-6656, Scopus Author ID: 57218616526, <https://orcid.org/0000-0001-0165-1716>, mnathalie134@gmail.com

Olg'a A. Sobko – Researcher, Laboratory of Breeding and Genetic Research on Field Crops, SPIN-code: 8082-5318, Scopus Author ID: 57218617568, <https://orcid.org/0000-0002-4383-3390>, Correspondence Author, o.evyazova@gmail.com

Marina V. Ermak – Junior Researcher, Laboratory of Breeding and Genetic Research on Field Crops, <https://orcid.org/0000-0002-37278634>, SPIN-code: 1508-8155, ermackmarine@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-91-97>
УДК: 635.21-02(470.3)

Ю.Г. Кашина, Г.Л. Белов,
В.Н. Зейрук*, Л.В. Дмитриева

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный исследо-
вательский центр картофеля
имени А.Г. Лорха»
(ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»)
140051, Россия, Московская обл., г. Люберцы,
д.п. Красково, ул. Лорха, д.23, литер В

*Автор для переписки: vzeyruk@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют
об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Ю.Г. Кашина, проведение
исследований, написание рукописи, Г.Л.
Белов, проведение исследований, написание и
редактирование рукописи, В.Н. Зейрук, концеп-
туализация, редактирование рукописи, Л.В.
Дмитриева, проведение исследований.

Для цитирования: Кашина Ю.Г., Белов Г.Л.,
Зейрук В.Н., Дмитриева Л.В. Урожайность,
качество и пригодность к переработке различ-
ных сортов картофеля при выращивании в усло-
виях Центрального региона РФ. *Овощи России*.
2024;(5):91-97.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-91-97>

Поступила в редакцию: 30.05.2024

Принята к печати: 11.07.2024

Опубликована: 27.09.2024

Julia G. Kashina, Grigoriy L. Belov,
Vladimir N. Zeyruk, Lyudmila V. Dmitrieva

Russian Potato Research Centre (RPRC)
23-B, Lorkh Str., Kraskovo, Lyuberetsky district,
Moscow region, Russia, 140051

*Corresponding Author: vzeyruk@mail.ru

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

Authors' Contribution: Yu.G. Kashina, conducting
research, writing a manuscript, G.L. Belov, con-
ducting research, writing and editing a manuscript,
B.N. Zeiruk, conceptualization, editing a manu-
script, L.V. Dmitrieva, conducting research.

For citation: Kashina Ju.G., Belov G.L., Zeyruk
V.N., Dmitrieva L.V. Productivity, quality and suit-
ability for processing of various potato varieties
when grown in the conditions of the Central region
of the Russian Federation. *Vegetable crops of
Russia*. 2024;(5):91-97. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-91-97>

Received: 30.05.2024

Accepted for publication: 11.07.2024

Published: 27.09.2024

Урожайность, качество и пригодность к переработке различных сортов картофеля при выращивании в условиях Центрального региона РФ

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Изучение реакции сортов картофеля, особенно новых, на применение ком-
плекса агротехнических приемов, включающего и некорневые подкормки водораствори-
мыми удобрениями является актуальной задачей. С этой целью были исследованы 4 сорта
картофеля разных групп спелости (Ред Скарлетт, Невский, Голубизна, Гранд) в двух регио-
нах России с применением агрохимиката Агровин Микро.

Материал и методика. В статье представлены экспериментальные данные по изучению
биометрических показателей, урожайности и качества картофеля на некорневые подкорм-
ки в условиях выщелоченного чернозема и дерново-подзолистых супесчаных почв
Центрального региона России. Объектами исследований являлись сорта картофеля раз-
личных групп спелости. Проводили некорневую подкормку растений агрохимикатом
Агровин Микро в фазы всходов, бутонизации и через 20 дней после последней обработки
в двух нормах расхода – 1,0 и 2,0 л/га. Контроль – без обработки (К) с фоном N₉₀P₉₀K₁₃₅.

Результаты. Наилучшими вариантами в среднем за годы исследований на всех сортах ока-
зались варианты с применением дополнительной листовой обработки агрохимикатом в
максимальной дозе 2 л/га. За счет трехкратной некорневой подкормки по критическим
фазам роста растений картофеля получены наибольшие прибавки урожайности и макси-
мальные значения содержания сухого вещества, крахмала к минеральному фону. В усло-
виях Тамбовской области прибавка урожайности в зависимости от сорта составила от 24,2
до 59,3% или 6,0-10,5/га и в условиях Московской области – 3,3-28,9% или 1,2-7,1 т/га.
Наиболее пригодным для переработки на обжаренные картофелепродукты из изученных
сортотипов оказались Ред Скарлетт и Гранд. При прочих равных факторах показатель цвета
хрустящего картофеля и фри на данных сортах был выше по сравнению с сортом Невский
на 1,0-1,5 балла.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

картофель, сорта, удобрения, биометрические показатели, урожайность, пригодность к
переработке

Productivity, quality and suitability for processing of various potato varieties when grown in the conditions of the Central region of the Russian Federation

ABSTRACT

Relevance. The study of the reaction of potato varieties, especially new ones, to the use of a com-
plex of agrotechnical techniques, including foliar top dressing with water-soluble fertilizers, is an
urgent task. For this purpose, 4 potato varieties of different ripeness groups (Red Scarlett,
Nevsky, Golubizna, Grand) were studied in two regions of Russia using agrochemicals Agrovin
Micro.

