Овощи России

Научно-практический журнал

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» 13168

ISSN 2072-9146 (Print)
ISSN 2618-7132 (Online)

3 2025

Vegetable crops of Russia

Scientific peer-reviewed journal

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

22 31 десятилетие науки и технологий

ФГБНУ ФНЦО

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации Российская академия наук
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО)

Глубокоуважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в XII международной научно-практической конференции:
«Современные тенденции в селекции, семеноводстве и товарном производстве овощных, бахчевых и цветочных культур. Традиции, современность, перспективы»,
посвященной 105-летию основания ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИССОК),
которая состоится **8-12 сентября 2025 года**.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ:

1. Теория, систематика, генетика, иммунитет, методы создания и идентификации исходного материала для селекции овощных, бахчевых и цветочных культур.
2. Приоритетные направления селекции в условиях современного рынка для защищенного и открытого грунта.
3. Технология возделывания овощных, бахчевых, цветочных культур и грибов, особенности переработки и хранения.
4. Организационно-экономические аспекты селекции, семеноводства и технологии выращивания овощных, бахчевых и цветочных культур.

В рамках конференции будет проходить методическая комиссия по селекции и семеноводству капустных культур.

Рабочие языки конференции – русский и английский.

Координаторы конференции:
Пинчук Елена Владимировна – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник ФГБНУ ФНЦО;
100vniissok@mail.ru тел. +7- 916-806-00-12
Романов Валерий Станиславович – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ ФНЦО;
тел. +7- 926-375-52-47
Гуркина Любовь Кирилловна – кандидат с.-х. наук, ученый секретарь ФГБНУ ФНЦО;
тел. +7(495)-594-77-07

Ответственный за прием и публикацию материалов:
Тареева Марина Михайловна – кандидат с.-х. наук, зав. издательством ФГБНУ ФНЦО;
vegetables.of.russia@yandex.ru

Приглашаем коммерческие организации для демонстрации образцов продукции, ознакомления с новинками в области овощеводства, выступлений с рекламой и заключения коммерческих договоров.

Обновляемая информация
о конференции размещается на сайте
ФГБНУ ФНЦО http://www. vniissok.ru

МАСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ www.vniissok.com

Овощи России

Ovoshchi Rossii

Научный рецензируемый журнал

ISSN 2072-9146 (Print)
ISSN 2618-7132 (Online)
https://doi.org/10.18619/
Периодичность: 6 раз в год

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

№3/2025

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 плодоводства, 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, профессор РАН, секретарь научно-технического совета (НТС) Комиссии по научно-технологическому развитию РФ, 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., РУДН, Москва, Россия
В.В. Пыльнев – доктор с.-х. наук, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия
А.К. Раджабов – доктор с.-х. наук, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия
Н.И. Сидельников – академик РАН, доктор с.-х. наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», Москва, Россия
С.М. Сирота – доктор с.-х. наук, зам. директора по селекции и семеноводству, ООО "Гетерозисная селекция", Челябинская область, Россия
В.И. Старцев – доктор с.-х. наук, проф., ФГБНУ «Всероссийский НИИ Фитопатологии», Московская область, Россия
И.Г. Ушачев – доктор экон. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ФНЦ аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства» (ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ), Москва, Россия
П.А. 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, 2025

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.su Тел: +7(495) 599-24-42

Тираж 100 экземпляров.
Периодичность: 6 раз в год.
Дата выхода в свет: 07.07.2025
Отпечатано в типографии:
ООО «ПРИНТ»
426035, г. Ижевск,
ул. Тимирязева, д. 5, пом. 5
Тел.: +7 (3412) 56-95-53
Цена свободная.

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

Russian Science Citation Index
OPEN ACCESS
We are Crossref Member
AGRIS
EBSCOhost

VEGETABLE crops of RUSSIA

Scientific peer-reviewed journal

ISSN 2072-9146 (Print)
ISSN 2618-7132 (Online)
https://doi.org/10.18619/2072-9146
Publication Frequency: 6 times per year

The journal founder & publisher:
Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC)

№3/2025

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 Sękara – 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), Surkhandarya region, Republic of Uzbekistan
Leonid F. Volosciuk – Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of phytopathology and biotechnology, Institute of Genetics, Physiology and Protection of Plants, Academy of Sciences of Moldova, Chișinău, 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-vegetables 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 biological 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. Domblides – Dr. Sci. (Agriculture), Head of Laboratory of Genetics and Cytology, FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center", Moscow region, Russia
Nikolay N. Dubenok – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of agricultural melioration, forestry and land management, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
Stalina V. Zharkova – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education The Altai State Agricultural University (ASAU), Barnaul, Russia
Ekaterina V. Zhuravleva – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Russian Academy of Sciences, Secretary of the Scientific and Technical Council (STC) of the Commission for Scientific and Technological Development of the Russian Federation, Moscow, Russia
Elena A. Kalashnikova – Dr. Sci. (Biology), Professor of the Russian Academy of Sciences, Secretary of the Scientific and Technical Council (STC) of the Commission for Scientific and Technological Development of the Russian Federation 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, 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, 2025

Address of the journal publisher and office: Selektsionnaya St., 14, VNIISSOK, 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: 07.07.2025

This issue is registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor).
The license ПИ №ФС77-72184 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.

Russian Science Citation Index
OPEN ACCESS
We are Crossref Member
AGRIS
EBSCOhost

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Алжарамани Н., Монахос С.Г.
Оптимальные параметры для изоляции
протопластов мезофилла моркови *in vitro*. 5

Ражаметов Ш.Н., Чо М.-Ч.
Поиск генотипов перца с высокой адаптивной способностью к ночным
низким температурам на основе изучения физиологических особенностей. 10

Логвиненко Л.А., Голубкина Н.А., Сингх Р.Ш.,
Кошеваров А.А., Шевчук О.М., Мурариу О.К., Карузо Д.
Производство *Physalis peruviana* L. в условиях культуры Южного Берега Крыма. 16

Скорина В.В., Дэн Жуцзе.
Оценка взаимосвязей между основными
морфо-биологическими признаками интродуцированных сортов дайкона. 26

Иванова М.И., Поляков А.В., Кашлева А.И.
Генетические ресурсы некоторых представителей рода *Allium* L. 30

Ветрова С.А., Мухина К.С.,
Козарь Е.Г., Енгалычева И.А.
Скрининг генетически разнообразного линейного материала свеклы столовой
по устойчивости к *Pseudomonas siringae* pv. *apmata* на разных
стадиях развития растений (спорофит, гаметофит). 38

САДОВОДСТВО, ОВОЩЕВОДСТВО, ВИНОГРАДАРСТВО И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ

Костанчук Ю.Н., Елисеева Н.А.
Экологическое испытание новых сортов дыни в Крыму. 50

Еремеева Е.Н., Маланкина Е.Л.
Стабильность накопления флавоноидов
как видовая особенность представителей семейства Яснотковые. 55

Молчанова А.В., Бабаева Е.Ю.
Некоторые биохимические показатели травы шлемника байкальского
(*Scutellaria baicalensis* Georgi) при интродукции в Нечерноземную зону РФ. 61

АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ

Гайсина Э.М., Очирова Э.М., Никитинский Д.А.,
Никитинская Е.В., Словарева О.Ю., Игнатов А.Н.
Оценка встречаемости условно-патогенных бактерии в пасленовых растениях
в защищенном грунте методом секвенирования нового поколения (NGS). 70

Собко О.А., Ермак М.В.
Роль фитовирусной инфекции в ингибировании иммунного ответа
картофеля на повреждения листогрызущими вредителями 77

Уколова А.Ю., Кузнецова М.А.
Совместное применение биостимуляторов с биологическими и химическими фунгицидами
для контроля фитофтороза и альтернариоза на картофеле. 83

Галичкина Е.А.
Влияние водорастворимых удобрений на урожайность
и химический состав плодов нового сорта дыни Баллада. 90

Борисов В.А., Надежкин С.М., Белова С.В.
Влияние удобрений на урожайность и биохимические показатели качества столовых корнеплодов. 95

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Селиверстов А.М.
Применение капельного орошения при выращивании
плодовых и ягодных культур в питомнике. 100

CONTENTS

BREEDING, SEEDPRODUCTION AND PLANT BIOTECHNOLOGY

Aljaramany N., Monakhos S.G.
Optimal Parameters for the Isolation
of Carrot Mesophyll Protoplasts *In Vitro*. 5

Rajametov Sh.N., Cho M.-C.
Search for pepper genotypes with high adaptive ability
to low night temperatures based on the study of physiological characteristics. 10

Logvinenko L.A., Golubkina N.A., Singh R.Sh.,
Koshevarov A.A., Shevchuk O.M., Murariu O.C., Caruso G.
Physalis peruviana L. production in conditions
of the Crimean southern sea shore. 16

Skorina V.V., Deng Rujie.
Evaluation of the relationships between the main
morpho-biological characteris-tics of introduced daikon varieties. 26

Ivanova M.I., Polyakov A.V., Kashleva A.I.
Genetic resources of some representatives of the genus *Allium* L. 30

Vetrova S.A., Muhina K.S., Kozar E.G., Engalycheva I.A.
Screening of genetically diverse linear beetroot material for resistance
to *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* at different stages
of plant development (sporophyte, gametophyte). 38

HORTICULTURE, VEGETABLE PRODUCTION, VITICULTURE AND MEDICINAL CROPS

Kostanchuk Yu.N., Eliseeva N.A.
Ecological testing of new melon varieties in Crimea. 50

Eremeeva E.N., Malankina E.L.
Accumulation stability of flavonoids
as a species characteristic Lamiaceae family. 55

Molchanova A.V., Babaeva E.Yu. Some biochemical parameters of *Scutellaria baicalensis* Georgi
herb at introduction into the Non-Chernozem belt of Russia. 61

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE, PLANT PROTECTION AND QUARANTINE

Gaisina E.M., Ochirova E.M., Nikitinsky D.A.,
Nikitinskaya E.V., Slovareva O.Y., Ignatov A.N.
Opportunistic bacteria in greenhouse Solanaceous plants –
assessment by new generation sequencing methods. 70

Sobko O.A., Ermak M.V.
Role of plant viral infection in the inhibition of potato immune responses
to the damage caused by leaf-eating pests. 77

Ukolova A.Yu., Kuznetsova M.A.
Use of biological and chemical fungicides and biostimulators
for potato protection against early and late blights. 83

Galichkina E.A.
The effect of water-soluble fertilizers on the yield
and chemical composition of fruits of a new variety of melon Ballada. 90

Borisov V.A., Nadezhkin S.M., Belova S.V.
Effect of fertilisers on yield and biochemical quality indicators of table root crops. 95

IRRIGATION ENGINEERING, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Dubenok N.N., Gemonov A.V., Seliverstov A.M.
The use of drip irrigation in the cultivation
of fruit and berry crops in the nursery. 100

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-5-9
УДК: 635.132:573.6

Naseem Aljaramany*, Sokrat G. Monakhos [2]

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127434, Russia

Correspondence Author:
naseemjihadja@gmail.com

Acknowledgments. The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance with Agreement No. 075-15-2025-102 dated 31 March 2025 to support the university development program "Priority-2030".

Authors' Contribution: Monakhos S.G.: Project administration, Supervision, Visualization. Aljaramany N.: Conceptualization, Resources, Writing original draft, Methodology.

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

For citation: Aljaramany N., Monakhos S.G. Optimal Parameters for the Isolation of Carrot Mesophyll Protoplasts *In Vitro*. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):5-9.
https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-5-9

Received: 18.05.2025
Accepted for publication: 09.06.2025
Published: 05.07.2025

Optimal Parameters for the Isolation of Carrot Mesophyll Protoplasts *In Vitro*

ABSTRACT

The isolation of protoplasts from diverse plant species is a widely employed technique. The purpose of this work is to develop an efficient system for isolating and purifying mesophyll protoplasts from *Daucus carota*. Main factors influencing the qualitative and quantitative dimensions of protoplast isolation procedures attempted to be optimized, using the well-established protoplast fusion technique as the foundation for the comprehensive analysis, including sorbitol concentration during the preplasmolysis stage and the duration of the enzymolysis process, those key variables affect the yield and survivability of the protoplasts. This research employed "Vil-1" carrot leaves as the primary source material to isolate protoplasts through enzymolysis. The data revealed that higher concentrations of sorbitol led to increased protoplast yield, with the optimal concentration being 0.5 M, which resulted in up to 95% protoplast vitality. Furthermore, prolonging the enzymolysis duration to 6 hours maximized both protoplast yield and vitality. The optimal conditions for isolating protoplasts were determined to be 0.5 M sorbitol pre-treatment for one hour, combined with a mixture of 1% cellulase, 0.1% pectinase, and a 6-hour incubation period.

KEYWORDS:

***Daucus carota*, Protoplast, Enzymolysis, Preplasmolysis, Vitality, Viability**

Н. Алжарамани*, С.Г. Монахос

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

Автор для переписки:
naseemjihadja@gmail.com

Вклад авторов: Монахос С.Г.: администрирование проекта, руководство исследованием, визуализация. Алжарамани Н.: концептуализация, методология, ресурсы, создание черновика рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Aljaramany N., Monakhos S.G. Optimal Parameters for the Isolation of Carrot Mesophyll Protoplasts *In Vitro*. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):5-9.
https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-5-9

Поступила в редакцию: 18.05.2025
Принята к печати: 09.06.2025
Опубликована: 07.07.2025

Оптимальные параметры для изоляции протопластов мезофилла моркови *in vitro*

РЕЗЮМЕ

Выделение протопластов из различных видов растений является широко используемым методом. Целью данной работы является разработка эффективной системы выделения и очистки протопластов мезофилла *Daucus carota*. Основные факторы, влияющие на качественные и количественные параметры процедур выделения протопластов, пытались оптимизировать, используя хорошо зарекомендовавшую себя технику слияния протопластов в качестве основы для всестороннего анализа, включая концентрацию сорбита на стадии предплазмолиза и продолжительность процесса ферментативной обработки. Эти ключевые переменные влияют на выход и выживаемость протопластов. В данном исследовании для выделения протопластов методом ферментативной обработки использовались листья моркови сорта «Vil-1» в качестве основного исходного материала. Полученные данные показали, что более высокая концентрация сорбита приводит к увеличению выхода протопластов, при этом оптимальной концентрацией является 0,5 М, что обеспечивает жизнеспособность до 95% протопластов. Кроме того, увеличение продолжительности ферментативной обработки с 2 до 6 часов максимально увеличивало как выход протопластов, так и их жизнеспособность. Наиболее благоприятными условиями для разделения протопластов были определены предварительная обработка 0,5 М сорбитом в течение одного часа в сочетании со смесью 1% целлюлазы, 0,1% пектиназы и 6-часовым периодом инкубации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

***Daucus carota*, протопласт, ферментативная обработка, преплазмолиз, выживаемость; выход протопластов**

Introduction:

Carrot, scientifically classified as Daucus carota, is one of the most widely grown and economically significant root vegetables globally. Carrots frequently serve as a prototypical plant in biotechnological research applications, and *in vitro* techniques have introduced novel strategies for advancing agricultural development. Researchers have developed a variety of new approaches to further elevate the commercial value of crop species to augment productivity. Consequently, the genetic diversity and domestication history of carrots have been widely investigated, with studies characterizing regions of the genome that have undergone selection during the transition from wild to cultivated forms [1, 2].

The investigation of plant protoplasts has origins dating back to the 1960s, when the British botanist Cocking utilized enzymatic deconstruction of the cell wall to extract protoplasts from the apical portion of tomato plants [3]. Since then, protoplast research has undergone a period of rapid advancement. For example, in 1970, Nagata and Takeble reported the successful isolation, cultivation, and regeneration of plants originating from the palisade tissue of tobacco mesophyll protoplasts [4]. In 1972, Carlson utilized the protoplast fusion technique to generate the initial interspecific hybrids derived from tobacco. This enabled Carlson to obtain somatic hybrids, circumvent the incompatibility associated with sexual hybridization to a certain degree, and uncover a novel method for producing and breeding varieties exhibiting innovative characteristics [5] in the following decades, protoplast isolation, culture, and plant regeneration has been broadly examined and applied for various plant species, and they have turned into an imperative device in plant biotechnology and plant molecular science. Protoplasts, which lack the cell wall and encompass the cellular contents and plasma membrane, represent the fundamental living components of a plant or bacterial cel, the cytoplasm of these cells is typically a complex, viscous, and dense liquid that houses various organelles and inclusions. Plant protoplasts provide an exceptional unicellular system that facilitates diverse facets of modern biotechnology. The lack of cellular wall of protoplasts allows for their frequent utilization in somatic mutation techniques, cell fusion, and genetic transformation to produce novel plant varieties, this necessitates the procurement of substantial quantities of highly active protoplasts [6]. However, the regeneration of intact plants from protoplasts remains difficult and highly variable across plant species.

Protoplast technology has witnessed remarkable advancements and has garnered substantial interest within the academic and researchable community. For the techniques of somatic hybridization, cybridization, or even direct gene transfer by protoplast fusion, the establishment of a reliable and effective plant regeneration system is necessary to facilitate plant development, the profitable application of *in vitro* methods requires the maintenance of high regeneration rates, but this can be limited by the decline of the genetic instability, especially in callus cultures [7].

In the present paper, the main factors that affect the isolation and purification of mesophyll protoplasts from carrot were determined, which include the optimal sorbitol concentration through preplasmolysis and incubation time in the enzymatic mixture to explored their influence on the integrity and output of carrot protoplasts. The developed system exhibits reliability, yields consistent outcomes, and serves as an experimental platform for investigations involving carrot protoplast cells, which can guide the development of genetic programs and the production of novel hybrids.

Materials and Methods

The *in vitro* plantlets of Vil-1 carrot line (originating from the germplasm collection of the N.N. Timofeev Breeding Station) were used as the protoplast donor. Plant material was aseptically obtained by implementing sterilization process for the seeds after being incubated in water bath for 10 min at 50˚C. The seeds were germinated using hormone-free solid Murashige and Skoog MS medium [8], containing 30 g/l of sucrose and 6.5 g/l of plant-derived agar, Petri dishes were then removed to incubation chamber at 24 ± 1°C in the dark for one week, permitting the seeds to germinate and develop under these regulated parameters (Fig. 1, a). The seedlings were transferred to the same MS medium supplemented with 0.1 mg/L pyridoxine hydrochloride, 0.1 mg/L thiamine hydrochloride, 0.5 mg/L nicotinic acid, 3.0 mg/L glycine, 100 mg/L myo-inositol, 20 g/L sucrose, and 2.5 g/L phytagel, then maintained in a temperature-controlled environment at 24 ± 1°C.

Isolation and Purification of Protoplasts:

5-week-old carrot plantlets (leaves and petioles) (Fig. 1, b) were employed for protoplast isolation, this process was performed as described by Baranski et al. [9] with few modifications. Briefly, plant tissues were gently chopped into fine pieces, for preplasmolysis the sample was subsequently combined with 8 ml of sorbitol solution with different concentrations (0.3, 0.5 and 1 M sorbitol 0 M as control + 0.05 M $CaCl_2.2H_2O$), replicated in triplicate, and incubated for 1 hour in the dark at a temperature

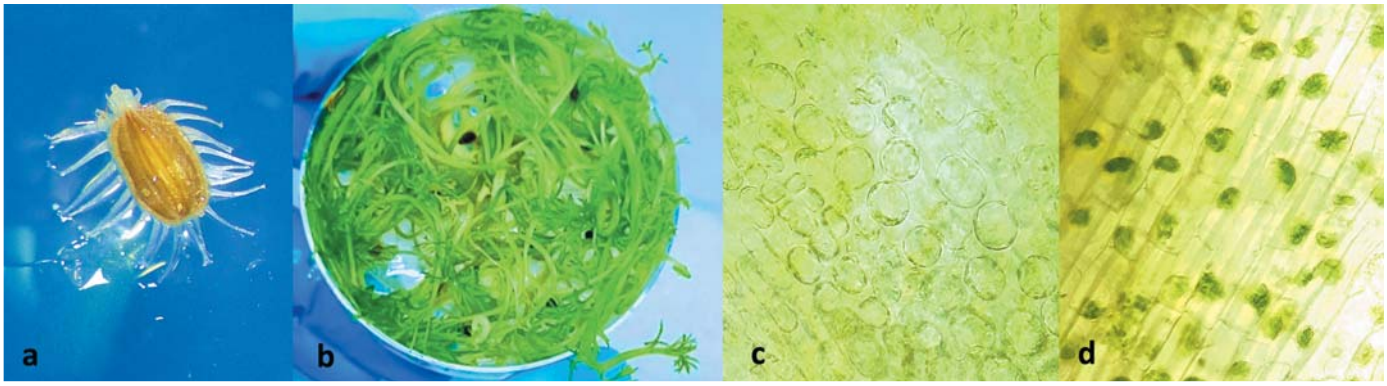


Fig. 1. (a) carrot seed under the microscope after 3 days of cultivation, (b) 5-week-old seedlings, (c) and (d) the plant tissues after plasmolysis showing the contraction of intracellular plasma as a result of losing water (Scale bar =50 µm, with 40× objective)

Рис. 1. (a) семена моркови под микроскопом после 3 дней культивирования, (b) 5-недельные проростки, (c) и (d) растительные ткани после плазмолиза, показывающие сокращение внутриклеточной плазмы в результате потери воды (масштабная линейка =50 мкм, с объективом 40×)

of 24 ± 1°C. Plasmolysis is a typical physiological response of plant cells to hyperosmotic environmental stressors. The loss of internal hydrostatic pressure, known as turgor, prompts the living protoplast to retract forcefully from the cell wall (Fig. 1, c and d). The vacuole plays a central role in facilitating this process. Notably, plasmolysis is a reversible phenomenon that occurs in living plant cells [10].

To investigate the optimal duration for enzymolysis, the tissue samples were incubated at 24±1°C in the dark for 2, 4, and 6 hours (replicated three times respectively) with gentle agitation using enzyme solution composed of 1% (w/v) cellulase Serva, 0.1% (w/v) pectinase Rohament p5, 20 mM 2-(N Morpholino) ethanesulfonic acid (MES, Panreac), 5 mM $CaCl_2.2H_2O$, and 0.6 M mannitol the solution pH was adjusted to 5.6 and cold filter-sterilized (0.22 µm, Millipore).

After enzymatic cell wall digestion, the solutions were filtered through 100 µm and then 40 µm nylon mesh into new Falcon tubes, 3 ml of 0.5 M mannitol-D solution was added too. The resulted solution was then centrifugated at 150 RCF for 10 minutes, with the resulting supernatant being discarded. The sedimented material at the base of the centrifuge tube comprised the protoplasts, which were then subjected to two consecutive washes in 2 ml of MMG solution (4 mM MES buffer at pH 5.7, 0.6 M mannitol, and 15 mM $MgCl_2$) with centrifugation for 5 min after each wash using the same relative centrifugal force.

Quantification of obtained protoplasts yield

The isolated protoplasts were diluted to an appropriate concentration and enumerated using a light microscope and a hemacytometer to evaluate the statistical properties of the protoplast yield. Each sample was assessed through no fewer than three cell enumeration processes. The protoplast production yield was calculated as a ratio using the following equation: Protoplast yield (protoplasts/g FW) = Quantity of protoplasts generated during enzymolysis /fresh weight of the material employed in enzymolysis (g FW).

Assessment of protoplast survivability

The viability of the protoplasts was determined using the fluorescein diacetate FDA staining method. The protoplast viability was calculated as a percentage of the total protoplasts observed as following. Protoplast viability (%) = (the observed fluorescent protoplast count / the total number of protoplasts observed in the microscopic field of view) ×100%.

Statistical Analysis and quantitative examination

The experimental data were statistically analysed employing Microsoft Office Excel 2021 and PAST version 2.17c. The significance of the experimental variants was evaluated using the least significant difference LSD test at a threshold of p≤0.05.

Results

The effects of sorbitol pre-treatment concentration on protoplasts yield and viability

In this study, sorbitol served as the sole osmotic agent. During the pre-treatment phase, the yield of free protoplasts varied significantly under different sorbitol concentrations of 0.3, 0.5, and 1 M, with 0 M as a control where pre-treatment was not applied. The protoplast yield increased considerably as the sorbitol concentration rose, achieving the maximum yield of 3.41 × 10^5 protoplasts per gram of fresh weight at 1 M sorbitol concentration (P ≤ 0.05) after 4 hours of enzymatic treatment (Fig. 2). The viability of the protoplasts demonstrated a comparable trend, yet exhibited a marked reduction when the concentration surpassed 0.5 M. The vitality attained 95% at 0.5 M (P ≤ 0.05) with a digestion time of 6 h. As the sorbitol concentration and enzymolysis duration increased, the protoplast activity decreased. At 0.3 M, the yield and activity of the protoplasts were at their lowest. These results indicate that the optimal sorbitol concentration for pre-treatment was 0.5 M, which achieved the highest protoplast yield and activity.

According to the results of statistical analysis (Table 1), there is no significant difference in protoplast vitality at 0.5 M of sorbitol concentration followed by 4 and 6 h of digestion, or even at 0.3 M with 6 hours of digestion.

The influence of enzymolysis time on protoplast isolation

The study examined the influence of the duration of enzymatic cell wall digestion (enzymolysis) on the yield and viability of protoplasts. The protoplast production and viability were

Table 1. The influence of sorbitol pretreatment concentration and digestion time on the protoplast yield and vitality as a result of the statistical analysis of PAST 2.17c the least significant differences between the experimental variants LCD at a level of p≤0.05
Таблица 1. Влияние концентрации предварительной обработки сорбитом и времени сбраживания на выход протопластов и их жизнеспособность. В результате статистического анализа PAST 2.17c наименьшие значимые различия между экспериментальными вариантами ЖК при уровне p≤0,05

Sorbitol Pretreatment concentration	Enzymolysis time	Protoplasts yield per 1g fresh weight	Number of fluorescent protoplasts	Protoplast vitality
0.3 M	2 h	13800±1818e	9993.33±1350f	72.46±2e
0.5 M		35133.33±5402de	30272.33±5218ef	85.68±2bcd
1 M		38666.67±1832de	31807.33±1262ef	82.35±2bcd
0.3 M	4 h	47166.67±3226de	37703.67±2874ef	79.86±1de
0.5 M		76366.67±3634cd	68762.33±4314de	89.91±1ab
1 M		340600±22010a	277512±13607a	81.66±2cd
0.3 M	6 h	119700±13369bc	105986±12184cd	88.48±1abc
0.5 M		151000±4513b	143483.67±4908c	95a
1 M		286733.33±18751a	228593.33±13946b	79.77±1de

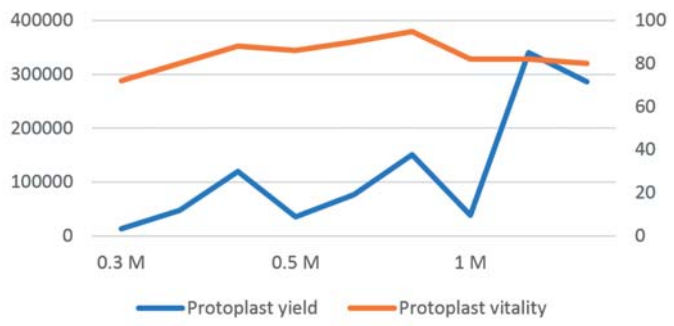


Fig. 2. Depicts the influence of sorbitol concentration on the yield and viability of carrot protoplasts (P≤0.05), as assessed by the LSD test. The values shown represent the mean ± SD (n = 3) standard deviation

Рис. 2. Показано влияние концентрации сорбитола на выход и жизнеспособность протопластов моркови (P≤0,05), как было оценено с помощью теста LSD. Приведенные значения представляют собой среднее ± SD (n=3) стандартное отклонение

assessed at 2, 4, and 6 hours of enzymolysis. A brief 2-hour enzymolysis period resulted in the release of only a small number of protoplasts. As the enzymolysis time was extended, the protoplast yields gradually increased. Notably, a 4-hour enzymolysis period led to a dramatic rise in protoplast output, with viability reaching approximately 90% (Fig. 3). An enzymatic incubation period of 6 hours produced the highest protoplast yield

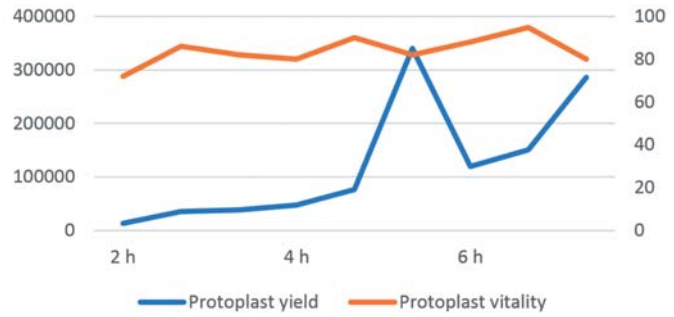


Fig. 3. The influence of enzymolysis duration on protoplast yield and protoplast vitality of carrot. (P≤0.05) per the LSD test. The values presented denote the mean ± SD (n=3) standard deviation

Рис. 3. Влияние продолжительности ферментной обработки на выход протопластов и жизнеспособность протопластов моркови. (P≤0,05) согласно тесту LSD. Представленные значения обозначают среднее ± SD (n = 3) стандартное отклонение

(3.41 × 10^5 protoplasts/g FW), yet this was accompanied by decreased viability and the accumulation of enzyme solution fragments, suggesting that a substantial number of protoplasts had been disrupted.

Protoplasts displaying a large, spherical morphology were observed under optimal microscopic conditions. Viable protoplasts demonstrated green fluorescence when examined using fluorescence microscopy. The micrographs in Figure 4 depict the protoplasts, they displayed a sturdy and well-delineated spherical morphology (Fig. 4, a and b), which is indicative of physiologically sound and viable protoplasts. Fluorescence microscopy revealed a green fluorescent signal, which further validated the viability and structural soundness of the protoplasts (Fig. 4, c).

Discussion

The seminal work of Cocking, outlining a technique for the isolation of plant protoplasts, was first published over six decades ago [11]. Protoplasts, which lack cell walls and are therefore osmotically sensitive, serve as a versatile experimental system for investigating the mechanisms underlying membrane permeability and osmoregulation in plant cells [12]. High-quality protoplasts are often essential for efficient expression systems. While numerous investigations of isolated protoplasts have been carried out in model plant species, fewer studies have focused on carrot protoplasts. To achieve high-yielding, high-quality carrot protoplasts, the researchers in this work examined the most influential factors, with a particular focus on the impacts of sorbitol concentration and enzymatic hydrolysis duration. The average protoplast isolation resulted in a yield of 1.14 × 105, exhibiting a viability of up to 92%.

Protoplasts can be extracted from a variety of plant tissues, including leaves, shoot apices, roots, coleoptiles, hypocotyls, petioles, embryos, pollen grains, and calli. Leaves are often the preferred source for protoplast isolation due to their diverse origin and the free arrangement of mesophyll cells [13]. However, the presence of rigid cell walls presents a significant challenge, as the walls must be enzymatically degraded to facilitate protoplast extraction [16]. Existing research indicates that the duration of carrot culture influences the yield of protoplasts. If the culture period is less than 1-2 weeks, the material is too immature to effectively control the enzymatic digestion time, leading to a substantial number of dissociated fragments that can complicate subsequent genetic transformation efforts [12]. The impact is not

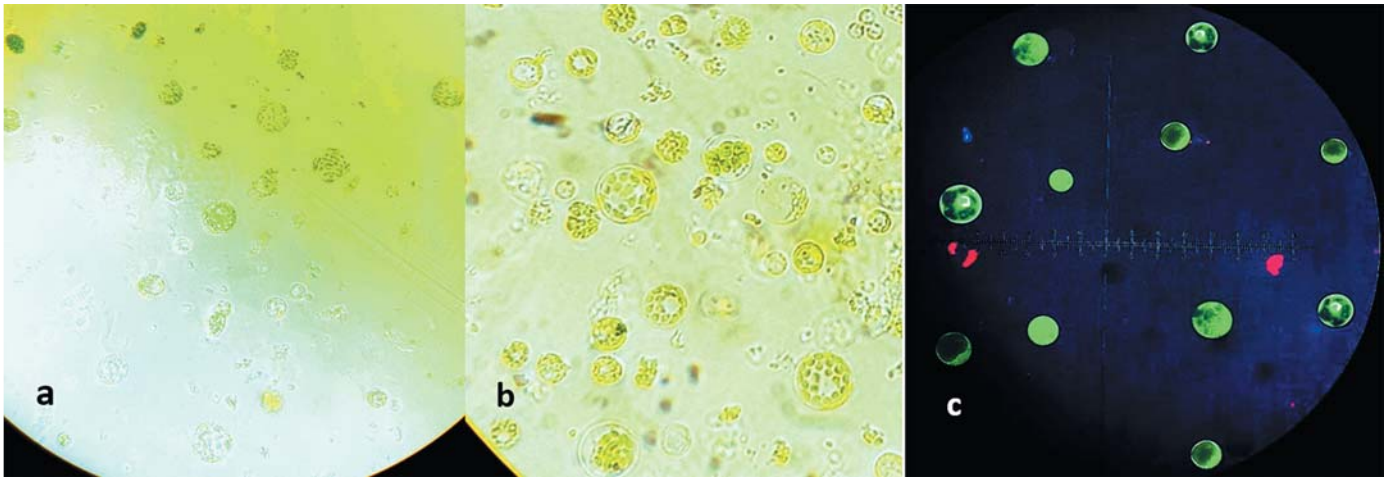


Fig. 4. The Isolated carrot protoplasts. (a) using 0.5 M sorbitol and enzymolysis time for 4 h; (b) 0.5 M sorbitol and 6 h; (c) Green fluorescence of viable protoplasts after FDA staining

Рис. 4. Изолированные протопласты моркови. (a) использование 0,5 M сорбита и ферментной обработки в течение 4 ч; (b) 0,5 M сорбита и 6 ч; (c) зеленая флуоресценция жизнеспособных протопластов после окрашивания FDA

readily discernible, even when monitoring the concentration of the enzyme solution. If the culture duration surpasses 5 weeks, the enzymatic digestion time should be extended; nonetheless, the temporal variations are attributable to inconsistencies in leaf maturity, which may result in the rupture and disintegration of recently isolated protoplasts, potentially compromising downstream experiments [12]. The research has concluded that the optimal incubation period is between 4 and 5 weeks, with 5 weeks being the most effective duration. In order to attain the optimal yield and quality of protoplasts within this research study, leaf material from 5-week-old carrot plantlets was utilized. The researchers found that the 5-week incubation period resulted in the most robust and productive protoplast cultures, enabling them to obtain high yields of these essential plant cells for further study and experimentation.

An osmotic stabilizer is required to provide osmotic support to the protoplasts. The type and concentration of the osmotic agent impacts the plasmolysis process during protoplast isolation, which aids in preserving the turgor pressure of the resulting protoplasts [14] Hyperosmotic stress leads to the rapid efflux of water from the cell, causing the protoplast to detach from the cell wall. Since no protoplast could be separated without plasmolysis, as demonstrated in the control sample, the osmolarity of the isolation solution had a significant impact on the protoplast yield and this could be achieved using sorbitol or mannitol. Thus, the leaves of Daucus carota were immersed in a sorbitol solution for one hour prior to protoplast isolation. The results demonstrated that the stability and metabolic activity of the protoplasts were substantially enhanced following this pretreatment with 0.5 M sorbitol.

Another critical aspect influencing protoplast isolation is the temporal extent of enzymolysis. Prolonged exposure to the enzyme solution may impair the protoplast's plasma membrane, compromising its structural integrity and energy levels, potentially culminating in cell rupture. Conversely, inadequate enzymatic treatment duration will hinder the protoplast from attaining an optimal separation outcome [15]. Extending the enzymatic hydrolysis duration led to the rupturing of the plasma membrane, resulting in a decline in protoplast yield and viability when the enzymolysis time passed 6 hours. As the enzymolysis process continued, the number of cellular debris increased, and the overall viability decreased. Therefore, the optimal enzymolysis time appears to be 6 hours.

The current research only covers the primary elements that impact protoplast separation. The enzymatic conditions, including the pH of the digestion medium, the purity of the enzymes used, the temperature, and the growth parameters of the plant material, warrant further consideration. More comprehensive investigations are required to optimize the yield of protoplast isolation.

Conclusion

This study investigated the optimal conditions for achieving high yields of viable mesophyll protoplasts derived from 5-week-old carrot leaves. The data reveals that the most appropriate methodology for isolating protoplasts from *in vitro* leaves of *D. carota* is 0.5 M sorbitol pretreatment for 1 hour, 6-hour enzyme incubation using 1% (W/V) cellulase and 0.1% (W/V) pectinase. The existing approach aid many researchers in subsequent investigations focused on somatic cell fusion to generate innovative genetic compositions.

• References / Литература

1. Que F., Hou X.L., Wang G.L., Xu Z.S., Tan G.F., Li T., Wang Y.H., Khadr A., Xiong A.S. Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family. *Horticulture Research.* 2019;(6):1-15. https://doi.org/10.1038/s41438-019-0150-6
2. Iorizzo M., Senalik D.A., Ellison S.L., Grzebelus D., Cavagnaro P.F., Allender C., Simon P.W. Genetic structure and domestication of carrot (*Daucus carota* subsp. *sativus*) (Apiaceae). *American Journal of Botany.* 2013;(5):930–938. https://doi.org/10.3732/ajb.1300055
3. Cocking E.C. A Method for the Isolation of Plant Protoplasts and Vacuoles. *Nature.* 1960;(87):962-963. https://doi.org/10.1038/187962a0
4. Nagata T., Takebe I. Cell Wall Regeneration and Cell Division in Isolated Tobacco Mesophyll Protoplasts. *Planta. 1*970;(4):301-308. https://doi.org/10.1007/BF00385097
5. Liu J.H., Deng X.X. Plant Protoplast Asymmetric Fusion and Its Application in Breeding. *Life Sciences.* 1999;(14):88-91. https://doi.org/10.4236/ojapps.2024.143048
6. Davey M.R., Anthony P., Power J.B. Plant Protoplasts: Status and Biotech nological Perspectives. *Biotechnology Advances.* 2005;(23):131-171. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2004.09.008
7. Tee C.S., Lee P.S., Kiong A.L.P, Mahmood M. Optimisation of protoplast isolation protocols using *in vitro* leaves of Dendrobium crumenatum (pigeon orchid). Agricultural research. 2010;(5):2685-2693. https://doi.org/10.5897/AJAR.9000516.
8. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Plant Physiology.* 1962;(2):473-497. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
9. Baranski R., Klocke E., Ryschka U. Monitoring the expression of green fluorescent protein in carrot. *Acta Physiologiae Plantarum.* 2007;(29):239–246. https://doi.org/10.1007/s11738-007-0030-9
10. Ingeborg L., Stefan S., Brigitte S., George K. Plasmolysis: Loss of Turgor and Beyond. *Plants.* 2014;(3):583–593. https://doi.org/10.3390/plants3040583
11. Huang H., Wang Z., Cheng J. An Efficient Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Protoplast Isolation and Transient Expression System. *Scientia Horticulturae.* 2013;(150):206-212. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.11.011
12. Jia X.Y., Zhang X.H., Qu J.M., Han R. Optimization Conditions of Wheat Mesophyll Protoplast Isolation. *Agricultural Sciences.* 2016(7):850-858. https://doi.org/10.4236/as.2016.712077
13- Aljaramany N., Vishnyakova A.V., Monakhos S.G. Somatic hybridization in agricultural crops improvement: An environmentally amiable era in biotechnology. *Caspian Journal of Environmental Sciences* (CJES). 2024;(22):1233-1241. https://doi.org/10.22124/cjes.2024.8236
14. Huo A., Chen Z., Wang P., Yang L., Wang G., Wang D., Liao S., Cheng T., Chen J., Shi J. Establishment of transient gene expression systems in protoplasts from Liriodendron hybrid mesophyll cells. *PLOS ONE.* 2017;(12):1-14. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172475
15. Firoozabady E. Rapid Plant Regeneration from Nicotiana, Mesophyll Protoplasts. *Plant Science.* 1986;(46):127-131. https://doi.org/10.1016/0168-9452(86)90119-6
16. Peng X.Q., Tang R., Xie X.M. Advances on the Isolation of Protoplast in Gramineous Plant. *Chinese Agricultural Science Bulletin.* 2015;(31):252-257. https://doi.org/10.11924/j.issn.1000-6850.2014-1921.