Methods. The article presents experimental data on the study of biometric indicators, yield and
quality of potatoes for non-root top dressing in conditions of leached chernozem and sod-pod-
zolic sandy loam soils of the Central region of Russia. The objects of research were potato vari-
eties of various ripeness groups. Foliar fertilization of plants with agrochemicals Agrovin Micro
was carried out in the phases of germination, budding and 20 days after the last treatment in two
consumption rates – 1.0 and 2.0 l / ha. Control – without processing (K) with background
N₉₀P₉₀K₁₃₅.

Results. On average, over the years of research, the best options for all varieties turned out
to be options with the use of additional leaf treatment with an agrochemical at a maximum dose of
2 liters /ha. Due to three-fold foliar top dressing for the critical phases of potato plant growth, the
greatest yield increases and maximum values of dry matter and starch content to the mineral
background were obtained. In the conditions of the Tambov region, the increase in yield, depend-
ing on the variety, ranged from 24.2 to 59.3% or 6.0-10.5 /ha and in the conditions of the Moscow
region – 3.3-28.9% or 1.2-7.1 t/ha. The most suitable for processing into fried potato products
from the studied varieties turned out to be Red Scarlett and Grand. All other things being equal,
the color index of crispy potatoes and fries on these varieties was higher than the Nevsky vari-
ety by 1.0-1.5 points.

KEYWORDS:

potato, varieties, fertilizers, biometric indicators, yield, recyclability

Введение

Сортовой состав картофеля в нашей стране очень разнообразен и с каждым годом пополняется новыми сортами, в наибольшей степени отвечающими уровню интенсификации растениеводства. В настоящее время в производстве используется более 450 районированных сортов, различающихся по длине вегетационного периода, мощности развития надземной массы и корневой системы, типу куста и форме листьев, параметрам размещения клубневого гнезда и количеству клубней [1]. В связи с этим они предъявляют неодинаковые биологические требования к основным факторам роста и развития растений.

Неодинаковые биологические требования настоятельно требуют учитывать особенности генотипа при разработке системы агромероприятий, так как их эффективность и целесообразность в немалой степени зависят от возделываемого сорта. В то же время их специфическая реакция на тот или иной прием делает невозможным распространение выводов из опытов с каким-либо отдельным сортом на всю культуру в целом. В связи с этим возникает необходимость изучения особенностей роста и развития растений новых сортов. Как известно, создание нового, высокопродуктивного сорта это еще не решение проблемы повышения урожайности. Потенциальные возможности генотипа смогут проявиться лишь в том случае, если после предварительного изучения для него агротехнически будут созданы условия, в максимальной степени отвечающие требованиям сорта и особенно к уровню минерального питания [2-5].

Известно, что эколого-географическая изменчивость характеризует уровень взаимодействия «растение – пункт испытания», и может быть рассчитана по результатам испытания сортов в ряде географически отдаленных пунктов. Такая оценка стабильности урожая, ее качественных показателей позволяет решать проблему отбора сортообразцов в нескольких природных зонах одновременно со стабильной продуктивностью [6-8].

Влияние способов внесения минеральных удобрений на урожайность, показатели качества и т.д., каждого в отдельности, достаточно известно [9, 10]. Однако, данных по эффективности их применения в зависимости от биологических особенностей сортов, особенно новых,

явно недостаточно. В этой связи было необходимо продолжить исследования по изучению реакции сортов картофеля, особенно новых, на применение комплекса агротехнических приемов, включающего и некорневые подкормки водорастворимыми удобрениями.

Материалы и методы

С целью изучения продуктивности, качества и оценки пригодности к переработке сортов картофеля различных групп спелости на экспериментальных базах ФГБНУ «ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха» (ФГУП «Ракшинское» Тамбовской области и ЭБ «Коренево» Московской области) были проведены опыты по следующей схеме (табл. 1):

В опытах использовали семенной материал картофеля сортов:

Ред Скарлетт – ранний сорт. Товарная урожайность 164-192 ц/га. Масса товарного клубня 56-102 г. Содержание крахмала 10,1-15,6%. Вкус удовлетворительный. Товарность 82-96%. Лежкость 98%. Устойчив к возбудителю рака картофеля, золотистой картофельной цистообразующей нематодой. Восприимчив к возбудителю фитофтороза по ботве и умеренно восприимчив по клубням.

Невский – среднеранний, столовый сорт. Масса товарного клубня 90-130 г. Урожайность и товарность высокая, лежкость клубней хорошая, содержание крахмала 11-17%, вкус хороший. Устойчив к раку, относительно устойчив к вирусам, ризоктониозу, среднеустойчив к фитофторозу, парше обыкновенной.

Голубизна – среднеспелый сорт столового назначения. Товарная урожайность 400-500 ц/га. Товарность 91-95%. Масса товарного клубня 90-110 г. Содержание крахмала 17-19%. Вкус отличный. Умеренно восприимчив по ботве и клубням к фитофторозу.