About the Authors:
Naseem Aljaramany – PhD student,
https://orcid.org/0009-0000-0407-3459, naseemjihadja@gmail.com
Sokrat G. Monakhos – Head of the Department of Botany, Breeding and Seed Production,
https://orcid.org/0000-0001-9404-8862,
SPIN-код: 7130-9663, s.monakhos@rgau-msha.ru

Об авторах:
Насим Алжарамани – аспирант,
https://orcid.org/0009-0000-0407-3459, naseemjihadja@gmail.com
Сократ Григорьевич Монахос – заведующий кафедрой ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, профессор,
https://orcid.org/0000-0001-9404-8862,
SPIN-code: 7130-9663, s.monakhos@rgau-msha.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-10-15
УДК: 635.649:631.524.85

Ш.Н. Ражаметов [1]*,
Мёнг-Чеол Чо [2]

[1] Научно-исследовательский институт генетических ресурсов растений
г. Ташкент, Узбекистан

[2] Национальный научно-исследовательский институт плодоовощеводства и лекарственных растений Республики Корея
г. Ванжу, Республика Корея

Автор для переписки: sherzod_2004@list.ru

Вклад авторов: Ш.Н. Ражаметов: проведение исследование, концептуализация, методология, создание черновика рукописи; М.-Ч. Чо: руководство исследованием, ресурсы, создание рукописи и редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Это исследование было поддержано грантом (Project No: PJ01267102 "Study on the physiological mechanism of temperature adaptable pepper lines") the National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration.

Для цитирования: Ражаметов Ш.Н., Чо М.-Ч. Поиск генотипов перца с высокой адаптивной способностью к ночным низким температурам на основе изучения физиологических особенностей. *Овощи России.* 2025;(3):10-15. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-10-15

Поступила в редакцию: 18.02.2025
Принята к печати: 28.03.2025
Опубликована: 07.07.2025

Sherzod N. Rajametov [1]*,
Myeong-Cheoul Cho [2]

[1] Research institute of plant genetic resources
Tashkent, Uzbekistan.

[2] National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration
Wanju, 55365, Republic of Korea

Correspondence: sherzod_2004@list.ru

Authors' Contribution: Sh.N. Rajametov: study implementation, conceptualization, methodology, manuscript drafting; M.-C. Cho: study supervision, resources, manuscript drafting, and editing.

Funding. This study was supported by a grant (Project No: PJ01267102 "Study on the physiological mechanism of temperature adaptable pepper lines") from the National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest concerning the research, authorship, and/or publication of this article.

For citation: Rajametov Sh.N., Cho M.-C. Search for pepper genotypes with high adaptive ability to low night temperatures based on the study of physiological characteristics. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):10-15. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-10-15

Received: 18.02.2025
Accepted for publication: 28.03.2025
Published: 07.07.2025

Поиск генотипов перца с высокой адаптивной способностью к ночным низким температурам на основе изучения физиологических особенностей

РЕЗЮМЕ

Актуальность. **Глобальные изменения климата, характеризующиеся колебаниями температур, увеличением частоты экстремальных температурных явлений, таких как тепловой и холодовой стресс, становятся серьезной угрозой для урожайности сельскохозяйственных культур. В данной статье представлены результаты исследования адаптивных свойств различных генотипов перца к низким ночным температурам на основе их физиологических характеристик, что является актуальной работой в области селекции растений.**

Материал и методы. **Экспериментальный дизайн этого исследования был полностью рандомизированным и использовалась строгая методика измерений репродуктивных параметров у 39 геонтипов перца. Саженцы перца высаживали в одинаковой схеме в теплицах с разными температурными режимами (10°C и 15°C), и для каждой из трех независимых биологических повторности случайным образом выбирали по три растения из десяти, чтобы измерить параметры репродуктивных органов. Сбор данных и статистический анализ проводился с общее принятыми методами.**

Результаты. **Установлено, что низкие ночные температуры существенно влияют развития репродуктивных органов и снижают урожайность большинства генотипов, однако "NW Bigarim" и "Desi" проявили устойчивость к холодовому стрессу. Генотипическая зависимость реакции растений подтверждается меньшей чувствительностью генотипов "Nikar" и "Dar Tashkenta". Температурный стресс уменьшал размер плодов и способствовал формированию бессемянных экземпляров, но у генотипа "Monori tf.", напротив, количество семян увеличилось. Полученные данные подчеркивают значимость отбора устойчивых генотипов для селекции и успешного выращивания перца в условиях пониженных температур.**

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
перец, генотип, температура, цветы, плоды, урожайность

Search for pepper genotypes with high adaptive ability to low night temperatures based on the study of physiological characteristics

ABSTRACT

Relevance.

Methodology.

Results.

This article presents the results of a study on the adaptive properties of various pepper genotypes to low nighttime temperatures (LT) based on their physiological characteristics. It was found that LT slow down growth and reduce yield in most varieties; however, C22 and P08 exhibited resistance to cold stress. The genotypic dependence of plant response is confirmed by the lower sensitivity of varieties C17 and P06. Temperature stress reduced fruit size and contributed to the formation of seedless fruits, whereas in variety C12, the number of seeds increased. The obtained data highlight the importance of selecting resistant genotypes for breeding and successful pepper cultivation under low-temperature conditions.

KEYWORDS:
pepper, genotype, temperature, flower, fruit, yield

Введение

Перцы являются теплолюбивыми культурами, чувствительными к низким температурам, которые могут оказывать значительное влияние на их рост и развитие. Низкая температура является важнейшим фактором, влияющим на роста и развития. В условиях изменения климата вероятность возникновения экстремальных температурных колебаний возрастает, что делает этот фактор ещё более актуальным для сельского хозяйства [1-3].

Ночные низкие температуры оказывают заметное влияние на прорастание семян, рост рассады, морфологию листьев, вегетативных и генеративных органов перца в разных стадиях развития [4-11].

Адаптация растений перцев к температурным стрессам зависит от целого ряда факторов, среди которых можно выделить особенности метаболизма, антителесных и антиоксидантных систем, а также роль осмолитов и термошок-протеинов [12-14]. Эти биохимические компоненты помогают растениям поддерживать клеточные структуры и обмен веществ в условиях стресса. Однако для создания устойчивых сортов необходимо не только понимать механизмы адаптации, но и эффективно применять эти знания в селекционных программах, интегрируя физиологические и биохимические данные с агрономическими характеристиками растений.

Таким образом, существует необходимость в дальнейшем изучении физиологических аспектов реакции на низкие температуры у генотипов перца с различными типами плодов. Поэтому селекционная программа для создания сортов перца с устойчивостью к низким температурам должна сосредоточиться на ночной температуре.

Материалы и методы исследований

В этом исследовании оценивалась реакция 39 генотипов перца включая как острые, так и перец болгарского (Таблица 1) мирового генофонда Национального научно-исследовательского института плодоовощеводства и лекарственных растений Республики Корея на ночные низкие температуры. Были оценены репродуктивные параметры: такие как количество цветов, количество плодов, урожайность, диаметр плода, длина плода, вес плода, количество семян в плодах на 120-й день после посадки.

Семена были посеяны в лотки 28 сентября 2020 года. Для проращивания использовались пластиковые лотки размером 52×26 см с ячейками 6×6 см. Эти лотки были помещены в теплицу, где поддерживалась оптимальная температура (26/18°C днем и ночью) и относительная влажность (65–70%). Растениям ежедневно предоставлялся литр воды. После периода роста и развития рассады, 13

Таблица 1. Список генотипов перца Capsicum annuum L. острого и перец болгарского
Table 1. List of genotypes of Capsicum annuum L. hot pepper and bell pepper

Форма плода	ID номер	Номер	Название сорта
Перец острый	20LT01	C01	Kobra
	20LT02	C02	Bekesi tf.
	20LT03	C03	16HT9
	20LT04	C04	16HT7
	20LT05	C05	Local ladozhskiy
	20LT07	C06	16HT1
	20LT08	C07	AVPP1248
	20LT09	C08	AVPP1249
	20LT10	C09	Yeongyang haneulcho
	20LT11	C10	Jeonbuksunchang-1985-gochu102827
	20LT12	C11	Jeonbukimsil-1985-gochu105233
	20LT13	C12	Monori tf.
	20LT14	C13	BGH 1806
	20LT16	C14	Ardei Lung Plovdiv
	20LT19	C15	Mie-Midori
	20LT27	C16	Bandung Jaelaejong
	20LT28	C17	NIKAR
	20LT29	C18	256
	20LT30	C19	N2
	20LT31	C20	N32
	20LT32	C21	Kukon
	20LT36	C22	NW Bigarim
	20LT37	C23	Bigstar
	20LT38	C24	Noggwang
	20LT39	C25	Cheongyang
	20LT40	C26	Kalcho
	20LT41	C27	Samcheok Jaelae
Перец болгарский	20LT06	P01	Vanity
	20LT15	P02	Sredneaziatskiy sladkiy
	20LT17	P03	Beliy krugliy
	20LT20	P04	Sweet chocolate
	20LT21	P05	Urias Dulce
	20LT23	P06	Dar Tashkenta
	20LT24	P07	Krupnoplodniy udlinennokonicheskiy
	20LT25	P08	Desi
	20LT33	P09	Bogatyr
	20LT34	P10	Macho
	20LT35	P11	Gourmet F_1
	20LT42	P12	Zheltiy

ноября 2020 года растения были пересажены в две теплицы из полиэтиленовой пленки для дальнейшего исследования.

Для создания оптимальных условий в пленочных теплицах, в которых проводился эксперимент, саженцы перца высаживали по 10 растений на образец на расстоянии 1,5 м × 35 см между растениями. С целью адаптации растений к новым условиям, первую неделю ночная температура поддерживалась на уровне 15°C в обеих теплицах, после чего она была снижена до 10°C в теплице с низкой температурой (LT) и оставлена на уровне 15°C в контрольной теплице (CT). В рисунке 1 представлен данные дневного и ночного температурного режима за период вегетации растений перца.

Подготовка почвы в теплицах, фертигация, контроль за распространением вредителей и болезней и температурный режим осуществлена согласно раннее описанным методам [16].

Для анализа репродуктивных параметров перца использовалась строгая методика измерений. Сорт перца высаживали в одинаковой схеме в теплицах с разными температурными режимами, и для каждой из трех независимых биологических повторности случайным образом выбирали по три растения из десяти, чтобы измерить параметры.

Репродуктивные показатели включали: количество цветов, которое определяли на растениях с 2-го по 5-е междоузлия, количество плодов, урожайность, которые измерялись случайным образом на трех разных растениях.

Для оценки характеристик плодов собирали пять типичных плодов с каждого образца. Включали такие измерения, как: сырая масса плодов, длина плода, диаметр плода, количество семян в плоде. Измерения проводились с помощью цифровых электронных весов, линейки и штангенциркуля для точности данных.

Методика статистического анализа, примененная в этом исследовании, была тщательно продумана для оценки различий между вегетативными и репродуктивными параметрами растений перца, выращиваемых при различных температурных режимах.

Тест Студента (Student's t-test) с использованием программного обеспечения EXCEL 2016 был использован для оценки статистически значимых различий между значениями репродуктивных параметров, таких как: количество цветов и плодов, урожайность, диаметр и длина плода, весь плода и количество семян в плодах.

Результаты и обсуждения

Влияние низких температур на формирование цветов варьировалось в зависимости от генотипических характеристик каждого генотипа перца. Некоторые генотипы сохраняли стабильное или

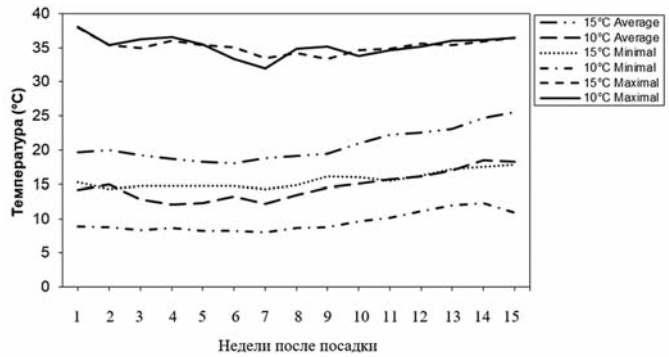


Рис. 1. Температурный режим воздуха измеряли в тепличных условиях в период выращивания перца в 10 и 15°C, соответственно. Данные отслеживались и записывались с недельным интервалом с 10 декабря 2020 года по 9 марта 2021 года
Fig. 1. Air temperature was measured in greenhouse conditions during the pepper growing period at 10 and 15°C, respectively. Data was monitored and recorded at weekly intervals from December 10, 2020 to March 9, 2021

даже лучшее развитие цветков при пониженных ночных температурах, в то время как у других сортов наблюдалось существенное снижение количество цветов в условиях низких температур. Это подчеркивает, что не все образцы перца одинаково восприимчивы к низким температурам, и генетические особенности имеют ключевое значение для того, как растения будут реагировать на холод.

Пониженные температуры также оказывали влияние на количество плодов и урожайность. В большинстве случаев низкие температуры снижали эти показатели. Однако, как и в случае с количеством цветов, реакции разных генотипов на низкие температуры различались.

Это указывает на то, что некоторые образцы могут быть более устойчивыми к температурным стрессам и сохранять более высокую продуктивность даже при сниженных температурах.

Эти данные могут быть полезными для дальнейших селекционных программ, направленных на улучшение устойчивости перца к низким температурам, что может быть особенно важно для выращивания в зимних теплицах.

Для определения реакции различных генотипов перца на низкие температуры были исследованы репродуктивные параметры количество цветов, количество плодов и урожайность на 120 день после посадки в теплицах с низкой и нормальной ночной температуры. Влияние низкой температуры на формирование цветов было различным в зависимости от генотипических свойств каждого образца перца (рис. 2A).

В условиях низких температур, так и в условиях нормальных температур органы цветка у генотипов "16HT1", "BGH 1806" и "Bandung Jaelaejong" не развивались, а у "16HT9", "Nikar" и "Gourmet F1" они развивались в условиях нормальных температур, но не в условиях ночных низких температур. Никаких существенных различий в количество цветов не наблюдалось, за исключением генотипов "Dar Tshkenta" и "Macho" между двумя условиями выращивания. Кроме того, впоследствии, на 120 день после посадки, было оценено влияние низких температур на количество плодов на одно растение, где наблюдалось значительное снижение у большинства генотипов перца при низких температурах (рис. 2B).

Примечательно, что генотипы перца острого "16HT7", "AVPP1249", "BGH 1806" и "Bandung Jaelaejong" не плодоносили ни в условиях ночных низких температур, ни в нормальном режиме выращивание, тогда как показатели количество плодов у генотипов "NW Bigarim", "Desi" и "Bogatyr" не различались между двумя условиями возделывания. Поскольку высокая урожайность является одним из наиболее важных параметров в селекционных программах для определения устойчивых генотипов перца к низким температурам, была проведена оценка урожайность, и она резко снизилась у большинства образцов при низких температурах по сравнению с растениями в нормальных условиях, за исключением генотипов перца болгарского "Desi" и "Bogatyr" (рис. 2C).

Интересно, что самый высокий показатель урожайности, свыше 500 г, был выявлен у генотипов перца острого "Kobra", "Bekesi tf.", "Local ladozhskiy", "256", "N2", "Bigstar" и "Noggwang", а также у перца болгарского "Vanity", "Sredeaziatskiy sladkiy", "Beliy krugliy" и 'Sweet chocolat" в условиях контроля, тогда как в условиях низких температур самый высокий показатель был отмечен у генотипа перца острого "NW Bigarim" (226,7 г) и перца болгарского "Sweet chocolate" (215,0 г).

Показатель диаметр плода резко снизился у большинства генотипов перца в условиях низких ночных температур по сравнению с растениями в контроле (рис. 3A).

Однако не было обнаружено существенной разницы в показателе диаметр плода у генотипов "Bigstar", "Vanity" и "Sweet chocolate" между двумя условиями выращивание. Плоды генотипов перца острого "Bekesi tf.", "Local ladozhskiy", "Ardei Lung Plovdiv", "Mie-

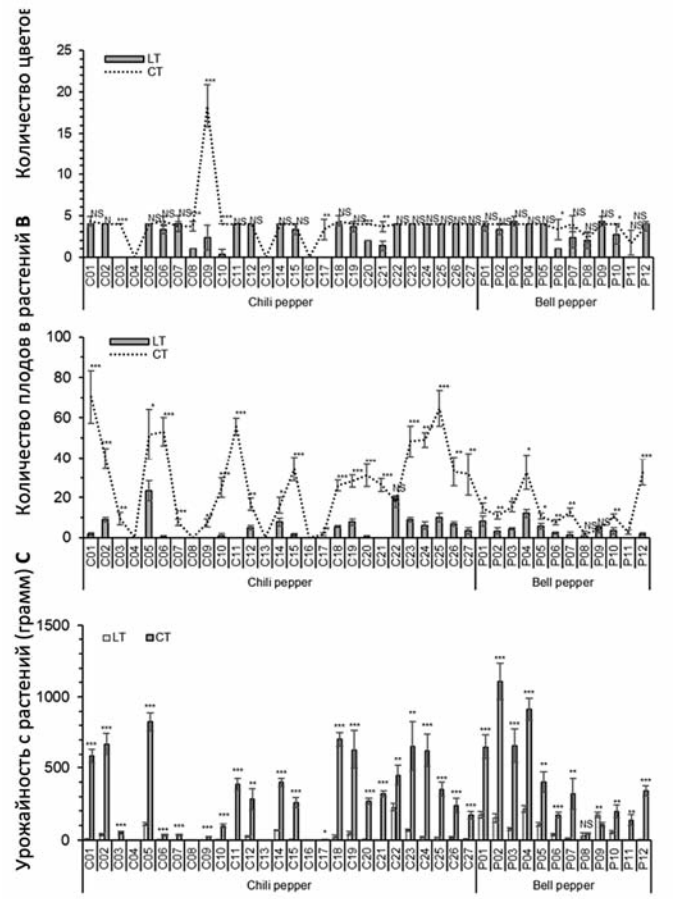


Рис. 2. Оценка репродуктивных признаков по количеству цветков (A), количеству плодов (B) и урожайности (C) у генотипов перца в теплицах LT и CT. Существенные различия оценивали с помощью Student's t-test при p≤0,05, p≤0,01 и p≤0,001 и обозначали *, ** и *** соответственно. NS означает незначительное значение, а столбцы обозначают ± стандартное отклонение (n=3)

Fig. 2. Evaluation of reproductive traits for flower number (A), fruit number (B) and yield (C) in pepper genotypes in LT and CT greenhouses. Significant differences were assessed using Student's t-test at p≤0.05, p≤0.01 and p≤0.001 and were marked as *, ** and ***, respectively. NS means not significant and bars represent ± standard deviation (n=3)

Midori", "Kukon" и "NW Bigarim", а также перца болгарского "Sredneaziatskiy sladkiy", "Beliy krugliy", 'Urias Dulce" и "Macho" имели самый большой диаметр плодов — более 25 мм и 60 мм соответственно в условиях контроля.

В то время как в условиях низкой температуры генотипы перца острого "Bekesi tf.", "Local ladozhskiy", "Ardei lung Plovdiv", "NW Bigarim" и "Bigstar", а также перца болгарского "Vanity", Sredneaziatskiy sladkiy", "Urias Dulce", "Desi" и "Bogatyr" имели наибольший диаметр плодов — более 15 мм и 50 мм соответственно (рис. 3A).

В предыдущих исследованиях сообщалось, что диаметр плода тесно связано с индексом длины плода [13, 14]. Чтобы подтвердить влияние низких температур на длину плода, вместе с диаметром плода был измерен длина плода среди 39 генотипов перца, и было выявлено, что длина плода у большинства генотипов перца в условиях низких температур заметно снижается по сравнению с растениями в контроле (рис. 3B).

Однако у генотипов P06 и P08 существенных различий в параметрах длины плода не наблюдалось в обоих условиях выращивание. Так, в условиях контроля у генотипов перца острого "Bekesi tf.", "Local ladozhskiy", "16HT1", "Ardei Lung Plovdiv", "256", "N2", "NW Bigarim", "Bigstar" и "Noggwang", а также у перца болгарского "Vanity" и "Sredneaziatskiy sladkiy" наблюдалось формирование плодов с длиной более 15 см и 10 см соответственно. В то время как у генотипов перца острого "256", "N2", "NW Bigarim" и "Bigstar" и перца болгарского "Sredneaziatskiy sladkiy", "Sweet chocolate' и "Bogatyr" наблюдались самые длинные плоды — более 10 см и 5 см соответственно в условиях низких температур.

Также было исследовано влияние температурного режима на показатель сырой массы плода, где у большинства генотипов перца в условиях низких температур он снизился по сравнению с растениями в контроле, за исключением генотипа перца болгарского "Desi" и "Bogatyr", у которых не выявлено существенных различий в индексах массы плода между двумя условиями выращивания (рис. 3C).

В одном исследовании было определено влияние ночных низких температур на развитие семян в плодах перца, что вызвало рост бессемянных плодов (так называемая партенокарпия) и снижение товарности плодов [14].

Для дальнейшего подтверждения влияния низких температур на развитие семян подсчитывали развитых количество семян в плодах. Результаты показали, что количество семян в плодах существенно сокращается у различных генотипов перца острого, тогда как во всех плодах перца болгарского не развивались семена в условиях низких ночных температур (рис. 3D).

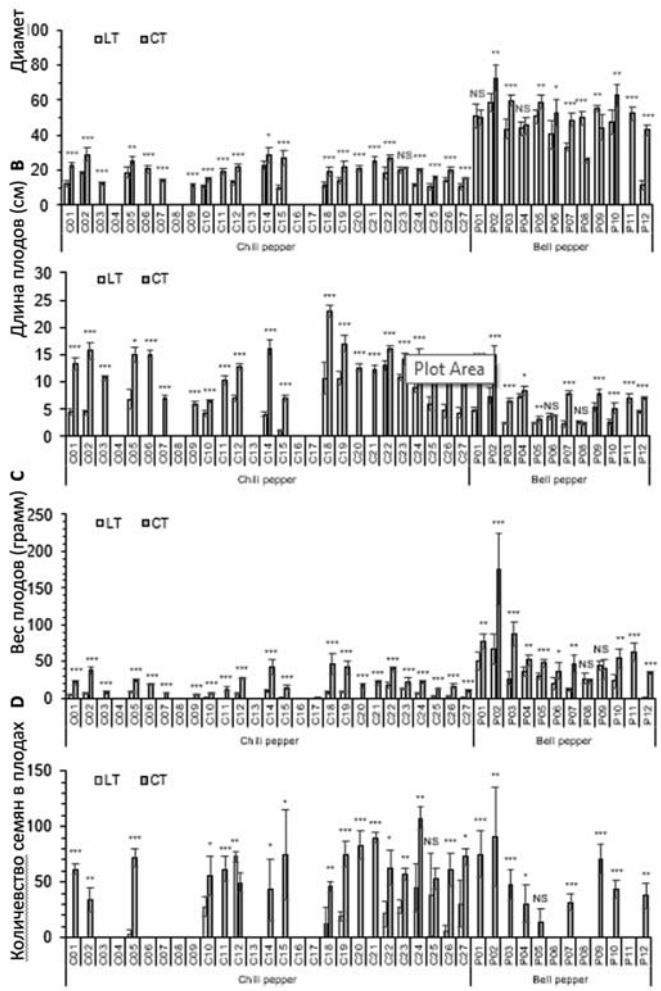


Рис. 3. Оценка репродуктивных признаков по диаметру плода (A), длине плода (B), весь плода (C) и количество семян в плодах (D) у генотипов перца в теплицах LT и CT. Существенные различия оценивали с помощью Student's t-test при p≤0,05, p≤0,01 и p≤0,001 и обозначали *, ** и *** соответственно. NS означает незначительное значение, а столбцы обозначают ± стандартное отклонение (n=3)

Fig. 3. Evaluation of reproductive traits for fruit diameter (A), fruit length (B), whole fruit (C) and number of seeds per fruit (D) in pepper genotypes in LT and CT greenhouses. Significant differences were assessed using Student's t-test at p≤0.05, p≤0.01 and p≤0.001 and were marked as *, ** and ***, respectively. NS means not significant and bars represent ± standard deviation (n=3)

Интересно, что количество семян в плодах у генотипа “Monori tf.” увеличился при условия низких температур по сравнению с растениями в контроле, и не было обнаружено заметной разницы в количество семян в плодах у генотипов “Cheongyang” и “Urias Dulce” между двумя условиями. Кроме того, самый высокий индекс формирование семян — более 80, 70 и 40 семян в плодах — был отмечен у генотипов острого перца “N32”, “Kukon” и “Noggwang”, а также у перца болгарского “Vanity”, “Sredneaziatskiy sladkiy” и “Bogatyr” в нормальных условиях выращивания, а в условиях низкой температуры самый высокий показатель — более 40 семян — наблюдался у “Monori tf.”, “Noggwang” и “Cheongyang”.

Обобщая полученных данных в результате исследования и литературных источников растения перца естественным образом подвергаются резкому холодовому стрессу в зимний период в сельском хозяйстве и обладают клеточными и молекулярными механизмами для акклиматизации и преодоления низкотемпературного стресса [16-18].

Предыдущие исследования продемонстрировали реакцию генотипов перца на условия низких температур с ограниченными наборами образцов, в основном по репродуктивным признакам, включая морфологию цветков, форму плодов и урожайность [14, 19, 20]. Кроме того, влияние низких температур на агрономические показатели определяли преимущественно у перца сладкого.

В данном исследовании мы оценили 39 генотипов перца, включая перца острого (n = 27) и перца болгарского (n = 12), а также оценили репродуктивные признаки в течение всего периода роста и развития перца в условиях низких температур, что могло бы экономически снизить потребность в энергии при выращивании перца в зимний период в теплице.

В соответствии с нашими предыдущими исследованиями, текущие результаты также показали, что количество цветов у большинства генотипов перца не выявило заметных различий в растениях в обоих условиях выращивания, хотя количество цветов был снижен у нескольких сортов перца острого и перца болгарского.

Несмотря на это, нам не ясно, почему влияние ночные низкие температуры на количество цветов в большинстве генотипов не изменилось. Дальнейшие исследования должны быть направлены на выяснение механизмов воздействия низких температур на количество цветов у растений перца с учетом низкой температуры воздуха и в области корней.

Предыдущие исследования показали, что количество плодов тесно связан с урожайностью при низких температурах [8, 19] и что количество плодов и степень завязывание плодов были ключевыми определяющими факторами для выбора устойчивых к низким температурам томатов и перца с высокой урожайностью плодов [20].

В соответствии с предыдущими исследованиями, влияние низких температур на количество плодов и урожайность привело к резкому снижению по сравнению с контролем, что позволяет предположить, что количество плодов и урожайность тесно коррелируют при низких температурах. Кроме того, низкая температура повлияло на снижение показателей диаметра и длины плода и формирования семян в плодах, что привело к развитию неправильной формы плодов. Эти данные согласуются с предыдущими исследованиями, которые выявили эффекты низких температур на морфологию цветков и развитие плодов [14].

В исследованиях было установлено, что воздействие низких температур на форму пыльников и завязей вызывает аномальное развитие органов цветка, включая задержку роста тычинок, уменьшение количества и снижение активности пыльцы, что препятствует опылению и оплодотворению [14, 22]. В дальнейшем это приводит к образованию аномальных плодов и партенокарпических плодов с низким количеством семян [14, 23].

Также, предыдущие исследования показали, что под воздействием низких температур нарушение формы плодов у растений риса, манго и перца вызвано набухшей завязью и укороченным столбиком [20, 24, 25], что указывает на то, что развитие органов цветка с тычинкой и завязью очень чувствительно к низким температурам воздуха.

Кроме того, партенокарпические плоды и снижение количество семян в плодах были связаны с балансом растительных гормонов, включая ауксин, гиббереллин и цитокинин, из-за отсутствия оплодотворения, но это, возможно, не может быть связано с дефектами опыления [26, 27].

Кроме того, некоторые исследования предположили, что механизм факторов развития плодов, включая диаметр и длина плода, и масса плода, скорее всего, общий [12, 13].

Учитывая, что в одном исследовании упоминалось, что длина плода регулируется от 3 до 10 пар генов и, скорее всего, зависит от условий окружающей среды [28], дальнейшие исследования должны изучить механизм того, как факторы развития плодов регулируются кластерами генов.

Как упоминалось в предыдущих публикациях [29-31], снижение количество плодов у сладкого перца при низких температурах было связано с показателями урожайности, что свидетельствует о тесной корреляции между признаками.

В соответствии с нашими текущими результатами, предыдущий PCA-анализ растений томата также показал сильную корреляцию с урожайностью и количеством плодов под воздействием низких ночных температур [15], что позволяет предположить, что количество плодов играет важную роль в определении параметров, связанных с урожайностью, таких как степень завязывание плодов и урожайность растений перца для селекционных программ при выборе сорта перца, устойчивого к ночным низким температурам.

В нашем ранее представленном результатах исследовании при выборе критериев отбора толерантных томатов к ночным низким температурам было установлено, что растения томата показывают разные вегетативные и репродуктивные показатели в зависимости от типа плодов [15].

На основе кластеризации 39 генотипов перца мы выбрали генотипы перца острого и болгарского (“Bigstar” и “NW Bigarim”; “Desi” и “Bogatyr”) устойчивых к низким температурам, которые преимущественно демонстрировали высокие значения репродуктивных индексов, таких как урожайность, масса и диаметр плода.

Интересно, что формы плодов чувствительных генотипов перца острого и болгарского к низким температурам были значительно меньше по сравнению с показателями в контроле, в то время как формы плодов толерантных генотипов были либо аналогичны, либо несколько меньше по сравнению с таковыми у растений в контроле. Наши результаты показали, что длина и диаметр плода сыграли решающую роль в выборе генотипов, устойчивых к ночным низким температурам.

Выводы

Ночные низкие температуры привели к снижению формирование количество цветов, плодов и урожайности у большинства генотипов, но “NW Bigarim” и “Desi” не показали существенных различий между двумя температурными режимами, что подтверждает их устойчивость. Температурный стресс также снизил размеры плодов у большинства генотипов, хотя некоторые (например, “Desi” и “Bogatyr”) не изменились. Ночные низкие температуры также повлияли на количество семян, приводя к образованию бессемянных плодов, но генотип “Monori tf.” показал увеличение семян.

• Литература / References

1. Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. Molecular responses to dehydration and low temperature: Differences and cross-talk between two stress signaling pathways. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2000;(3):217–223.
2. Wang W.-X., Vinocur B., Altman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta.* 2003;(218):1–14.
3. Toki, T.; Ogiwara, S.; Aoki, H. Effect of varying night temperature on the growth and yields in cucumber. *Acta Hortic.* 1978;(87):233–238
4. Horie T., de Wit C.T., Goudriaan J., Bensink J. A formal template for the development of cucumber in its vegetative stage (I, II and III). In Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Van Wetenschappen. Serie C: Biological and Medical Sciences; Wageningen University: Wageningen, The Netherlands. 1979;(82):433–479.
5. Nilwik H. Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) 1. The influence of irradiance and temperature under glasshouse conditions in winter. *Ann. Bot.* 1981;(48):129–136.
6. Ji L., Li P., Su Z., Li M., Guo S. Cold-tolerant introgression line construction and low-temperature stress response analysis for bell pepper. *Plant Signal. Behav.* 2020;(15):1773097. https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1773097
7. O'sullivan J., Bouw W. Pepper seed treatment for low-temperature germination. *Can. J. Plant Sci.* 1984;(64):387–393.
8. Seo J.-U., Hwang J.-M., Oh S.-M. Effects of night temperature treatment of raising seedlings before transplanting on growth and development of pepper. *J. Bio-Env. Con.* 2006;(15):149–155.
9. Bhatt R., Srinivasa Rao N. Response of bell-pepper (*Capsicum annuum*) photosynthesis, growth, and flower and fruit setting to night temperature. *Photosynthetica.* 1994;(28):127–132.
10. Xiaoa F., Yang Z., Zhua L. Low temperature and weak light affect greenhouse tomato growth and fruit quality. *J. Plant Sci.* 2018;(6):16–24.
11. Picken A.J.F. A review of pollination and fruit set in the tomato (Lycopersicon esculentum Mill.). *J. Hortic. Sci.* 1984;(59):1–13.
12. Barchi L., Lefebvre V., Sage-Palloix A.-M., Lanteri S., Palloix A. QTL analysis of plant development and fruit traits in pepper and performance of selective phenotyping. *Theor. Appl. Genet.* 2009;(118):1157–1171.
13. Yarnes S.C., Ashrafi H., Reyes-Chin-Wo S., Hill T.A., Stoffel K.M., Van Deynze A. Identification of QTLs for capsaicinoids, fruit quality, and plant architecture-related traits in an interspecific *Capsicum* RIL population. *Genome.* 2013;(56):61–74.
14. Mercado J., Mar Trigo M., Reid M., Valpuesta V., Quesada M. Effects of low temperature on pepper pollen morphology and fertility: Evidence of cold induced exine alterations. *J. Hortic. Sci.* 1997;(72):317–326.
15. Rajametov S.N., Lee K., Jeong H.-B., Cho M.-C., Nam C.-W., Yang E.-Y. Physiological Traits of Thirty-Five Tomato Accessions in Response to Low Temperature. *Agriculture.* 2021;(11):792. https://doi.org/10.3390/agriculture11080792
16. Yang S., Tang X.-F., Ma N.-N., Wang L.-Y., Meng Q.-W. Heterology expression of the sweet pepper CBF3 gene confers elevated tolerance to chilling stress in transgenic tobacco. *J. Plant Physiol.* 2011;(168):1804–1812.
17. Hou, X.-M., Zhang, H.-F., Liu, S.-Y., Wang, X.-K., Zhang, Y.-M., Meng, Y.-C., Luo, D., Chen, R.-G. The NAC transcription factor CaNAC064 is a regulator of cold stress tolerance in peppers. *Plant Sci.* 2020;(291):110346.
18. Kong X.-M., Zhou Q., Zhou X., Wei B.-D., Ji S.-J. Transcription factor CaNAC1 regulates low-temperature-induced phospholipid degradation in green bell pepper. *J. Exp. Bot.* 2020;(71):1078–1091. https://doi.org/10.1093/jxb/erz463
19. Pressman E., Moshkovitch H., Rosenfeld K., Shaked R., Gamliel B., Aloni B. Influence of low night temperatures on sweet pepper flower quality and the effect of repeated pollinations, with viable pollen, on fruit setting. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 1998;(73):131–136.
20. Cruz-Huerta N., Williamson, J.G., Darnell, R.L. Low night temperature increases ovary size in sweet pepper cultivars. *HortScience.* 2011;(46):396–401.
21. Goodstal F.J., Kohler G.R., Randall, L.B., Bloom, A.J., Clair, D.A.S. A major QTL introgressed from wild Lycopersicon hirsutum confers chilling tolerance to cultivated tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Theor. Appl. Genet.* 2005;(111):898–905.
22. Rylski I. Effect of night temperature on shape and size of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Amer. Soc. Hort. Sci. J.* 1973;(98):149–152.
23. Patterson B.D., Reid M.S. Genetic and environmental influences on the expression of chilling injury. In Chilling Injury of Horticultural Crops; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1990. pp. 87–112.
24. Issarakraisila M., Considine J. Effects of temperature on pollen viability in mango cv. 'Kensington'. *Ann. Bot.* 1994;(73):231–240.
25. Bhutia K., Khanna V., Meetei T., Bhutia N. Effects of climate change on growth and development of chilli. *Agrotechnology.* 2018;7(2). https://doi.org/10.4172/2168-9881.1000180
26. Polowick P., Sawhney V. Temperature effects on male fertility and flower and fruit development in *Capsicum annuum* L. Sci. Hortic. 1985;(25):117–127.
27. Sawhney V.K., Shukla A. Male sterility in flowering plants: Are plant growth substances involved? *Am. J. Bot.* 1994;(81):1640–1647.
28. Zhigila D.A., AbdulRahaman A.A., Kolawole O.S., Oladele F.A. Fruit morphology as taxonomic features in five varieties of *Capsicum annuum* L. Solanaceae. *J. Bot.* 2014, 1–6.
29. Rylski I., Spigelman M. Effects of different diurnal temperature combinations on fruit set of sweet pepper. *Sci. Hortic.* 1982;(17):101–106.
30. Rylski I. Investigations on the Influence of Suboptimal Temperatures on the Flowering, Fruit Setting and Development of Sweet Pepper (*Capsicum annum* L.). Ph. D. Thesis, Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Israel, 1971. pp. 1–96.
31. Rylski E., Kempler H. Fruit set of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under plastic covers. *HortScience.* 1972;(7):422–423.

Об авторах:

Шерзод Нигматуллаевич Ражаметов – кандидат с.-х. наук, исследователь, автор для переписки,sherzod_2004@list.ru, https://orcid.org/0000-0001-7055-9932

Мёнг Чеол Чо – кандидат с.-х. наук, заведующий лабораторией, chomc@korea.kr, https://orcid.org/0000-0002-8321-4826

About the Authors:

Sherzod N. Rajametov – PhD (Agriculture), Post Doctoral Researcher, Correspondence Author, sherzod_2004@list.ru, https://orcid.org/0000-0001-7055-9932

Myeong-Cheoul Cho – PhD (Agriculture), Head of Laboratory, chomc@korea.kr, https://orcid.org/0000-0002-8321-4826

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-16-25
УДК: 634.675.33-027.22(477.75)

Lidia A. Logvinenko[1], Nadezhda A. Golubkina[2]*, Radhey Shyam Singh[3], Andrew A. Koshevarov[2], Oxana M. Shevchuk[1], Otilia Cristina Murariu[4], Gianluca Caruso[5]

[1] Nikitsky Botanic Garden, National Scientific Center of RAS
298648, Yalta, Russia
[2] Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC)
14, Selectsionnaya str., VNIISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072
[3] Plant Breeding and Genetics Veer Kunwar Singh College of Agriculture Dumraon, Buxar, Bihar (BAU Sabour, Bhagalpar, Bihar, India
[4] Department of Food Technologies, 'Ion Ionescu de la Brad' Iasi University of Life Sciences Iasi, Romania, 700490
[5] Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II
Portici, Naples, Italy, 80055
***Corresponding Author:** segolubkina45@gmail.com

Funding. The work was achieved according to the program "Peculiarities of the synthesis of biologically active compounds as the basis of aromatic herb breeding for evaluation of plant resources in human health maintenance', No 1022033000133-6-4.1.6, and received no external funding.

Authors Contributions: The authors confirm contribution to the paper as follows: Logvinenko L.A.: Conceptualization, Investigation. Golubkina N.A.: Investigation, Writing original draft. Koshevarov A.A.: Investigation, Validation. Singh R.Sh.: Conceptualization, Methodology, Investigation. Shevchuk O.M.: Formal analysis. Murariu O.C.: Formal analysis, Methodology. Caruso G.: Writing, review & editing, Supervision.