Гранд – среднеспелый, столового назначения. Товарная урожайность -114-387 ц/га. Масса товарного клубня - 92-104 г. Содержание крахмала - 13,4-18,0%. Вкус хороший. Товарность - 75-96%. Лежкость - 93%. Устойчив к возбудителю рака картофеля, золотистой картофельной цистообразующей нематодой, умеренно-восприимчив к возбудителю фитофтороза по ботве и клубням, слабо поражается морщинистой и полосчатой мозаикой.

Таблица 1. Схема полевого опыта
Table 1. Field experiment scheme

Вариант	Фактор А. Район выращивания	Фактор Б. Сорта	Фактор В. Сроки и дозы некорневой обработки
1.	Тамбовская и Московская области	Ред Скарлетт (ранний); Невский (среднеранний), Голубизна, Гранд (среднеспелые)	Контроль. Фон N90P90K135
2.			Фон NPK + Агровин микро Некорневая подкормка растений в фазы: 1-я – полные всходы; 2-я – бутонизации, 3-я – через 20 дней после последней подкормки, расход агрохимиката – 1,0 л/га, расход рабочего раствора – 300 л/га.
3.			ФОН NPK + Агровин микро Некорневая подкормка растений в фазы: 1-я – полные всходы; 2-я – бутонизации, 3-я – через 20 дней после последней подкормки, расход агрохимиката – 2,0 л/га, расход рабочего раствора – 300 л/га.

Для некорневой подкормки растений использовали агрохимикат Агровин Микро с содержанием питательных элементов: N – 1,5%, K₂O – 0,1%, Fe – 0,75%, Mn – 0,34%, Mg – 1,5%, Zn – 0,73%, Cu – 0,23%, B – 0,23%, аминокислоты – 7%.

Исследования проводили в полевых мелкоделяночных опытах в соответствии со стандартными методиками, изложенными в изданиях [11, 12]. Площадь опытных делянок 25 м², повторность трёхкратная.

В уборном урожае определяли: содержание сухого вещества / крахмала весовым методом (ГОСТ 31640-2012 / ГОСТ 7194-81); содержание нитратов – ионоселективным методом (ГОСТ 26951-86). Статистическую обработку полученных результатов проводили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [12].

Метеорологические условия в Тамбовской и Московской областях отличались значительной вариативностью: были как относительно благоприятные года (2012 и 2023 гг.), так и значительно менее удачные (2011 и 2022 гг.) с точки зрения оптимальных условий произрастания картофеля (табл. 2).

Таблица 2. Условия увлажнения в годы проведения исследований
Table 2. Humidification conditions during the years of research

	Тамбовская область	Московская область
Недостаточное увлажнение (ГТК 0,7-1,3)	2010, 2011	2022
Близкое к среднему (1,3-1,5)	2012	2023

Так, средняя температура воздуха за вегетационный период составила в 2022 году 18,5°C и в 2023 году 17,2°C при норме 16,5°C. Всего осадков выпало соответственно 207,1 мм или 79,5% и 251,0 мм или 96,4% от нормы. Сумма эффективных температур в 2022 году составила 2181,4°C, в 2023 году – 2051,7°C. ГТК₂₀₂₂ = 0,95 (засушливый). ГТК₂₀₂₃ = 1,22 (слабозасушливый).

Агрохимический состав почвы в Тамбовской области: сумма N-NO₃ и N-NH₄ – 38-46, P₂O₅ – 53-65, K₂O – 32-38 мг/100 г почвы. Тип почвы – выщелоченный чернозём. Мощность гумусового горизонта – 50-70 см, содержание гумуса в пахотном слое – 6,0-8,5 %.

Почва опытного участка в Московской области характеризуется как дерново-слабоподзолистая супесчаная с высокой обменной и гидролитической кислотностью (рН_{KCl} = 3,9-5,2; Нг = 2,3-3,8 мг-экв./100 г почвы); низкой суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности ими (S=1,8-3,4 мг-экв./100 г почвы; V=32,5-50,7%); низким содержанием доступной формы минерального азота (27,6-35,3 мг/кг почвы), высоким содержанием подвижного фосфора (269-368 мг/кг почвы) и ниже среднего содержания обменного калия (101-130 мг/кг почвы); относительно низкой гумусированностью – 1,8-1,9%.

Результаты и их обсуждение

Размеры надземной массы во многих случаях являются решающими факторами, определяющими интенсивность накопления и величину урожая.

Таблица 3. Биометрические показатели растений картофеля (на 1 куст, среднее)
Table 3. Biometric indicators of potato plants (per 1 plant, average)

Сорт (фактор В)	Вариант (фактор С)	Высота растений		Число основных стеблей		Вес ботвы	
		см	% к контролю	шт.	% к контролю	г	% к контролю
Тамбовская область							
Ред Скарлетт	1 к.	42,0	100,0	4,0	100,0	-	-
	2.	45,0	107,2	4,0	100,0	-	-
	3.	45,7	108,8	4,3	107,5	-	-
Невский	1 к.	41,0	100,0	4,7	100,0	-	-
	2.	41,0	100,0	4,7	100,0	-	-
	3.	47,3	115,4	5,0	106,4	-	-
Голубизна	1 к.	45,0	100,0	4,0	100,0	-	-
	2.	45,0	100,0	4,5	112,5	-	-
	3.	46,8	104,0	4,7	117,5	-	-
НСР ₀₅		1,6	-	0,2	-		
Московская область							
Ред Скарлетт	1 к.	42,7	100,0	3,5	100,0	396,1	100,0
	2.	45,0	105,4	4,2	118,7	434,5	109,7
	3.	45,4	106,3	4,4	124,4	501,7	126,7
Невский	1 к.	40,99	100,0	3,2	100,0	273,3	100,0
	2.	42,3	103,3	3,2	100,0	273,9	100,2
	3.	43,9	107,1	3,5	107,99	330,0	120,7
Гранд	1 к.	43,0	100,0	5,0	100,0	625,0	100,0
	2.	45,1	104,9	5,3	106,0	662,5	106,0
	3.	46,0	106,9	5,3	106,0	670,0	107,2
НСР ₀₅		1,3	-	0,2	-	13,7	-

Таблица 4. Урожайность сортов картофеля в зависимости от места выращивания и дозы агрохимиката
Table 4. Yield of potato varieties depending on the place of cultivation and dose of agrochemical

Сорт (фактор В)	Вариант (фактор С)	Урожайность, т/га				Прибавка к контролю, %	Товарность, %
		2010 год	2011 год	2012 год	средняя		
Тамбовская область							
Ред Скарлетт	1. (контроль)	13,2	31,3	30,0	24,8	-	90,0
	2.	14,0	40,8	34,8	29,9	120,4	95,3
	3.	14,8	42,6	35,0	30,8	124,2	95,0
Невский	1. (контроль)	9,1	27,0	17,0	17,7	-	87,0
	2.	10,4	35,9	23,4	23,2	131,3	89,3
	3.	10,5	47,0	27,0	28,2	159,3	93,7
Голубизна	1. (контроль)	10,0	30,5	20,0	20,2	-	86,7
	2.	9,6	47,2	22,5	26,4	130,7	90,0
	3.	11,3	49,6	23,4	28,1	139,1	93,2
Московская область							
		2022 г.	2023 г.	средняя			
Ред Скарлетт	1. (контроль)	24,8	24,4	24,6	-	98,0	
	2.	27,2	31,5	29,4	119,3	98,8	
	3.	29,2	34,1	31,7	128,7	99,6	
Невский	1. (контроль)	30,2	48,7	39,5	-	87,0	
	2.	31,5	50,8	41,1	104,2	93,0	
	3.	33,6	52,3	42,95	108,7	93,6	
Гранд	1. (контроль)	34,3	38,5	36,4	-	84,0	
	2.	36,5	38,7	37,6	103,3	89,0	
	3.	38,3	40,9	39,6	108,8	85,0	
НСР05	Место выращивания (фактор А)	-	-	2,65	-	-	
	Сорт (фактор В)	-	-	2,65	-	-	
	Агрохимикат (фактор С)	-	-	1,87	-	-	
	Частных средних	-	-	3,09	-	-	

Продуктивность растений картофеля при нормальных условиях роста и развития находится в непосредственной зависимости от мощности его надземной массы. Чем мощнее куст, тем выше урожай клубней под ним. Хотя не во всех случаях мощно развитая ботва дает наивысший урожай [13].

Параметры развития куста растений связаны как с общими процессами обмена веществ, так и внешними почвенно-климатическими условиями. Учитывая важность биометрических показателей развития ботвы в формировании урожая, проведен учёт биометрических показателей развития ботвы в фазу цветения растений картофеля (табл. 3).

Метеорологические условия оказали значительное влияние на параметры развития куста. В неблагоприятные засушливые 2010 и 2022 годы биометрические показатели развития растений картофеля были ниже потенциально возможных. Так, высота растений оказалась в 2010 году 30-33 см (Ред Скарлетт), 23-26 см (Невский). 40-43 (Голубизна), а в 2011-2012 годах – 43-55 см (Ред Скарлетт), 60-65 см (Невский). Недостаток влаги в значительной мере повлиял на рост растений и формирование стеблестоя в 2010 г., особенно в вариантах без внесения удобрений, за некоторым исключением: в этот период по биометрическим показателям имели преимущество по сравнению с другими изучаемыми

сортами Ред Скарлетт и Голубизна. За годы исследований наиболее активный рост растений и формирования стеблестоя пришелся на 2011 год. Обусловлено это пиком выпадения осадков в первой декаде июля.

За три года исследований в Тамбовской области среднее количество стеблей при некорневом опрыскивании вегетирующих растений составили 4,0-4,3 шт./куст (Ред Скарлетт), 4,7-5,0 шт./куст (Невский), 4,5-4,7 шт./куст (Голубизна), что больше контрольного варианта на 7,5-17,5%. Наибольшее количество стеблей к фазе цветения сформировали сорта Ред Скарлетт (4,0-4,6 шт./куст) и Голубизна (4,0-4,8 шт./куст), а наименьшее Невский (3,3-3,3 шт./куст).