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

For citation: Logvinenko L.A., Golubkina N.A., Singh R.Sh., Koshevarov A.A., Shevchuk O.M., Murariu O.C., Caruso G. *Physalis peruviana* L. production in conditions of the Crimean southern sea shore. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):16-25. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-16-25

Received: 20.03.2025
Accepted for publication: 08.04.2025
Published: 07.07.2025

Physalis peruviana L. production in conditions of the Crimean southern sea shore

ABSTRACT

Intensive climate changes entail the possibility of effective introduction of some tropical plants in the northern hemisphere. Introduction of *Physalis peruviana*, Indian selection, along the Crimean southern sea shore in 2022-2024 revealed the perennial growth character of plants, fully flowering since the first decade of June, starting fruiting in late June, full fruit ripening in the second decade of July, and the possibility of partial ovaries shedding during the period of high temperatures (27-30°C) from mid-July to August. In the mentioned conditions, fruits, leaves and calyx showed high antioxidant status. The efficiency of different extraction methods in polyphenol determination generated high prospects of dry fruit, leaves and calyx extraction with 70% ethanol at 80 oC compared to the application of water, 50% methanol and 98% ethanol extraction at room temperature. The fruits demonstrated similar values of the ascorbic acid (48.5 mg/100 g f.w.), mono- and di-saccharide (35 and 51% per d.w.) content, and higher levels of dry matter (20.2%), phenolics (21.2 mg GAE/g d.w.) and carotenoids (4.51 mg/100 g f.w.), compared to the Colombian fruit randomly sampled at the local supermarket, but had significantly lower values of fruit titratable acidity (49.0 compared to 86.2 mg-eq citric acid/g d.w.). Mineral composition of plants revealed typical Fe, Zn, Cu, Mn and Co distribution between fruit, leaves and calyx with calyx being the richest source of Fe (288.7 mg/kg d.w.). The results indicate high prospects of *P. peruviana* cultivation in Crimea.

KEYWORDS:

***Physalis;* territory product innovation; nutritional value, antioxidants; microelements**

Л.А. Логвиненко[1], Н.А. Голубкина[2]*, Р.Ш. Сингх[3], А.А. Кошеваров[2], О.М.Шевчук[1], О.К. Мурариу[4], Д. Карузо[5]

[1] Никитский ботанический сад, Национальный Научный Центр РАН
298648, Ялта, Россия
[2] Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО)
143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14
[3] Факультет селекции и генетики Сельско-хозяйственный колледж В.К.Сингха Думраон, Буксак, Бихар, Индия
[4] Факультет пищевых технологий, Ясский Университет естественных наук
700490, Яссы, Румыния
[5] Факультет сельского хозяйства, Неаполитанский Университет Федерико II
80055, Неаполь, Италия
***Автор для переписки:** segolubkina45@gmail.com

Финансирование. Работа выполнена в соответствии с госзаданием «Выявление закономерностей синтеза биологически активных веществ как основа для создания сортов эфиромасличных и лекарственных растений – источников ценного растительного сырья и средств для улучшения качества жизни человека в рамках реализации программы импортозамещения» 1022033000133-6-4.1.6.

Вклад авторов: Авторы подтверждают свой вклад в статью следующим образом: Л.А. Логвиненко: Концептуализация, Исследование. Н.А. Голубкина: Исследование, Написание оригинального черновика. А.А. Кошеваров: Исследование, Валидация. Р.Ш. Сингх: Концептуализация, Методология, Исследование. О.М. Шевчук: Формальный анализ. О.К. Мурариу: Формальный анализ, Методология. Д. Карузо: Написание, рецензирование и редактирование, Надзор.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Logvinenko L.A., Golubkina N.A., Singh R.Sh., Koshevarov A.A., Shevchuk O.M., Murariu O.C., Caruso G. *Physalis peruviana* L. production in conditions of the Crimean southern sea shore. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):16-25. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-16-25

Поступила в редакцию: 20.03.2025
Принята к печати: 08.04.2025
Опубликована: 07.07.2025

Производство *Physalis peruviana* L. в условиях культуры Южного Берега Крыма

РЕЗЮМЕ

Интенсивное изменение климата благоприятствует интродукции южных растений в более северные регионы. Интродукция перуанского физалиса *Physalis peruviana*, индийской селекции на южном побережье Крыма в 2022-2024 выявила, что растения ведут себя как многолетние, с началом массового цветения с первой декады июня, начале плодоношения с конца июня, полного созревания плодов со второй декады июля, а также установлена возможность частичного опада соцветий в период высоких температур (27-30°C) со середины июля до августа. Плоды, листья и чехлики плодов растений, выращенных в условиях Крыма проявляли высокую антиоксидантную активность. Проведена оценка эффективности различных условий экстракции на содержание полифенолов в плодах, листьях и чехликах. Наиболее высокие показатели содержания полифенолов были получены при использовании предварительно высушенных образцов и экстракции 70% этиловым спиртом при 80°C в течение часа по сравнению с применением дистиллированной воды, 50% метанола и 98% этанола при комнатной температуре. Содержание аскорбиновой кислоты в плодах крымского физалиса и колумбийского из супермаркета были сходны (48.5 мг/100 г сырой м.), так же, как и содержание моно- и ди-сахаров (35 и 51% сухой м.), однако, крымский физалис характеризовался более высоким содержанием сухого вещества (20.2%), полифенолов (21.2 мг-экв ГК/г сухой м.) и каротиноидов (4.51 мг/100 г сырой массы), в то время как уровень титруемой кислотности в Крымском физалисе составил 49.0 мг-экв. лимонной кислоты/г сухой массы по сравнению с 86.2 мг-экв лимонной кислоты/г сухой массы для Колумбийского физалиса. Анализ минерального состава плодов, листьев и чехлика физалиса (Fe, Zn, Cu, Mn и Co) выявило аномально высокое содержание железа в чехликах плодов (288.7 мг/кг сухой массы). Полученные результаты свидетельствуют о перспективности выращивания *P. peruviana* в открытом грунте на южном побережье Крыма.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

***Physalis*; инновационный продукт, антиоксиданты; микроэлементы**

1. Introduction

Physalis peruviana L. belongs to the Solanaceae family and is highly valued for the unique biochemical composition, high antioxidant activity and high levels of carotenoids, vitamin C, polyphenols, protein, and dietary fiber [1-3]. Colombia, Kenia, Zimbabwe, Australia, New Zealand, India, and Ecuador are the most important *Physalis* producers in the world, though high level of adaptability of these plants allows to effectively grow them in other countries, such as Peru, Portugal, USA, Brazil, Venezuela, Countries of the Central America, Egypt, Indonesia, Israel, and Great Britain. *P. peruviana* is actively cultivated in Turkey [4,5].

In tropical areas, *Physalis* is a perennial plant, contrary to the continental climate where it is an annual plant. *P. peruviana* was successfully grown in greenhouse conditions in Czech Republic [6,7] with the ascorbic acid reaching 66-102 mg/100 g f.w. and flavonoids 405-526 mg/100 g.

Due to high antioxidant activity, *Physalis peruviana* L. provides high human antioxidant status due to the consumption of polyphenols, flavonoids, tannins, alkaloids, vitamins C, B3, B6, phytosterols, vitanolids, and physalins. *P. peruviana* fruit record significant antimicrobial activity against gram-positive and gram-negative bacteria, anti-fungal activity against *Aspergillus niger* and *Candida albicans* [8], and anti-carcinogenic activity against lung cancer cells A549, and Caco-2 cells of colon adenocarcinoma [9]. Powerful anti-carcinogenic activity is demonstrated for *β*-carotene, vitamins C and P, vitanolids and physalins, the latter recording also anti-inflammatory, anti-microbial, immunomodulatory, and anti-parasitic properties. Leaves, stems and all plant showed cytotoxic and anti-proliferative effect on different cancer cell lines, such as colon, lung, breast and liver [10-14]. *P. peruviana* L. fruit calyx is successfully used in traditional medicine due to its anti-carcinogenic, antimicrobial, antipyretic, diuretic, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties [15]. Fruits are rich in Fe, Ca, Cu, Mn, P, and Zn [16,17].

Physalis biometrical and biochemical characteristics are governed by genetic factors, growth conditions, sowing data, and greatly depend on growth stimulators supply [18-21]. Climate change is another important factor affecting cultivation efficiency especially in temperate conditions.

The present investigation was aimed at evaluating the efficiency of *P. peruviana* cultivation in conditions of the Crimean southern sea shore using Physalis seeds produced by the Indian breeders.

2. Materials and Methods

2.1. Growing Conditions and Experimental Protocol

The research was conducted on *Physalis peruviana* accession, provided by the Veer Kunwar Singh College of Agriculture, India, in 2022-2024 from May to October at the experimental open field of Nikitsky Botanic Garden, situated at the shore of the Black Sea (44°31' N., 34°15' E, 200 m above sea level), characterized by a Mediterranean-type dry subtropical climate, with a mean year temperature of 13.5±1.5°C and average daily temperature above 5°C from the beginning of March to the end of October (Table 1). The experiment was carried out in an agro-brown, slightly carbonate, light clay soil with 3.0% humus, 5.4% carbonates and pH of 7.8. The annual precipitation reached 560-619 mm with a typical predominance in winter-spring period.

Table 1. Mean temperature and total rainfall during the experiment
Таблица 1. Среднемесячные температуры и количество осадков в течение эксперимента

Month	2022		2023		2024	
	Mean temperature (°C)	Rainfall (mm)	Mean temperature (°C)	Rainfall (mm)	Mean temperature (°C)	Rainfall (mm)
May	14.9	24.5	15.7	92.3	14.4	5.9
June	22.9	83.5	20.9	73.0	23.6	40.4
July	24.3	22.3	24.2	20.6	28.5	17.7
August	26.0	20.4	27.2	4.0	25.8	3.1
September	19.6	12.1	22.0	0.4	25.8	64.7

Sowing was practiced on 11 May. The results were expressed as means of the three-year data. The morphological determinations were performed on 10 plants per replicate.

At the level of the productive moisture >40 mm, watering was achieved once a week from May to June. In July-August watering was practiced twice a week according to the production moisture level of 20 mm. Fertilizers were not supplied during the vegetation period, while in Autumn organic mineral fertilizer 'Cherny Zhemchuk' was applied at a dose of 15 g/m^2. The chemical composition of the Fertilizer is presented in Table 2.

Table 2. Chemical composition of 'Cherny Zhemchug' Fertilizer
Таблица 2. Химический состав удобрения Черный Жемчуг

Parameter (Параметр)	Concentration (концентрация), %
Organic matter (Органическое вещество)	>70
SiO_2	7.48-12.98
Fe_2O_3	4.36-5.23
CaO	3.65-4.45
MgO	1.29-2.12
K_2O	2.85-3.5
Na_2O	0.23-0.59
P_2O_5	0.06-0.12
SO_2	0.14-0.30
Total N	0.35-0.77
Water soluble Mn (Водорастворимый Mn)	0.002-0.007
Water soluble B (Водоракстворимый B)	0.30-0.50
pH	8.0
Water content (содержание влаги)	<7-10

This investigation was carried out in accordance with the introduction and selection testing methodology of aromatic and medicinal plants [22]. Morphometric determinations of leaves and fruit were performed using light microscope MSP-1. PC ImageTool v. 2.03 UTHSCSA was used for the metric parameters testing.

2.2. Sample Preparation

After harvesting leaves and fruit were separated and individually weighed. The samples were homogenized, and fresh homogenates were used for the determination of the ascorbic acid. Sample aliquots of leaves and fruit were dried at 70°C to constant weight and used for the determination of total polyphenol content (TP), and mineral composition.

2.3. Biochemical and Elemental Composition Analyses

2.3.1. Ascorbic acid (AA)

The ascorbic acid content was assessed using the manual titration method based on the interaction of the ascorbic acid with sodium 2,6-dichlorophenol indophenolate (Tillman's reagent) [23].

2.3.2. Total Polyphenols (TP)

Total polyphenols were determined in 70% ethanol extract using the Folin–Ciocalteu colorimetric method as previously described [24]. Half a gram of dry *physalis* homogenates of leaves and fruit were extracted with 20 mL of 70% ethanol at 80°C for 1 h. The mixture was cooled down and quantitatively transferred to a volumetric flask, and the volume was adjusted to 25 mL. The mixture was filtered through a filter paper, and 1 mL of the resulting solution was transferred to a 25 mL volumetric flask, to which 2.5 mL of saturated Na_2CO_3 solution and 0.25 mL of diluted (1 : 1) Folin–Ciocalteu reagent were added. The volume was brought to 25 mL with distilled water. One hour later the solutions were analyzed through a spectrophotometer (Unico 2804 UV, Suite E Dayton, NJ, USA), and the concentration of polyphenols was calculated according to the reaction mixture absorption at 730 nm. As an external standard, 0.02% gallic acid was used. The results were expressed as mg of gallic acid equivalent per g of dry weight (mg GAE g-1 d.w).

2.3.3. Carotenoids

Determination of carotenoid content in physalis fruit was achieved spectrophotometrically after chromatographic separation of carotenoids [24]. Half a g of homogenized fruit was extracted with small portions of acetone until color disappearance. The combined extract was diluted with 9 mL of hexane and washed 4–5 times with distilled water to remove traces of acetone. The residual extract was quantitatively transferred to a volumetric flask, and the volume was adjusted to 10 mL with hexane. The resulting extract was mixed, filtered through a small portion of anhydrous Na_2SO_4 and subjected to the analysis. The separation of carotenoids was achieved using quantitative thin-layer chromatography on Whatman 3A chromatographic paper in hexane–acetone, 10 : 0.5. Appropriate zones of carotenoid compounds were cut out and extracted with 3 mL of hexane. The determination of carotenoid content in physalis fruit was performed using appropriate specific absorption $E^{1\%}_{1\ cm}$ for β-carotene (2580 at λ = 450 nm), and lutein (2560; λ = 447 nm) through a spectrophotometer (Unico 2804 UV, Suite E Dayton, NJ, USA). The internal standards were β-carotene and lutein from Sigma Inc. (Japan).

2.3.4. Sugars

Monosaccharides were determined using the ferricyanide colorimetric method, based on the reaction of monosaccharides with potassium ferricyanide [25]. Total sugars were analogically determined after acidic hydrolysis of water extracts with 20% hydrochloric acid. Fructose was used as an external standard. The results were expressed in % per dry weight.

2.3.5. Titratable acidity (TA)

Titratable acidity was determined by titration of a water extract with a 0.1 M NaOH solution using a ionomer Expert-001 (Econix corp., Russia) and phenolphthalein as an indicator. The results were expressed as percentage of citric acid [26].

2.3.6. Nitrates

Nitrates were assessed using an ion-selective electrode on ionomer Expert-001 (Econix Inc., Russia). One gram of fresh physalis leaves was homogenized with 50 ml of distilled water. Forty-five ml of the resulting extract were mixed with 5 ml of 0.5 M potassium sulfate background solution (necessary to adjust the ionic strength) and analyzed through an ionomer for nitrate determination.

2.3.7. Total Dissolved Solids (TDS)

TDS was determined in water extracts using TDS-3 conductometer (HM Digital, Inc., Seoul, Korea) and expressed in mg kg-1 d.w.

2.3.8. Mineral composition

The determination of element contents (Co, Cu, Fe, Mn, Zn) in plants was conducted in triplicate on the dried, homogenized, mixed samples using atomic absorption spectrometry on Shimadzu GFA-7000 spectrophotometer (Shimadzu, Kioto, Japan) after sample digestion under the temperature increase from 20 up to 425°C and appropriate solution of the residue in 3% HNO_3 [27].

2.4. Statistical Analysis

All determinations were done in triplicate. The data were processed by the analysis of variance and mean separations were performed through Duncan's multiple range test, with reference to 0.05 probability level, using the SPSS software version 29 (Armonk, NY, USA). Data expressed as percentages were subjected to angular transformation before processing.

3. Results and Discussion

3.1. Temperature trends

Significant warming has been typical for the last years. Indeed, comparison of the sum of effective temperatures during the experiment with the long-term average values indicated dramatic changes of the values especially significant in spring and the beginning of summer (Table 3, Fig. 1).

In these conditions the first Physalis shouts appeared on 26 May, most of shoots on 30 May, full fruiting phase since 30 August. Plant height at this stage of development reached 82-89 cm accompanied by a full plant flowering. Plant generative development lasted up to the middle of October. In 2024, the phenophase of general regrowth of perennial plants began on 15 May.

Table 3. The sum of effective temperatures >10℃ during the P. peruviana vegetation period of 2023-2024
Таблица 3. Сумма эффективных температур >10℃ в период вегетации P. peruviana в 2023-2024)

Month месяц	Decade Декада	Long-term average value Усредненные долговременные показатели)	The sum of effective temperatures (сумма эффективных температур)	
			2023	2024
April	3rd	30	80	216
May	1st	74	110	266
	2nd	134	165	308
	3rd	220	234	410
June	1st	314	371	540
	2nd	428	509	677
	3rd	551	619	817
July	1st	684	765	1002
	2nd	825	900	1213
	3rd	992	1062	1386
August	1st	1147	1229	1538
	2nd	1291	1377	1701
	3rd	1435	1559	1877
September	1st	1541	1672	2009
	2nd	1636	1779	2135
	3rd	1712	1850	2252
October	1st	1771	1924	2337
	2nd	1811	1966	2379

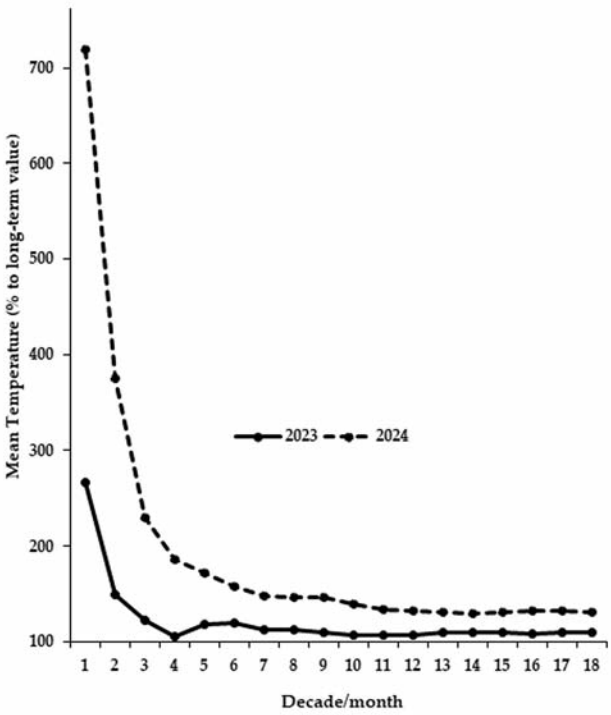


Fig. 1. Dynamics of the sum of effective temperatures at the Southern shore of the Crimea in 2023, 2024
Рис. 1. Динамика изменения показателя эффективных температур на южном побережье Крыма в 2023, 2024)

3.2. Morphological parameters

The levels of resistance and plasticity of plants to specific growth conditions are governed by plant vitality, morphological parameters of the main reproductive organs, and yield in the annual cycle of growth and development.

In conditions of dry subtropical climate of the southern Crimean sea shore morpho-biological parameters revealed that in field conditions *P. peruviana* maintains a perennial type of development. Plants of the 3rd year form annual shoots which become semi-woody in its lower tier. Plant height reached 82 cm at the third year of vegetation with the value 77.2 cm corresponding to the mean value of the three-year experiment. The length of the renewal shoots reached 68-73 cm (Table 4). During growth and development *P. peruviana* stem branched and up to 7 well- developed generative shoots were formed on the bush (mean value is 5.3).