Высота растений превышала от 8,8% (Ред Скарлетт) до 15,4% (Невский). Из изучаемых сортов по всем годам максимальная высота стеблей была отмечена на сорте Голубизна (45-46,8 см), а наименьшая на Невском (41,0-47,3 см).

Размерно-весовая характеристика сортов в Московской области в большей мере зависела от их биологических особенностей и метеорологических условий вегетационного периода. Результаты исследований, показывают, что наибольшее развитие высоты растений (45,0-45,4 см (Ред Скарлетт), 42,3-43,9 см (Невский) и 46,0 см (Гранд); массы ботвы (0,43-0,50

кг/куст (Ред Скарлетт), 0,27-0,33 кг/куст (Невский) и 0,66-0,67 кг/куст (Гранд) отмечены на вариантах с некорневым опрыскиванием вегетирующих растений, что в среднем было выше на 5,4-11,9% и 9,7-11,9% в зависимости от сорта в сравнении с контролем.

Наибольшие значения биометрических показателей растений отмечены в относительно благоприятных для картофеля метеоусловиях 2012 и 2023 гг., что в конечном итоге предопределило уровень урожайности изучаемых сортов.

Урожайность является агротехнологической, экологической и производственной оценкой сорта и его рентабельности. Метеорологические условия, сортовые особенности, дозы применяемого агрохимиката отразились на значениях урожайности картофеля.

Анализируя характер изменения урожайности по годам 2010 и 2022 гг. можно отметить, что по всем сортам она была значительно выше в благоприятных 2011 г. и 2023 г, особенно в вариантах с некорневым опрыскиванием вегетирующих растений. Самый высокий урожай был отмечен у сортов Ред Скарлетт – 52,5-47,3 т/га. (2011 г.), Голубизна – 40,0-42,0 и 55,0 т/га (2012 г.).

На раннем сорте Ред Скарлетт в среднем за три года в Тамбовской области при увеличении дозы агрохимиката урожайность увеличилась, соответственно, от 24,8 т/га в контроле до 30,8 т/га в вариантах с некорневым опрыскиванием вегетирующих растений (табл. 4). В Московской области эти показатели составили в конт-

рольном варианте 24,6 т/га, а в вариантах с применением агрохимиката – 29,4-31,7 т/га.

В среднем за 2010-2012 годы на среднераннем сорте Невский в Тамбовской области применение некорневого опрыскивания позволило получить прибавку урожайности до 10,5 т/га по сравнению с вариантом с применением минеральных удобрений. На среднеспелом сорте Голубизна применение листовой обработки позволило увеличить значение урожайности на 6,2 т/га.

Изучаемые в опыте сорта, в силу своих биологических особенностей, в различной степени реагировали на исследуемые агроприемы выращивания и метеорологические условия в период вегетации растений. Некорневое опрыскивание вегетирующих растений в условиях дерново-подзолистых почв Московской области достоверно увеличивало урожайность среднераннего сорта Невский на 1,6-3,5 т/га или до 8,7%; а по среднеспелому сорту Гранд она возрастала на 1,2-3,2 т/га или до 8,8%.

Благоприятные метеорологические условия вегетационного периода 2023 г. (умеренная температура воздуха и достаточная увлажненность почвы) в июле – августе способствовали формированию более высокого уровня урожая клубней в сравнении с другими годами, разница в зависимости от сорта достигала до 16,1 т/га или 58,5%. Всё это свидетельствует о высокой степени влияния метеоусловий вегетационного периода на урожайность картофеля. Статистическая обработка дан-

Таблица 5. Результаты биохимической оценки клубней картофеля
Table 5. Results of biochemical evaluation of potato tubers

Сорт (фактор В)	Вариант (фактор С)	Сухое вещество, %	Крахмал, %	Редуцирующие сахара, %	Нитраты, мг/кг
Тамбовская область					
Ред Скарлетт	1. (контроль)	16,8	10,6	0,46	-
	2.	17,3	12,5	0,9	-
	3.	17,4	10,3	1,0	-
Невский	1. (контроль)	20,5	14,7	1,06	-
	2.	21,1	16,4	1,0	-
	3.	21,0	15,3	1,0	-
Голубизна	1. (контроль)	19,7	15,3	0,9	-
	2.	21,3	15,5	0,47	-
	3.	21,8	16,1	0,6	-
НСР05		0,5	0,4	0,1	-
Московская область					
Ред Скарлетт	1. (контроль)	14,9	9,1	1,87	143
	2.	16,0	10,3	1,6	113
	3.	18,5	12,8	0,33	113
Невский	1. (контроль)	19,7	13,9	1,13	17
	2.	19,9	14,2	0,71	47
	3.	20,7	15,0	0,56	66
Гранд	1. (контроль)	16,2	10,5	1,78	121
	2.	16,5	10,7	1,88	113
	3.	22,4	17,6	0,43	105
НСР05 для частных различий		0,9	0,7	0,05	29

ных показала, что вклад почвенно-погодных условий в общее варьирование урожайности картофеля составлял 35,5%, генотипа – 11,2%, агрохимиката – 3,8%, взаимодействия факторов района выращивания и сорта – 41,1%.

Структура урожая 2011 и 2012 годов была практически одинаковой. По фракции 40-60 мм, существенной разницы не было, а по фракции более 60 мм урожай 2011 года имел преимущество на 5-10%. Дефицит влаги, наблюдаемый в 2010 году, угнетал процесс клубнеобразования и увеличивал тем самым долю мелких клубней в структуре урожая.

Фракционный состав клубней различался в зависимости от условий выращивания. Товарность урожая клубней значительно зависела от условий года и приёмов возделывания. Так, в 2010 году в среднем на сорте Ред Скарлетт количество товарных клубней составило 84,5%. При этом в вариантах с внесением минеральных удобрений в среднем оказалось 90,0% товарных клубней. В 2011-2012 годах в среднем на этом сорте количество товарных клубней составило 92,0%. В вариантах с внесением минеральных удобрений в среднем оказалось 95,0% товарных клубней.

В среднем за три года исследований наибольший процент выхода товарных клубней отмечен на сорте Ред Скарлетт в обеих эколого-географических зонах выращивания.

Биохимическая оценка сортов картофеля по основным показателям были проведены через 2 месяца после уборки (табл. 5). Содержание сухих веществ и крахмала на исследуемых сортах значительно колебалось по годам. Наименьшее содержание сухих веществ по всем сортам как в контрольном варианте, так и с некорневым опрыскиванием вегетирующих растений было отмечено в 2011 году, а также в клубнях некоторых сортов 2012 года, таких как Ред Скарлетт (14,4; 18,5%). В 2010 году содержание сухого вещества по всем сортам было более высоким, а минимальным в контрольном варианте. В этом году самое высокое содержание сухого вещества зафиксировано в группе раннеспелых сортов Ред Скарлетт (19,7-21,8%). Среди других групп спелости также наблюдали сорта с высоким наличием сухих веществ: Голубизна – 22,6% (среднеспелый). Установлено, что содержание сухого вещества и крахмалистость картофеля возрастали от группы ранних (21,1/15,4%) к среднеранним (22,3/16,6%) и среднеспелым (22,6-23,0/16,9-17,3%) сортам.

Некорневая обработка вегетирующих растений сорта Ред Скарлетт в норме применения от 2,0 до 3,0 л/га способствовала повышению содержания сухого вещества/крахмала в Тамбовской области на 0,1-0,3/0,7-2,2%, а в Московской области – 1,1-3,6/1,2-3,7% относительно значений контроля.

Обработка растений сорта Невский различными дозами препарата не изменяла содержание сухого вещества/крахмала и редуцирующих сахаров. Однако, на сортах Голубизна и Гранд зарегистрировано повышение количества сухих веществ/крахмала на 2,1-3,6/0,8-3,7%.

Содержание нитратов в мякоти клубней всех сортов было ниже уровня ПДК, практически не изменялось под влиянием обработок и колебалось от 92 до 180 мг/кг продукции.

Количество редуцирующих сахаров в клубнях всех сортов в Тамбовской области при использовании агрохимиката Агровин микро не оказывало влияния на их содержание, а в Московской области снижалось от 0,2 до 0,6%.

Основными критериями качества хрустящего картофеля принято считать цвет и консистенцию [14, 15]. Цвет во многом зависит от содержания в клубнях редуцирующих сахаров, а консистенция в первую очередь от содержания сухих веществ и в меньшей степени от редуцирующих сахаров. Исходя из полученных данных 2010-2012 гг. показатели цвета и консистенции хрустящего картофеля в зимний период относительно невелики. Варианты с некорневой обработкой существенного влияния на эти показатели не оказали.

Было выявлено, что качество хрустящего картофеля в значительной степени зависело от времени переработки, поскольку по мере хранения увеличивалось содержание редуцирующих сахаров у разных сортов от 0,19-0,32 до 0,27-1,46%, при температуре 2-4°C. В период уборки в основном все изучаемые сорта, выращенные на выщелочном черноземе дают хрустящий картофель хорошего качества - выше 6 баллов, особенно ярко это выражено у сорта Ред Скарлетт (7-8). В процессе хранения картофеля при низкой температуре 2-4°C качество обжаренных продуктов (хрустящего картофеля) снижается на 1-2 балла.

Наиболее пригодными для переработки на картофелепродукты оказались сорта:

- хрустящий картофель (8 баллов и выше): Голубизна, Гранд;
- Фри (8 баллов и выше): Ред Скарлетт, Гранд;
- для приготовления быстрозамороженного картофеля (цвет через 1 месяц хранения 8 баллов и выше) наиболее пригодны сорта Гранд, Ред Скарлетт;
- для переработки на сухое картофельное пюре (средний балл 8 и выше): Голубизна; Гранд;
- для приготовления картофеля в вакуумной упаковке (цвет 7 баллов и выше через 15 дней хранения при условии сохранения твёрдости пакета): Ред Скарлетт и Гранд.

Заключение

Таким образом, такие показатели как рост и развитие растений, урожайность в значительной степени зависят с метеорологическими условиями вегетации и сортовыми особенностями картофеля, связанных с эколого-географической зоной выращивания.