In conditions of the Crimean southern sea shore the phenophase of mass flowering begins in the first decade of June, the beginning of fruiting – from the end of June; mass fruit ripening – in the second decade of July. Temperature greatly affects the growth and development of plants. Biological peculiarities of *P. peruviana* indicate that it belongs to the short day plants. At the Crimean southern sea shore in the middle of July-August in conditions of high temperature (27-30°C) the physalis vegetation period and the period of fruiting expand. The lower fruit located in the places of initial stem branching ripen first followed by fruit on the periphery of the bush. Signs of fruit ripening are the lightening and drying of the calyx as well as the fruit acquiring the color characteristic of the variety. Ripe fruit mostly fall off and in dry weather may remain fresh for up to 10 days. As a result, the period of generative development and fruit ripening continued in the Mediterranean climate of the Crimea until the end of October.

P. peruviana, due to its sweet fruit and its economically valuable characteristics, belongs to the group of berry Physalis. At the stage of ripening, fruit is juicy yellow round, 16.5-24.7 mm diameter (mean value 20.03 mm), and 3.05-6.26 g weight (mean value 4.36 g), with the number of seeds from 133 in small fruits to 145-213 in the large ones (Table 4). The latter parameters of the Crimean *P. peruviana* were 1.8-2.2 times lower than those recorded in Kenia, Colombia and South Africa which may be attributed to different ecotypes and environmental conditions [28].

Table 4. Morphological parameters of the Physalis peruviana L. in conditions of the Crimean southern sea shore
Таблица 4. Морфологические показатели растений физалиса перуанского в условиях Южного берега Крыма

Parameter (параметр)		M±SD	CV (%)	Minimum	Maximum
Plant mass, (g) (Масса растения, г)		628.8±128.0	20.3	438.2	805.4
Plant height (cm) (Высота растения, см)		77.2±3.1	4.0	73	82
Number of generative shoots (количество генеративных побегов)		5.3±1.3	24.5	3	7
Number of inflorescences per plant (количество соцветий на растении)		32.6±5.0	15.3	24	42
Leaf weight (g per plant) (масса листьев, г/растение)		319.2±54.8	17.2	236.6	395.0
Aboveground mass yield (kg/plant) (Урожайность надземной массы, кг/растение)		1.98±0.23	17.9	1.72	2.40
Foliage (%) (% облиственности)		51.1±2.3	4.5	47.8	54.3
Leaf length (cm) Длина листа (см)	Lower tier (Нижний ярус)	13.5±0.9 a	6.7	12.5	15.2
	Higher tier (Верхний ярус)	10.7±1.6	15.0	8.8	12.7
Leaf width (cm) Ширина листа (см)	Lower tier (Нижний ярус)	13.4±1.1	8.2	11.5	15.3
	Higher tier (Верхний ярус)	9.2±1.6	17.4	7.3	11.1
Leaf surface area (cm^2) (Поверхность листа, $см^2$)	Lower tier (Нижний ярус)	160.8±34.5	21.5	113.0	240.2
	Higher tier (Верхний ярус)	82.1±26.4	32.2	54.2	120.3
Petiole length (cm) (Длина черешка, см)	Lower tier (Нижний ярус)	6.9±0.8	11.6	5.5	8.0
	Higher tier (Верхний ярус)	3.5±1.4	40.0	2.1	5.8
Fruit diameter (mm) Диаметр плода, мм		20.03±2.68	13.4	16.5	24.7
Fruit cross-sectional area (cm^2) (Площадь поперечного сечения плода $см^2$)		3.02±0.61	20.2	2.44	4.16
Fruit weight (g) (Масса плода, г)		4.36±0.88	20.2	3.47	6.26
Calyx weight (g) (масса чехлика, г)		0.29±0.04	13.8	0.20	0.36
Seed productivity per one fruit (seed number) Семенная продуктивность в расчете на один плод, шт.		122.1±36.9	30.24	90	213
Mass of 1000 seeds, (g.) (Масса 1000 семян, г)		1.19±0.02	1.68	1.17	1.21
Seed length (mm) (Длина семени, мм)		2.08±0.17	8.2	1.8	2.4
Seed width (mm) (Ширина семени, мм)		1.64±0.14	8.5	1.5	2.0
Seed cross-sectional area (mm^2) Площадь поперечного сечения семени, $мм^2$		2.78±0.45	16.2	2.2	3.9

Lack of significant differences in leaf size and fruit weight was indicated between the Crimean and Indian Physalis plants [18-20]. On the other hand, literature data indicate the possibility of a significant fruit size and yield improvement due to the growth stimulator utilization [18].

P. peruviana leaves are cordate-shaped, developed on renewal branches and shoots differing 1.6-2 times by their size between the lower and higher tiers. The largest leaf surface was recorded at the lower tire of the renewal shoots reaching 240 cm2 compared to 120 cm^2 surface of leaves from the branching shoots of the lower tire (Table 4). Leaf shrinkage coefficient reached 4.85-5.10. According to literature data *P. peruviana* leaves and stems record cytotoxic and anti-prolipherative effects on different cell lines, such as colon cancer cells, chronic myeloid leucosis, lung, breast and liver [10-13].

Physalis calyx is also highly valued both in human health maintenance and plant development. These fused sepals protect fruit from unfavorable climatic conditions from the moment of fruit formation to fruit development and ripening. Its weight composes only 6.65% of fruit weight at a mass ripening stage (less than 0.3 g). During the first 20 days of fruit development calyx supplies fruit with carbohydrates [29].

3.3. Biochemical characteristics

3.3.1. Fruit quality

The most important physalis fruit characteristics are antioxidant parameters, mono- and disaccharide, and carotenoid content (Table 5).

GAE/g d.w.) [38], Peru (4.15 mg GAE/g d.w.) [33], and Northern Chili, Atacama desert (4.43 mg GAE/g d.w.) [8].

Samples of the Crimean *physalis* and *physalis* fruit obtained from the local supermarket (Colombia origin) recorded significantly higher levels of the polyphenol content (Table 5). Such an inconsistancy may be connected with the fact that polyphenol

Table 5. Physalis fruit quality parameters (means of the 2023-2024)
Таблица 5. Показатели качества плодов физалиса, среднее за 2023-2024)

Parameter (Параметр)	Nikitsky Botanic Garden Никитский ботанический сад		Columbia (imported fruit) Колумбия, импорт
	M±SD	Concentration range	
Dry matter (%) (сухое вещества, %)	20.2±1.9 a	18.3 – 22.1	17.75±1.0 a
Polypohenols (TP) (mg GAE/g d.w.) Полифенолы (TP), мг-экв ГК/г сухой массы)	21.2±1.9 a	19.3 – 23.1	17.5±1.2 b
Flavonoids (mg-eq quercetin/g d.w.) (Флавоноиды, мг-экв. Кверцетина/г сухой массы)	1.5± 0.1 a	1.4 – 1.6	1.4±0.1 a
Total carotenoids (mg/100 g f.w.) (Общее содержание каротиноидов, мг/100 г сырой массы)	4.51±0.31 a	4.20 – 4.81	3.04±0.30 b
Ascorbic acid (mg/100 g f.w.) (Аскорбиновая кислота, мг/100 г сырой массы)	48.5±3.5 a	45.0 - 52.0	47.0±3.7 a
Titratable acidity (TA) (mg-eq citric acid/g d.w.) (Титруемая кислотность (TA, мг-экв лимонной кислоты/г сухой массы)	49 ±3.2 b	45.8 - 52.2	86.2±6.6 a
Monosaccharides (% per d.w.) (Моносахара, % на сухой вес)	35±3.0 a	33.0 – 38.0	30.4±2.9 a
Total sugar (% per d.w.) (Общий сахар, % на сухой вес)	51±3.9 a	47.2 – 55.0	45.6±4.1 a
Total Dissolved Solids (mg/g d.w.) (Водорастворимые соединения, мг/г сухой массы)	43.6 ±3.3 b	41.3 – 46.9	86.0±6.8 a
Nitrates (mg/g d.w.) (Нитраты, мг/г сухой массы)	2.8 ±0.1 a	2.7 – 2.9	1.2±0.1 b

Values in lines with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at p<0.05 Значения в рядах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при p<0.05.

Values presented in Table 5 indicate high content of the ascorbic acid, polyphenol, carbohydrates, and high total antioxidant activity of Physalis fruit which is in accordance with the literature data [14]. Thus, vitamin C concentrations were close to the values described for physalis fruit of India [30,31], Argentina [32], and Peru [33], though according to the Kumar data [19] the ascorbic acid biosynthesis may be enhanced at least by 17% in Physalis fruit under growth stimulator supply.

Contrary, total sugar content in the Crimean Physalis was more than 1.5 times lower than the values described for the Peru *physalis* fruit (75-85% d.w.) [33]. The latter phenomenon may relate to significantly higher altitude of plant growth in Peru (>3000 m above the sea level) compared to the Nikitsky Botanic Garden (200 m above the sea level) as well as significant differences in plant ecotypes.

3.3.2. Polyphenol content

P. peruviana provides a wide spectrum of polyphenols, including gallic, p-cumaric, hydroxybenzoic acids, and kaempherol. These compounds increase glucose tolerance and antioxidant status of diabetic rats, decreasing the level of oxidative stress in brain [34,35]. According to literature data, mean levels of polyphenols in *P. peruviana* fruit vary from 0.3 mg GAE/g d.w. in Poland [36] to 7.3 mg GAE/g d.w. in Turkey [37] and with intermediate values typical for Portugal (0.4-0.6 mg

levels in plants may be greatly affected by environmental factors, genetics, and the chosen method of the extraction conditions [39]. Thus, to explain the obtained phenomenon of great discrepancy between the present results and physalis polyphenol levels published earlier special investigation has been achieved based on a comparison between different extraction methods both on dried and fresh physalis fruit.

3.3.3. Effect of extraction conditions on the results of the polyphenol (TP) levels

Optimization of polyphenol analysis for different plant species and organs solicits the necessity of the development of individual extraction conditions for the provision of maximum extraction efficiency. The complexity of the problem, intensively discussed by numerous authors [40,41], includes the possibility of polyphenol degradation both under elevated temperature and as a result of significant duration of the extraction process at moderate temperatures due to enzymatic degradation, enhancement of the determined polyphenol levels by virtue of polyphenol complexes decay, and deactivation of the enzymes during heating. Besides, solvent polarity greatly affects the efficiency of polyphenol extraction depending on the chemical structure of the target compounds, while small sampling size arises the problem of probe representativity confirming

great advantages of dry fruit power utilization compared to fresh samples. Most of the published *physalis* data was obtained on fresh fruit homogenates with the determined concentration range of 0.3-7.3 mg GAE/g d.w. [2,33,36,37,42,43]. Guine et al. [38] demonstrated significant variations in the results of polyphenol determination in *physalis* fruit under water, acetone, and methanol supply for the extraction. Taking into account the high toxicity of methanol and acetone, diluted ethanol at 80℃ was used in the present investigation as the main modification of the extraction process. The efficiency of 50% methanol, water, and 98% ethanol extract utilization at room temperature was also evaluated for a comparison. And all the analyses were achieved on dry and fresh *physalis* fruit.

The data presented on Fig. 2 indicate several peculiarities of polyphenol analysis.

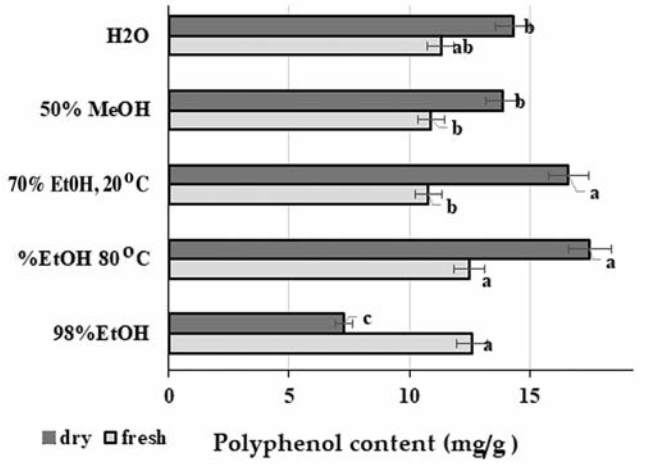


Fig. 2. Fruit polyphenol levels before and after sample drying at 70°C. For each target (dry-fresh) values with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at p<0.05
Рис. 2. Уровни полифенолов, полученные без и после высушивания образцов при 70°С. Значения с одинаковыми индексами для сухих и свежих образцов статистически не различаются согласно тесту Дункана при p<0.05

Thus, except 98% ethanol, all solvents used for the extraction provided significantly higher levels of polyphenols for dry fruit powder compared to fresh fruit with the highest levels typical for 70 % ethanol both at 80°C and room temperature. High polarity of water and 50% methanol extracts recorded lower values of polyphenol content in dried fruit compared to 70% ethanol, while fresh homogenates were characterized by relatively close values of phenols. Supposedly, the beneficial effect of the preliminary fruit drying is connected with the deactivation of the enzymes participating in polyphenol degradation. Contrary, 98% ethanol application provided higher polyphenol levels in fresh fruit compared to preliminary dried ones.

Comparison of the results for the *physalis* fruit with those obtained for dry leaves and calyx revealed even higher differences in the results of polyphenol determination depending on the chosen solvent (Fig. 3). The data presented on Figure 3 indicate that application of 70% ethanol for polyphenol extraction of physalis leaves under elevated temperature provided the best results with the polyphenol concentrations decreasing according to: 70% ethanol, 80℃ > 70% ethanol, 20℃ > 50% methanol > water > 98% ethanol.

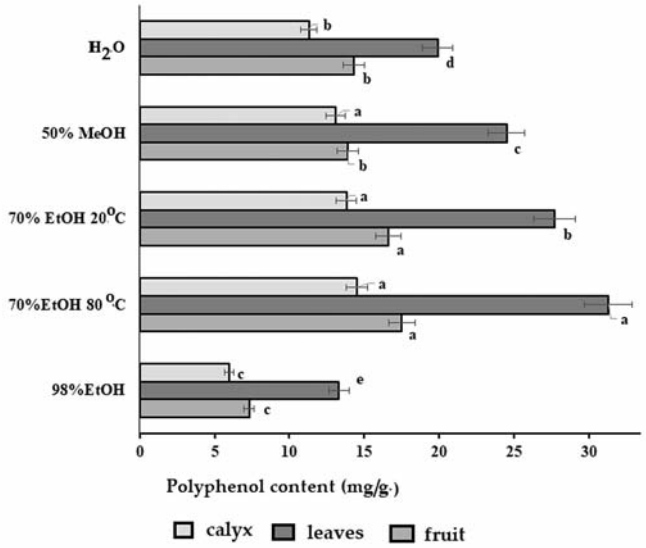


Fig. 3. Effect of extraction conditions on polyphenol levels in fruit, leaves, and calyx of Physalis peruviana. For each organ values with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at p<0.05
Рис. 3. Влияние условий экстракции на содержание полифенолов в плодах, листьях и чехликах Physalis peruviana. Для каждого органа значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при p<0.05

As far as calyx is concerned, phenolic levels in this organ were only slightly lower than the appropriate concentrations in fruit preserving the same tendency of the concentration decrease from the highest in case of 70% ethanol (80℃) to the lowest for 98% ethanol application. These results confirm that the utilization of elevated temperature during the extraction with 70% ethanol on dry *physalis* fruit, leaf and calyx homogenates suits the demands of obtaining high yield of polyphenols and is in accordance with the known relative stability of polyphenols in these conditions for certain objects [40].

3.3.4 Carotenoid profile

The total carotenoid content in *physalis* fruit was usually characterized by the predominance of beta-carotene [33] with the rather wide range of concentrations 1.12-4.00 mg/100 g f.w. [2,33, 36,42, 43]. In general, according to literature data, the number of carotenoids in *physalis* fruit reaches 45 [42] including lutein, *β* -cryptoxantine, *β*- and α-carotene [36]. The ripening

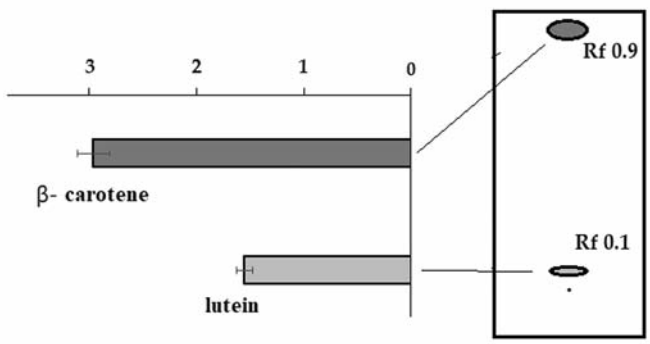


Fig. 4. Carotenoid composition of Physalis peruviana fruit. TLC: Chromatographic paper Watman 3A; hexane : acetone, 10:0.5
Рис. 4. Каротиноидный состав плодов Physalis peruviana.ТСХ: хроматографическая бумага Ватман 3А, гексан: ацетон,10:0.5

process is characterized by the conversion of lutein to beta-carotene [33].

Carotenoid content and carotenoid profile in the physalis fruit is governed to a large extent by fruit maturity and carotenoid distribution between peel, pulp, and calyx [2,43]. Thus, according to literature data, the main physalis carotenoids are beta-carotene and lutein with the highest content of beta-carotene for mature fruit and thrice higher concentrations in peel, where lutein prevails. The highest level of lutein was recorded in salyx [2].

The present results indicate the predominance of only two carotenoids: *β*-carotene and lutein in the Crimean *physalis* fruit (Fig. 4) with the total carotenoid level 1.51 times higher compared to the data of the Colombian imported product (Table 5) with the predominance of beta-carotene reaching 65.6% and 57.9% from the total content respectively. Taking into account that the dietary intake of beta-carotene may reduce the risk of developing chronic and age-related diseases [44], while lutein is highly effective in treatment of age-related macular degeneration [45] the obtained results confirm high medicinal value of *physalis* fruit.

3.4. Mineral composition

P. peruviana is known to be rich in potassium, magnesium and copper [8,32]. In this respect, the results obtained for fruit harvested at the southern Crimean shore indicated higher levels of these elements compared to the appropriate data for the Chilean product [8] (Table 6) recording valuable differences in the mineral availability between these regions.

The mineral distribution between fruit, leaves and calyx of the Crimean physalis revealed significantly higher levels of Zn, Cu, Mn and Co in leaves, while Fe concentrations in calyx happened to exceed the appropriate values in leaves and fruit by 2.6 and 4.2 times respectively (Fig. 5).

The phenomenon of Fe predominance in physalis calyx may record both physiological and medicinal importance since this organ is valuable for fruit ripening and is highly valued due to its antioxidant, anti-inflammatory, and anti-carcinogenic properties [46,47].

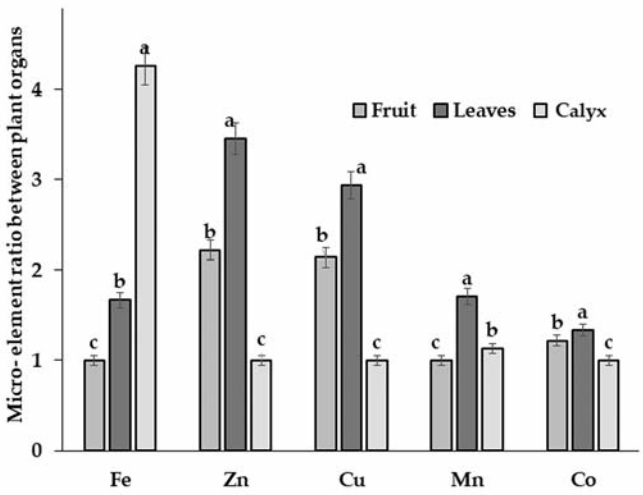


Fig. 5. Mineral distribution between fruit, leaves and calyx of P. peruviana. Within each element values with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at p<0.05
Рис. 5. Распределение элементов (Fe, Zn, Cu, Mn, Co) между плодами, листьями и чехликами плодов P. peruviana. Для каждого элемента значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при p<0.05

Table 6. Micro-element accumulation in the fruit Physalis peruviana in conditions of the Crimean southern sea shore (mg/kg d.w.)
Табица 6. Содержание микроэлементов в плодах Physalis peruviana в культуре Южного берега Крыма, мг/кг.с.в.

Organ	Fe	Zn	Cu	Mn	Co
Fruit плоды	67.8±6.0 c	11.59±0.81 b	7.77±0.73 b	5.36±0.50 b	2.11±0.19 a
Leaves Листья	113.0±10.1 b	18.03±1.20 a	10.69±0.98 a	9.17±0.82 a	2.32±0.21 a
Calyx Чехлики	288.7±25.2 a	5.21±0.49 c	3.63±0.31 c	6.05±0.55 b	1.73±0.11 b
M±SD CV (%)	156.5±116.7 74.6	11.61±6.41 55.2	7.36±3.66 48.2	6.86±2.03 29.6	2.05±0.30 14.6
Chili fruit (*) Чилийские плоды	25.7	7.13	4.28	8.08	-

(*) literature data for Atacama P. peruviana fruit [8]. Values in columns with similar letters do not differ statistically according to Duncan test at p<0.05 Литературные данные для плодов P. peruviana fruit пустыни Атакама [8]. Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно теста Дункана при p<0.05

4. Conclusions

The results of the present investigation revealed high nutritional properties of *P. peruviana* fruit grown at the southern Crimean Sea shore and showed peculiarities of Fe, Zn, Cu, Mn, and Co distribution between fruit, leaves and calyx with the predominance of Fe in the latter plant part. The Crimean climate promotes the development of *P. peruviana* as a perennial plant with high carotenoid content in fruit and high polyphenol concentrations in leaves, fruit and calyx. Comparison of different polyphenol extraction methods allowed to indicate high benefits of 70% ethanol application at 80°C using dried fruit powder. The phenomenon of global warming makes it suppose a good suitability of *P. peruviana* production at the southern Crimean Sea shore.

• References / Литература

1. Valdenegro M., Fuentes L., Herrera R., Moya-León M.A. Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and in response to 1-methylcyclopropene treatment. *Postharvest Biol. Technol.* 2012;67:110–17.

2. Etzbach L., Pfeiffer A., Weber F., Schieber A. Characterization of carotenoid profiles in goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruits at various ripening stages and in different plant tissues by HPLC-DAD-APCI-MSn. *Food Chem.* 2018;245:508-17. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.120

3. Demir T., Özen M.Ö., Hameş-Kocabaş E.E. Antioxidant and cytotoxic activity of *Physalis peruviana* Med. *Plant Res.* 2014;4 (4):30-34. https://doi.org/10.5376/mpr.2014.04.0004

4. Doğan H., Ercisli S., Jurikova T., Temim E., Leto A., Hadziabulie A., Tosum M., Narmanlioglu K, Zia-Ul-Haq M Physicochemical and antioxidant characteristics of fruits ofbcape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) from Turkey Oxid. *Commun.* 2014;37(4):1005-14.

5. Jurikova T. Physicochemical and antioxidant characteristics of fruits of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) from Turkey Oxid. Commun. 2014;37(4):1005-14.

6. Rop O., Mlcek J., Jurikova T., Valsikova M. Bioactive content and antioxidant capacity of Cape gooseberry fruit. *Cent. Eur. J. Biol.* 2012;7(4):672-79. https://doi.org/10.2478/s11535-012-0063-y

7. Albayrak B., Sőnmez I., Biyiklo M. The Determination of Nitrogen Demand of *Physalis* (*Physalis peruviana* L.) in Yalova/Turkey. *Turkish J. Agric. Nat. Sci.* 2014;(SI2):1425-28.

8. Muñoz P., Parra F., Simirgiotis M.J., Sepúlveda Chavera G.F., Parra C. Chemical Characterization, Nutritional and Bioactive Properties of *Physalis peruviana* Fruit from High Areas of the Atacama Desert. *Foods.* 2021;10(11):2699. https://doi.org/10.3390/foods10112699

9. El-Beltagi H.S., Mohamed H., Safwat G., Gamal M., Megahed B.M.H. Chemical Composition and Biological Activity of *Physalis peruviana* L. *Gesunde Pflanzen*. 2019;2:1-10. https://doi.org/10.1007/s10343-019-00456-8

10. Wu S.J., Ng L.T., Chen C.H., Lin D.G., Wang S.S., Lin C.C. Antihepatoma activity of *Physalis* angulata and *P. peruviana* extracts and their effects on apoptosis in human Hep G2 cells. *Life Sci.* 2004;74:2061-73. https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.09.058

11. Zavala D., Mauricio Q., Pelayo A., Posso M., Rojas J., Wolach V. Citotoxic effect of *Physalis peruviana* (capuli) in colon cancer and chronic myeloid leukima. *An. Fac. Med. Lima.* 2006;67:283-89.

12. Lan Y.H., Chang F.R., Pan M.J., Wu C.C., Wu S.J., Chen S.L., Wang S.S., Wu M.J., Wu Y.C. New cytotoxic withanolides from *Physalis peruviana*. *Food Chem.* 2009;116:462-69. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.061

13. Wu S.J., Chang S.P., Lin D.L., Wang S.S., Hou F.F., Ng L.T. Supercritical carbon dioxide extract of *Physalis peruviana* induced cell cycle arrest and apoptosis in human lung cancer H661 cells. *Food Chem. Toxicol.* 2009;47:1132-38. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009. 01.044

14. Olivares-Tenorio M.-L., Dekker M., Verkerk R., van Boekel M.A.J. Health-promoting compounds in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.): Review from a supply chain perspective. *Trends Food Sci. Technol.* 2016;57:83–92. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.009

15. Franco L.A., Matiz G.E., Calle J., Pinzón R., Ospina L.F. Antiinflammatory activity of extracts and fractions obtained from *Physalis peruviana* L. calyces. Biomédica. 2007;27(1):110-15.

16. Oliveira S.F., Gonзalves F.J.A., Correia P.M.R., Guin R.P.F. Physical properties of *Physalis peruviana* L. *Open Agric.* 2016;1:55-59.

17. Akbabaa U. Elements Identification in Golden Strawberries (*Physalis peruviana* L.) using Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence. *Turkish J. Agric. - Food Sci. Technol.* 2019;7(6):851-5.

18. Kumar B.M., Das A.K., Prasad B., Singh R.S., Alam I. Effect of Plant Growth Regulators on Growth and Yield Parameters in Cape-Gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Environ. Ecol.* 2017;35(2D):1546-50.

19. Kumar B.M., Prasad B., Singh R.S., Das A.K. Effect of Plant Growth Regulators on Fruit Quality in Cape Gooseberry (*Physalis peruviana*). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2018;S7:1362-66.

20. Kumar V., Singh R.S., Pal M., Patel V.B., Verma R.B., Ojha M.D. Genetic analysis of yield and yield attributing traits of cape gooseberry Genotypes. *Indian J. Hort.* 2019;76(3):395-99.

21. García-Arias F.L., Osorio-Guarín J.A., Núñez Zarantes V.M. Association Study Reveals Novel Genes Related to Yield and Quality of Fruit in Cape Gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Front. Plant Sci.* 2018;9:362. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00362

22. Shevchuk O.M., Isikov V.I., Logvinenko L.A. Metodological and metodic aspects of introduction and selection of aromatic and medicinal plants, ed. J.V. Plugatar; Simforopol: Arial, 2022 (in Russ).

23. AOAC Association Official Analytical Chemists. The Official Methods of Analysis of AOAC International; 22 'Vitamin C'.; AOAC: Rockville, MD, USA.2012.

24. Golubkina N.A., Kekina H.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Plants Antioxidants and Methods of Their Determination. Infra-M Moscow, Russia. 2020. https://doi.org/10.12737/1045420

25. Swamy P.M. Laboratory Manual on Biotechnology; Rastogi: New Delhi, India, 2008.

26. ISO 750-2013 Fruit and vegetable products. Determination of titratable acidity. Standartinform, Moscow, 2013.

27. Kidin V.V., Derugin I.P., Kobzarenko V.I. Workshop on agrochemistry, Moscow, Kolos, 2021.

28. Fischer G., Ebert G., Lüdders P. Production, seeds and carbohydrate contents of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting Colombian altitudes. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 2007;81:29-35.

29. Puente L.A., Pinto-Muñoz C.A., Castro E.S., Cortés M. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Res.* Int. 2011;44:1733–40.

30. Kumar V., Singh R.S., Pal M., Verma R.V., Ojha M.D. Studies on correlation, heritability and genetic advance in cape-goosberry (*Physalis peruviana* L.) under sub-tropical condition of Bihar. *J. Environ. Biol.* 2023;44:409-14.

31. Sharma Y.K., Singh J., Singh Y., Bhatnagar P., Katara P., Chawla H., Pareek S. Study on the performance of Cape gooseber-

ry (*Physalis peruviana* L.) genotypes in the humid zone of south-eastern Rajasthan, India. *The Pharma Innov. J.* 2023;12(7):3402-07.
32. Pereda M.S.B., Nazareno M.A., Viturro C.I. Nutritional and Antioxidant Properties of *Physalis peruviana* L. Fruits from the Argentinean Northern Andean Region. *Plant Foods Hum. Nutr.* 2019;74(1):68-75. https://doi.org/10.1007/s11130-018-0702-1
33. Obregón-La Rosa A.J., Contreras-López E., Juárez E.F., Barrón Ú.G., Muñoz A.M., Ramos-Escudero F. Nutritional and antioxidant profile of the *Physalis* fruit grown in three Andean regions of Peru. *Rocz Panstw Zakl Hig.* 2023;74(1):49-57.
34. Punithavathi V.R., Prince P.S.M., Kumar R., Selvakumari J. Antihyperglycaemic, antilipid peroxidative and antioxidant effects of gallic acid on streptozotocin induced diabetic Wistar rats. *Eur. J. Pharmacol.* 2011;650:465–71.
https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2010.08.059
35. Abdel-Moneim A., Yousef A.I., Abd El-Twab S.M., Reheim E.S.A., Ashour M.B. Gallic acid and p-coumaric acid attenuate type 2 diabetes-induced neurodegeneration in rats. *Metab. Brain Dis.* 2017;32:1279–1286. https://doi.org/10.1007/s11011-017-0039-8
36. Nawirska-Olszańska A., Stępień B., Biesiada A., Kolniak-Ostek J., Oziembłowski M. Rheological, Chemical and Physical Characteristics of Golden Berry (*Physalis peruviana* L.) after Convective and Microwave Drying. *Foods.* 2017;6:60. https://doi.org/10.3390/foods6080060
37. Yıldız G., İzli N., Ünal H., Uylaşer V. Physical and chemical characteristics of goldenberry fruit (*Physalis peruviana* L.) *J. Food Sci. Technol.* 2015;52:2320–27.
https://doi.org/10.1007/s13197-014-1280-3
38. Guiné R.P.F., Gonçalves F.J.A., Oliveira S.F., Correia P.M.R. Evaluation of Phenolic Compounds, Antioxidant Activity and Bioaccessiibility in *Physalis peruvia* L. *Int. J. Fruit Sci.* 2020;20(S2):470-90.
https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1741056
39. Golubkina N.A., Kekina H.G., Engalichev M.R., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Caruso G. Yield, quality, antioxidants and mineral nutrients of *Physalis angulata* L. and *Physalis pubescens* L. fruits as affected by genotype under organic management. *Adv.Hort.Sci.* 2018;32(4):541-48.
40. Antony A., Farid M. Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. *Appl. Sci.* 2022;12:2107.
https://doi.org/10.3390/app12042107
41. Lund M.N. Reactions of plant polyphenols in foods: Impact of molecular structure. *Trends Food Sci.Technol.* 2021;112:241–51.
https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.056
42. Wen X., Hempel J., Schweiggert R., Ni Y.-Y., Carle R. Carotenoids and Carotenoid Esters of Red and Yellow *Physalis* (*Physalis alkekengi* L. and *P. pubescens* L.) Fruits and Calyces. *J. Agric. Food Chem.* 2017;65(30):6140-51.
https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02514
43. Navarro-Hoyos M., Arnáez-Serrano E., Quirós-Fallas M.I., Vargas-Huertas F., Wilhelm-Romero K., Vásquez-Castro F., Alvarado-Corella D., Sánchez-Kopper A., Qtof-Esi M.S. Characterization and Antioxidant Activity of *Physalis peruviana* L. (Cape Gooseberry) Husks and Fruits from Costa Rica. *Molecules.* 2022;27:4238. https://doi.org/10.3390/molecules27134238
44. Bogacz-Radomska L., Harasym J. *β*-Carotene—properties and production methods. *Food Quality and Safety.* 2018;2:69–74. https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy004.
45. Feng L., Nie K., Jiang H., Fan W. Effects of lutein supplementation in age-related macular degeneration. *PLoS One.* 2019;14(12):e0227048.
https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227048
46. Hu H.X., Xu L.T., Gao H., Lv H., Huang M., Fang K.L., Wang S.Q., Zhao B.B., Ren D.M., Wang X.N., Lou H.X., Shen T. Chemical Constituents from *Physalis* Calyx seu Fructus and Their Inhibitory Effects against Oxidative Stress and Inflammatory Response. *Planta Med.* 2020;86(16):1191-1203. https://doi.org/10.1055/a-1197-7019
47. Liang Y., Liang L., Shi R., Luo R., Yue Y., Yu J., Wang X., Lin J., Zhou T., Yang M., Zhong L., Wang Y., Shu Z. Genus *Physalis* L.: A review of resources and cultivation, chemical composition, pharmacological effects and applications. *J. Ethnopharmacol.* 2024;324:117736. https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.117736

About the Authors:
Lidia A. Logvinenko – Senior Researcher,
https://orcid.org/0000-0002-0936-1895,
SPIN-code: 9469-3307, logvinenko1963@list.ru
Nadezhda A. Golubkina – Dr. Sci. (Agriculture),
Head Researcher of Laboratory-Analytical Department,
SPIN-code: 9284-3454,
https://orcid.org/0000-0003-1803-9168, Correspondence Author, segolubkina45@gmail.com
Radhey Shyam Singh – Assistant Professor-cum-Junior Scientist,
https://orcid.org/0000-0002-1918-3981, singhrscoh@gmail.com
Andrew A. Koshevarov – Researcher, zato@inbox.ru,
Oxana M. Shevchuk – Dr. Sci. (Biology), Prof., Deputy Director,
SPIN-code: 1291-2079, Oksana_shevchuk1970@mail.ru
Otilia Cristina Murariu – Dr. Sci., Prof., Department of Food Technologies,
https://orcid.org/0000-0002-9612-6198, otilia.murariu@iuls.ro
Gianluca Caruso – Dr. Sci., Prof., Department of Agricultural Sciences,
https://orcid.org/0000-0001-6981-852X, gcaruso@unina.it

Об авторах:
Лидия Алексеевна Логвиненко – научный сотрудник,
https://orcid.org/0000-0002-0936-1895,
SPIN-код: 9469-3307, logvinenko1963@list.ru
Надежда Александровна Голубкина – доктор с.-х. наук,
главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела,
SPIN-код: 9284-3454,
https://orcid.org/0000-0003-1803-9168, автор для переписки,
segolubkina45@gmail.com
Радхи Шьям Сингх – доцент,
https://orcid.org/0000-0002-1918-3981, singhrscoh@gmail.com
Андрей Александрович Кошеваров – научный сотрудник, zato@inbox.ru,
Оксана Михайловна Шевчук – доктор биол. наук, профессор,
SPIN-код: 1291-2079,
Отилия Кристина Мурариу – доктор наук, профессор,
https://orcid.org/0000-0002-9612-6198, otilia.murariu@iuls.ro
Джанлука Карузо – доктор наук, профессор,
https://orcid.org/0000-0001-6981-852X, gcaruso@unina.it

Краткое сообщение / Short communication

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-26-29
УДК: 635.153:631.526.32

В. В. Скорина*, Дэн Жуцзе

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»
213407, Могилевская обл., г. Горки, ул. Мичурина, 5

Автор для переписки: skorina@list.ru

Вклад авторов: Скорина В.В., Дэн Жуцзе: работа с литературой, проведение исследования, анализ полученных результатов, подготовка материалов, написание и редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Скорина В.В., Дэн Жуцзе. Оценка взаимосвязей между основными морфо-биологическими признаками интродуцированных сортов дайкона. *Овощи России.* 2025;(3):26-29.
https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-26-29

Поступила в редакцию: 10.04.2025
Принята к печати: 28.04.2025
Опубликована: 07.07.2025

Оценка взаимосвязей между основными морфо-биологическими признаками интродуцированных сортов дайкона

РЕЗЮМЕ
Актуальность. Интродукция новых перспективных овощных культур приобретает важное значение для расширения ассортимента и пополнения пищевого рациона населения экологически чистой продукцией. Среди овощных культур особое место занимает дайкон. До настоящего времени вопросы интродукции образцов дайкона изучены недостаточно. Поэтому изучение взаимосвязей по основным морфо-биологическим признакам у интродуцированных сортов дайкона в северо-восточной части Беларуси и их использование в селекционной работе является актуальным.
Цель исследования. Изучение взаимосвязей интродуцированных сортов дайкона по основным морфо-биологическим признакам в северо-восточной части Беларуси.
Материал и методика. Исследования проводили на опытном поле кафедры плодоовощеводства Белорусская государственная сельскохозяйственная академия в 2022–2024 годах на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Опыты были заложены с соблюдением агротехнических требований по уходу за растениями в течение всего периода наблюдений.
Результаты исследований. При создании новых сортов особое внимание уделяют взаимосвязи признаков, для выявления которых применяют статистические методы, в частности метод корреляционного анализа. Анализ и использование взаимосвязей способствуют выявлению ценного исходного материала на разных этапах онтогенеза и проведению его предварительного отбора для адресной селекции на основе оценки сопряженных селекционно-значимых признаков. В результате исследований при изучении итродуцированных сортов дайкона в 2022–2024 годах дана сравнительная оценка по основным морфо-биологическим признакам: количество листьев, длина листа и корнеплода, диаметр и масса корнеплода, урожайность. Выявлены корреляционные связи между ними, что позволило выделить перспективные сорта, способствующие ускорению селекционного процесса в поиске исходного материала.
Заключение. В результате корреляционного анализа в среднем за 2022–2024 годы установлена сильная положительная связь между признаками «масса корнеплода» и «урожайность» (r=0,974), слабая взаимосвязь между количеством листьев и длиной корнеплода (r=0,458), средняя – между длиной корнеплода и его массой (r=0,584) и урожайностью (r=0,641). Основными хозяйственно ценными признаками, оказывающими влияние на урожайность у растений дайкона, является масса и длина корнеплода.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
дайкон, интродукция, признаки, корреляция, взаимосвязь

Vladimir V. Skorina*, Deng Rujie

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»
213407, Могилевская обл., г. Горки, ул. Мичурина, 5

Correspondence Author: skorina@list.ru

Authors' Contribution: Skorina V.V. was responsible for conceptualization, scientific supervision of the study, implementation of the study, analysis of the results, writing, reviewing and editing the manuscript. Deng Rujie carried out implementation of the study, analysis of the results, writing, reviewing and editing the manuscript.