Результаты исследований, проходивших в экстремальных климатических условиях (2010 и 2022 годы, жара и засуха в период вегетации), подтвердили высокую отзывчивость картофеля на некорневую подкормку вегетирующих растений.

Доказано, что некорневая подкормка приводила к достоверному росту урожайности сортов картофеля, соответственно, на 1,1-3,3 т/га или до 8,7% в сравнении с контролем. Наилучшими вариантами в среднем за годы исследований на всех сортах оказались варианты с применением дополнительной листовой обработки агрохимикатом Агровин микро в максимальной дозе с получением прибавки урожайности к контролю в условиях выщелоченных черноземов на 24,2-59,3% или 6,0-10,5/га и в условиях дерново-подзолистых почв – 3,3-28,9% или 1,2-7,1 т/га.

• Литература

1. Симаков, Е.А. Новые перспективные сорта картофеля российских оригинаторов. Каталог / Е.А. Симаков, Б.В. Анисимов, А.В. Митюшкин, А.А. Журавлев, Жарова В.А., Мелешин А.А., Зебрин С.Н., Салюков С.С., Овечкин С.В., Митюшкин А.В., Гаизатулин А.С., Семенов В.А., Шанина Е.П., Е.М. Ключкина, Н.М.О. Гаджиев, В.А. Лебедева. Чебоксары, 2021. 48 с.
2. Визирская М.М., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Эффективность приемов повышения продуктивности картофеля. *Международный с.-х. журнал*. 2021;5(383):111-116. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-111-116> <https://elibrary.ru/angcxj>
3. Жевора С.В., Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В., Аканова Н.И., Козлова А.В. Плодородие почвы и урожайность картофеля на основе научно-обоснованной системы применения мелиорантов и удобрений. *Плодородие*. 2022;6(129):55-59. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.129.15> <https://elibrary.ru/nmsssh>
4. Шабанов А.Э. Урожайность и качество новых сортов картофеля в зависимости от густоты посадки и уровня минерального питания. М., 1996. 19 с.
5. Зебрин С.Н., Шабанов А.Э., Киселев А.И. Отзывчивость новых сортов на приемы агротехники. *Картофель России*. 2006;(7):14-15.
6. Шабанов А.Э. Адаптивная способность новых и перспективных сортов картофеля отечественной селекции. *Картофель и овощи*. 2023;(11):32-35. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.56.84.002> <https://elibrary.ru/vhfrw>
7. Шабанов А.Э., Киселев А.И., Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В. Оценка перспективных сортов картофеля отечественной селекции в агроэкологических условиях Центрального региона России. *Плодородие*. 2020;2(113):66-69. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.20> <https://elibrary.ru/sqcdpt>
8. Жевора С.В., Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В., Шабанов А.Э., Киселев А.И. Урожайность и качество перспективных сортов картофеля в зависимости от биологических особенностей и климатических условий. *Агроинновации*. 2020;1-2(3-4):20-27.
9. Алиев А.М., Варламов В.А., Ваулина Г.И., Л. Державин.М., Переведенцева С.В., Самойлов Л.Н., Сычев В.Г., Шаповал О.А., Яковлева Т.А. Комплексное применение агрохимических средств – основа высокой продуктивности и устойчивости земледелия. *Плодородие*. 2009;2(47):5-8. <https://elibrary.ru/kypjpl>
10. Федотова Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В., Аканова Н.И., Козлова А.В. Продуктивность картофеля и плодородие почвы на основе научно-обоснованной системы применения мелиорантов и удобрений. *Научные труды по агрономии*. 2022;(4):41-51.
11. Жевора С.В., Федотова Л.С., Старовойтов В.И., Зейрук В.Н., Коршунов А.В., Пшеченков К.А., Тимошина Н.А., Мальцев С.В., Старовойтова О.А., Васильева С.В., Шабанов А.Э., Деревягина М.К., Белов Г.Л., Киселев А.И., Князева Е.В. Методика проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле. М.: ФГБНУ ВНИИХ, 2019. 120 с. <https://elibrary.ru/dmroxp>
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 1985. 336 с.
13. Шпаар Д., Быкин А., Дрегер Д. и др. Картофель. рМ.: ООО «ДЛВ Агродело», 2010. 458 с.
14. Мальцев С.В., Андрианов С.В., Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю., Горячева Е.Д., Крюкова Е.В. Комплексная оценка различных способов подготовки очищенного картофеля к вакуумной упаковке. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2021;(2):15-26. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.181> <https://elibrary.ru/ixquyv>
15. Мальцев С.В., Абросимов Д.В. Качество картофеля в вакуумной упаковке в зависимости от сорта и применяемых систем механической очистки клубней. *Картофель и овощи*. 2020;(9):15-19. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.13.34.001> <https://elibrary.ru/hfoqzw>

• References (In Russ.)

1. Simakov, E.A. New promising potato varieties of Russian originators. Catalog / E.A. Simakov, B.V. Anisimov, A.V. Mityushkin, A.A. Zhuravlev, Zharova V.A., Meleshin A.A., Zebrin S.N., Salyukov S.S., Ovechkin S.V., Mityushkin A.V., Gaizatulin A.S., Semenov V.A., Shanina E.P., E.M. Klyukina, N.M.O. Gadzhiev, V.A. Lebedeva. Cheboksary, 2021. 48 p. (In Russ.)
2. Vizirskaya M.M., Akanova N.I., Fedotova L.S. Effectiveness of potato productivity enhancement techniques. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2021;5(383):111-116. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-111-116> <https://elibrary.ru/angcxj>
3. Zhevara S.V., Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V., Akanova N.I., Kozlova A.V. Soil fertility and potato productivity based on a scientifically based system of application of meliorants and fertilizers. *Fertility*. 2022;6(129):55-59. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.129.15> <https://elibrary.ru/nmsssh>
4. Shabanov A.E. Yield and quality of new potato varieties depending on the density of planting and the level of mineral nutrition. 1996. 19 p. (In Russ.)
5. Zebrin S.N., Shabanov A.E., Kiselev A.I. Responsiveness of new varieties to agricultural techniques. *Potatoes of Russia*. 2006;(7):14-15. (In Russ.)
6. Shabanov A.E. Adaptive ability of new and promising potato varieties of domestic breeding. *Potato and vegetables*. 2023;(11):32-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.56.84.002> <https://elibrary.ru/vhfrw>
7. Shabanov A.E., Kiselev A.I., Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V. Evaluation of promising potato varieties of domestic breeding in agroecological conditions The Central region of Russia. *Fertility*. 2020;2(113):66-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.20> <https://elibrary.ru/sqcdpt>
8. Zhevara S.V., Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V., Shabanov A.E., Kiselev A.I. Yield and quality of promising potato varieties depending on biological characteristics and climatic conditions. *Agroinnovation*. 2020;1-2(3-4):20-27. (In Russ.)
9. Aliyev A.M., Varlamov V.A., Vaulina G.I., Derzhavin L.M., Perevedentseva S.V., Samoilov L.N., Sychev V.G., Shapoval O.A., Yakovleva T.A. Complex application of agrochemical agents – the basis of high productivity and sustainability of agriculture. *Fertility*. 2009;2(47):5-8. (In Russ.) <https://elibrary.ru/kypjpl>
10. Fedotova L.S., Timoshina N.A., Knyazeva E.V., Akanova N.I., Kozlova A.V. Potato productivity and soil fertility based on a scientifically based system for the use of meliorants and fertilizers. *Scientific works on agronomy*. 2022;(4):41-51. (In Russ.)
11. Zhevara S.V., Fedotova L.S., Starovoirov V.I., Zeiruk V.N., Korshunov A.V., Pshechenkov K.A., Timoshina N.A., Maltsev S.V., Starovoirova O.A., Vasilyeva S.V., Shabanov A.E., Derevyagina M.K., Belov G.L., Kiselev A.I., Knyazeva E.V. Methods of conducting agrotechnical experiments, accounting, observations and analyses on potatoes. M.: FGBNU VNIKH, 2019. 120 p. (In Russ.) <https://elibrary.ru/dmroxp>
12. Dospikhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). M., 1985. 336 p. (In Russ.)
13. Shpaar D., Bykin A., Dreger D., etc. Potato. M.: LLC "DLV Agrodello", 2010. 458 p. (In Russ.)
14. Maltsev S.V., Andrianov S.V., Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu., Goryacheva E.D., Kryukova E.V. Comprehensive assessment of various methods of preparing peeled potatoes for vacuum packaging. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2021;(2):15-26. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.181> <https://elibrary.ru/ixquyv>
15. Maltsev S.V., Abrosimov D.V. The quality of potatoes in vacuum packaging depending on the variety and the applied systems of mechanical cleaning of tubers. *Potato and vegetables*. 2020;(9):15-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.13.34.001> <https://elibrary.ru/hfoqzw>

Об авторах:

Юлия Геннадьевна Кашина – научный сотрудник, SPIN-код: 1754-8465, kashyu@list.ru
Григорий Леонидович Белов – доктор с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории защиты растений, <https://orcid.org/0000-0002-3002-8173>, SPIN-код: 9563-4765, belov.grischa2015@yandex.ru
Владимир Николаевич Зейрук – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией защиты растений, <https://orcid.org/0000-0002-9930-4463>, автор для переписки, vzeyruk@mail.ru, SPIN-код: 3937-5336
Людмила Владимировна Дмитриева – научный сотрудник

About the Authors:

Julia G. Kashina – Researcher, SPIN-code: 1754-8465, kashyu@list.ru
Grigoriy L. Belov – Dr. Sci. (Agriculture), Senior Researcher plant protection laboratories, <https://orcid.org/0000-0002-3002-8173>, SPIN-code: 9563-4765, belov.grischa2015@yandex.ru
Vladimir N. Zeyruk – Dr. Sci. (Agriculture), Head of Laboratory, <https://orcid.org/0000-0002-9930-4463>, Correspondence Author, vzeyruk@mail.ru, SPIN-code: 3937-5336
Lyudmila V. Dmitrieva – Researcher



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.



Пастернак Белый аист, Жемчуг, репа Петровская 1, свекла столовая Нежность, морковь Нантская 4

на правах рекламы

МАСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

www.vniissok.com