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

For citation: Skorina V.V., Deng Rujie. Evaluation of the relationships between the main morpho-biological characteris-tics of introduced daikon varieties. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):26-29. (In Russ.)
https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-26-29

Received: 10.04.2025
Accepted for publication: 28.04.2025
Published: 07.07.2025

Evaluation of the relationships between the main morpho-biological characteristics of introduced daikon varieties

ABSTRACT
Relevance. The introduction of new promising vegetable crops is of great importance for expanding the range and replenishing the population's diet with ecologically clean products. Daikon occupies a special place among vegetable crops. To date, the issues of introducing daikon samples have not been sufficiently studied. Therefore, the study of the relationships between the main morpho-biological characteristics of introduced varieties of daikon in the north-eastern part of Belarus and their use in breeding work is relevant.
The aim of the study. To study the relationships between introduced varieties of daikon according to the main morpho-biological characteristics in the north-eastern part of Belarus).
Methodology. The research was conducted on the experimental field of the Department of Fruit and Vegetable Growing of the Belarusian State Agricultural Academy in 2022–2024 on sod-podzolic medium loamy soil. The experiments were laid out in compliance with agrotechnical requirements for plant care throughout the entire observation period).
Results. When creating new varieties, special attention is paid to the relationship of characters, for the identification of which statistical methods are used, in particular, the method of correlation analysis. The analysis and use of relationships contribute to the identification of valuable source material at different stages of ontogenesis and its preliminary selection for targeted selection based on the assessment of associated selection-significant traits. As a result of research into introduced daikon varieties in 2022–2024, a comparative assessment was made of the main morpho-biological characteristics: number of leaves, length of leaf and root crop, diameter and weight of root crop, yield. Correlations between them were identified, which made it possible to identify promising varieties that contribute to accelerating the selection process in the search for source material).
Conclusion. As a result of the correlation analysis, on average for 2022–2024, a strong positive relationship was established between the characteristics “root crop weight” and “yield” (r=0,974), weak relationship between leaf number and root length (r=0,458), average - between the length of the root crop and its weight (r=0,584) and productivity (r=0,641). The main economically valuable traits that influence the yield of daikon plants are the weight and length of the root crop.
KEYWORDS:
daikon, introduction, characteristics, correlation, relationship.

Введение

Важное значение в питании человека, способствующем сохранению здоровья и продлению жизни, имеют овощи. Они богаты необходимыми для организма человека минеральными солями, углеводами, микроэлементами, фитонцидами, витаминами, позволяющими лучше переваривать и усваивать пищу. Одним из таких растений является дайкон, или японская редька. Биологические особенности дайкона, такие как нетребовательность к условиям произрастания, скороспелость, высокая и устойчивая урожайность, способствуют широкому его распространению во многих странах [1, 2].

Среди мирового разнообразия культурных растений особое место занимает дайкон. Выращивание дайкона связано с абиотическими факторами среды, которые представляют собой необходимые для жизнедеятельности растений физико-химические условия и подразделяются на климатические (свет, температура, влажность воздуха и почвы) и эдафические (механический состав почвы, обеспеченность макро- и микроэлементами, засоленность, содержание тяжелых металлов и диоксида углерода) [3].

Для пополнения коллекции новым исходным материалом особый интерес представляют страны с развитой селекцией, где многолетняя и целенаправленная работа по выведению сортов привела к созданию наиболее ценного сортового материала.

В процессе изучения коллекции в Федеральном исследовательском центре "Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова" разрабатывается ряд теоретических и методических вопросов происхождения, эволюции, экологии, систематики и классификации культурных растений, их межвидовой и внутривидовой дифференциации; закономерностей географической изменчивости и реакции на различные факторы внешней среды; генетического потенциала видов; методики селекции (в частности, создания гетерозисных гибридов); правильного размещения культур на территории страны с учетом биологических особенностей растений и агроклиматических условий [4, 5].

По мнению ряда исследователей, интродукция растений является своеобразным синтезом ботанической и сельскохозяйственной наук, и определенное участие методов и приемов селекции растений вполне объяснимо и допустимо. Далее отмечено, сама селекция растений, если она пользуется результатами интродукции растений независимых пунктов интродукции, получает импульс для своего развития, особенно в области селекции новых видов и сортов. При этом в сельскохозяйственном производстве появляются новые виды растений, в частности дайкон [6, 7, 8].

Как отмечает В.И. Некрасов (1980), наиболее перспективным способом обеспечения растущего населения планеты достаточным количеством полноценных продуктов питания может стать интродукция высокопродуктивных растений. Принято считать, что главные цели интродукции как научного направления – это разработка приемов подбора растений для переноса в иные природно-климатические условия, методов изучения реакции растений на изменяющиеся факторы внешней среды и анализа результатов испытания интродуцентов в несвойственных для них условий выращивания [9].

Среди овощных культур особое место занимает культура дайкона. Хозяйственно биологические показатели дайкона позволяют культуре занимать промежуточное положение между редисом и редькой. Корнеплоды дайкона имеют сочную, нежную мякоть. Отсутствие в мякоти специфической редечной горечи делает возможной её употребление детям и пожилым людям, не опасаясь вредного воздействия на сердце и печень.

В Беларуси научные исследования по созданию новых сортов дайкона проводятся в Республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству». Проводятся исследования по изучению исходного материала по комплексу хозяйственно полезных признаков [10, 11].

До настоящего времени вопросы интродукции образцов дайкона не изучались.

В связи с этим целью исследований являлась изучение взаимосвязей интродуцированных сортов дайкона по основным морфо-биологическим признакам в северо-восточной части Беларуси.

Материал и методика проведения исследований.

Объектами исследований являлись интродуцированные сорта дайкона.

Исследования проводили на опытном поле кафедры плодоовощеводства Белорусская государственная сельскохозяйственная академия в 2022–2024 годах на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Объектами исследований являлись сортообразцы дайкона (29 шт.), интродуцированные из Китая, а также сорта белорусской и российской селекции. Опыты были заложены с соблюдением агротехнических требований по уходу за растениями в течение всего периода наблюдений. В результате проведения исследований проводили фенологические наблюдения, морфологическое описание растений. Повторность опытов трехкратная, размещение делянок рандомизированное [12, 13].

Биохимический анализ растений проводили в химико-экологической лаборатории Белорусская государственная сельскохозяйственная академия по общепринятым методикам согласно ГОСТам.

Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б. А. Доспехову [12] на ПЭВМ IBM PC/AT с использованием пакета прикладных программ Биостат, Microsoft Excel 7.0.

Посев сортов дайкона в 2022 году проводили 16.07, в 2023 году – 19.07 и 2024 году – 22.07. Начало уборки в зависимости от года и сорта проводили с 27.09 по 09.10. Метеорологические условия в годы проведения исследований отличались по температурным показателям воздуха, количеству атмосферных осадков, что способствовало объективной оценке изучаемых сортообразцов по изучаемым признакам.

Отбор изучаемого исходного материала по фенотипическим признакам представляет большой интерес для селекционной работы. Для получения положительных результатов необходимы знания взаимосвязей этих признаков между собой.

Как отмечают исследователи, знание характера и степени корреляционной зависимости между отдельными признаками у растений позволяют проводить предварительный отбор исходного материала [13,14,15,16]. В тоже время, признаки могут изменяться и в определенной степени и зависят от условий выращивания растений. Поэтому в селекционной работе важно выявление тех взаимосвязей, которые наиболее четко выражены и стабильно проявляются в разные годы.

Качественную меру связи оценивают по абсолютному значению коэффициента (от 0 до 1). Тесноту взаимосвязи принято считать по нескольким уровням. Так, если коэффициент корреляции равен 0,99 0,7, то это сильная статистическая взаимосвязь; 0,5 0,69 – средняя; 0,2 0,49 – слабая; 0,09 0,19 – очень слабая. При коэффициенте корреляции, равном нулю, корреляция отсутствует (данные факторы между собой нейтральны).

При установлении зависимости между морфо-биологическими признаками (табл.) у интродуцированных сортов дайкона в среднем за 2022–2024 гг. отмечена достоверно сильная положительная связь между: массой корнеплода и урожайностью (r=0,974), слабая взаимосвязь между количеством листьев и длиной корнеплода (r=0,458), средняя – между длиной корнеплода и его массой (r=0,584) и урожайностью (r=0,641).

В среднем за три года очень слабая связь отмечена между количеством листьев и диаметром корнеплода (r=0,174), слабая – между признаками «количество листьев», «длина листа», «диаметр корнеплода» и изучаемыми признаками, кроме признака «диаметр корнеплода».

Основными хозяйственно ценными признаками, влияющими на урожайность, у растений дайкона является масса и длина корнеплода. Статистически достоверно установлена (таблица) в 2022 году сильная взаимосвязь между урожайностью и массой корнеплода (r=0,998). Выявлена слабая связь между признаками «длина корнеплода» и «масса корнеплода» (r=0,457), «урожайность» (r=0,460).

В 2023 году между массой корнеплода и урожайностью наблюдалась сильная связь (r=0,942), средняя между длиной и массой корнеплода (r=0,599) и урожайностью (r=0,696). Также отмечалась средняя взаимосвязь между признаком «количество листьев» и признаками «масса корнеплода» и «урожайность».

Обратная корреляционная связь в 2023 и 2024 годах установлена между длиной корнеплода и диаметром корнеплода (r=–0,211 и r=–0,179). Между признаком «количество листьев» в 2022 и 2024 годах наблюдалась слабая связь между массой корнеплода и урожайностью.

Следует отметить, что в годы исследований, сильная взаимосвязь между массой корнеплода и урожайностью сохранялась. Установлена, как в среднем за три года исследований, так и по годам средняя взаимосвязь между длиной корнеплода и признаками «масса корнеплода» и «урожайность».

Полученные данные свидетельствуют о том, что урожайность дайкона не связана с количеством листьев, длиной листа и диаметром корнеплода. В большей степени сильная взаимосвязь наблюдается между массой корнеплода и урожайностью, средняя – между длиной и массой корнеплода и урожайностью.

Также была установлена сильная обратная связь длиной корнеплода и его диаметром. Между диаметром корнеплода и количеством листьев наблюдалась слабая взаимосвязь.

Установлено, что на длину и диаметр корнеплода длина листа не оказывала существенного влияния.

Таблица. Корреляционные связи между морфо-биологическими признаками дайкона
Table. Correlation links between morphological and biological characteristics of daikon

Признаки	1	2	3	4	5	6
2022 г.						
1	1					
2	0,479	1				
3	0,202	-0,073	1			
4	0,174	-0,057	0,132	1		
5	0,292	0,333	0,457	0,156	1	
6	0,306	0,339	0,460	0,144	0,998	1
2023 г.						
Признаки	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	1					
2	0,238	1				
3	0,602	0,013	1			
4	0,121	0,507 ср	-0,211	1		
5	0,527	0,242	0,599	0,283	1	
6	0,564	0,279	0,696	0,234	0,942	1
2024 г.						
Признаки	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	1					
2	0,294	1				
3	0,620	0,125	1			
4	0,185	0,103	-0,179	1		
5	0,433	0,216	0,623	0,290	1	
6	0,477	0,234	0,689	0,268	0,981	1
2022 – 2024 гг.						
Признаки	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	1					
2	0,320	1				
3	0,458	0,037	1			
4	0,174	0,260	-0,035	1		
5	0,413	0,253	0,584	0,263	1	
6	0,445	0,275	0,641	0,240	0,974	1

Признаки: 1 – «количество листьев, шт», 2 – «длина листа, см», 3 – «длина корнеплода, см», 4 – «диаметр корнеплода, см», 5 – «масса корнеплода, г», 6 – «урожайность, т/га».

Заключение

Установлены корреляционные связи между основными морфо-биологическими признаками у сортов дайкона и выявлена между ними зависимость. В среднем за три года исследований отмечена достоверно сильная положительная связь между: массой корнеплода и урожайностью (r=0,974), слабая взаимосвязь между количеством листьев и длиной корнеплода, средняя – между длиной корнеплода и его массой и урожайностью.

Очень слабая связь отмечена между количеством листьев и диаметром корнеплода, слабая – между признаками «количество листьев», «длина листа», «диаметр корнеплода».

В результате полученных данных и их анализа следует отметить, что основными признаками, оказывающими влияние на урожайность, является длина и масса корнеплода.

• Литература

1. Степанов А.Ф., Лементович С.В. Особенности формирования урожая корнеплодов сортами и гибридами дайкона при разных сроках посева. *Вестник Омского ГАУ.* 2021;3(43):44-51.
2. Степанов А.Ф., Лементович С.В. Влияние срока посева на урожайность сортов дайкона. Материалы Всероссийской (национальная) научно-практической конференции, посвященной 100-ле-тию со дня рождения С.И. Леонтьева, 27 февр.2019 г. Омск : ФГБОУ ВО Омский ГАУ. 2019. С. 410–414.
3. Немтинов В.И. Методика селекции и семеноводства дайкона в Крыму. *Овощи России.* 2019;(2):27-30. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-27-30 https://www.elibrary.ru/sqytuz
4. Гвоздёв М.В., Жаркова С.В. Формирование показателя урожайности сортов дайкона в зависимости от срока посева. *International Journal of Humanities and Natural Sciences.* 2019;(9–1):50-53. https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11563
5. Дрёпа Е.Б., Голубь А.С., Донец И.А., Чухлебова Н.С. Интродукция сельскохозяйственных культур: метод. указания. Ставроп. гос. аграр. ун-т. Ставрополь, 2019. 32 с.
6. Бунин М.С., Сычёв С.М. Интродукция дайкона в Нечерноземье. *Картофель и овощи.* 1994;(3):24–26.
7. Бунин С.М. Дайкон – качественно новый для России овощ. *Картофель и овощи.* 1992;(5-6):10–14.
8. Лудилов В.А., Иванова М.И. Всё об овощах. М., 2010. С. 98–100.
9. Некрасов В.И. Актуальные вопросы развития теории акклиматизации растений. М., 1980.
10. Бохан А.И., Опимах В.В. Результаты оценки коллекционных сортообразцов дайкона по комплексу хозяйственно-ценнных признаков в условиях Беларуси. *Овощи России.* 2013;(3):25-27. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-3-25-27 https://www.elibrary.ru/rbjtml
11. Бохан А.И., Комар М.Г. Исходный материал для селекции дайкона в Беларуси. *Овочівництво і баштанництво.* 2007;(53):31-35.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
13. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М., 2011. 648 с.
14. Сенин И.В., Балашова Н.Н., Тимин Н.Н. Изменчивость корреляционных связей между количественными признаками семенников и пыльцы моркови. *Сельскохозяйственная биология.* 1996;(3):40–44.
15. Кочина Т.М. Наследуемость и коэффициенты корреляции фенотипических признаков чеснока сорта Старобельский местный. *Овощеводство и бахчеводство.* 1986;(3):40–43.
16. Skorina V.V., Deng Rujie. Biochemical composition of introduced daikon samples under the conditions of northeastern Belarus. Development of Horticulture, Viticulture, and Vegetable Growing Using Modern Cultivation Technologies: Proc. Int. Sci.-Pract. Conf., Dushanbe, 2024. Pp. 262–265.

•References

1. Stepanov, A.F., Lementovich S.V. Features of the formation of the yield of root crops by varieties and hybrids of daikon at different sowing times. *Bulletin of Omsk State Agrarian University.* 2021;3(43):44-51. (In Russ.)
2. Stepanov A.F., Lementovich S.V. Influence of sowing time on the yield of daikon varieties. Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of S.I. Leontiev, February 27, 2019. Omsk: FGBOU VO Omsk SAU. 2019. P. 410-414. (In Russ.)
3. Nemtinov V.I. Methods of daikon breeding and seed production in the Crimea. *Vegetable crops of Russia.* 2019;(2):27-30. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-27-30 https://www.elibrary.ru/sqytuz
4. Gvozdyov M.V., S. V. Zharkova Formation of the yield index of daikon varieties depending on the sowing time. *International Journal of Humanities and Natural Sciences.* 2019;(9–1):50-53. https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11563
5. Dryopa E.B., Golub A.S., Donets I.A., Chukhlebova N.S. Introduction of agricultural crops: methodological guidelines. Stavropol State Agrarian University. Stavropol, 2019. 32 p. (In Russ.)
6. Bunin M.S., Sychev S.M. Introduction of daikon in the Non-Chernozem Zone. *Potato and Vegetables.* 1994;(3):24–26. (In Russ.)
7. Bunin, S. M. Daikon – a qualitatively new vegetable for Russia. *Potato and Vegetables.* – 1994;(3):24–26. (In Russ.)
8. Ludilov V.A., Ivanova M.I. All About Vegetables. Moscow, 2010. Pp. 98–100. (In Russ.)
8. Nekrasov V.I. Current issues in the development of plant acclimatization theory. Moscow, 1980. (In Russ.)
10. Bochan A.I., Opimach V.V. Estimation of the collection varieties of daikon for the complex of the agronomical valuable traits in condition of Belorussia. *Vegetable crops of Russia.* 2013;(3):25-27. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-3-25-27 https://www.elibrary.ru/rbjtml
11. Bokhan A.I., Komar M.G. Source material for daikon breeding in Belarus. *Vegetable and Melon Growing.* 2007;(53):31-35. (In Russ.)
12. Dospekhov B.A. Field Experiment Methodology (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russ.)
13. Litvinov S.S. Field Experiment Methodology in Vegetable Growing. Moscow, 2011. 648 p. (In Russ.)
14. Senin I.V., Balashova N.N., Timin N.N. Variability of correlation relationships between quantitative traits of carrot seed plants and pollen. *Agricultural Biology.* 1996;(3):40–44. (In Russ.)
15. Kochina T.M. Heritability and correlation coefficients of phenotypic traits in garlic of the Starobelsky Local variety. *Vegetable and Melon Growing.* 1996;(3):40–44. (In Russ.)
16. Skorina V.V., Deng Rujie. Biochemical composition of introduced daikon samples under the conditions of northeastern Belarus. Development of Horticulture, Viticulture, and Vegetable Growing Using Modern Cultivation Technologies: Proc. Int. Sci.-Pract. Conf., Dushanbe, 2024. Pp. 262–265.

Об авторах:

Владимир Владимирович Скорина – доктор с.-х. наук, профессор кафедры плодоовощеводства Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, https://orcid.org/0000-0001-6671-6667, SPIN-код: 1772-1712, skorina@list.ru

Дэн Жуцзе – аспирант кафедры плодоовощеводства Белорусской государственной сельскохозяйственной академии

About the Authors:

Vladimir V. Skorina – Dr. Sci. (Agriculture), Professor at the Department of Fruit and Vegetable Growing, Belarusian State Agricultural Academy, https://orcid.org/0000-0001-6671-6667, SPIN-code: 1772-1712, skorina@list.ru

Deng Rujie – Postgraduate Student at the Department of Fruit and Vegetable Growing, Belarusian State Agricultural Academy

Обзор / Review

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-30-37
УДК: 635.25/.26:061

М.И. Иванова*, А.В. Поляков, А.И. Кашлева

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

***Corresponding Author:** ivanova_170@mail.ru

Вклад авторов: Поляков А.В.: концептуализация, методология, верификация данных, создание рукописи и её редактирование, формальный анализ. Иванова М.И.: руководство исследованием, концептуализация, методология, редактирование рукописи. Кашлева А.И.: концептуализация, верификация данных, редактирование рукописи, формальный анализ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванова М.И., Поляков А.В., Кашлева А.И. Генетические ресурсы некоторых представителей рода *Allium* L. *Овощи России.* 2025;(3):30-37. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-30-37

Поступила в редакцию: 18.04.2025
Принята к печати: 28.04.2025
Опубликована: 07.07.2025

Генетические ресурсы некоторых представителей рода *Allium* L.

РЕЗЮМЕ

С древних времен виды рода *Allium* играли значительную роль в рационе человека, в традиционной медицине для лечения многих заболеваний и в официальной медицине в качестве сырья, а также лекарственных и профилактических средств. Фитохимические вещества, такие как сероорганические соединения, фенольные соединения, жирные кислоты и сапонины, связаны с антиоксидантными и противомикробными свойствами этих видов, среди многих других биологически активных веществ. Все части растения, включая луковицу, лист, псевдостебель, корень, цветок и семя, проявляют антиоксидантные свойства в анализах, проведенных в условиях *in vitro*. Характерные фитосоединения, которые способствуют противомикробной активности луковых культур, включают аллицин, аджоен, аллиловый спирт и некоторые диаллилсульфиды. Наночастицы, синтезированные с использованием видов *Allium*, также известны своими заметными противомикробными свойствами. Виды рода *Allium* являются продуктом с высокой пищевой ценностью, а благодаря вторичным метаболитам его также используют для защиты растений с помощью различных продуктов, созданных на основе его биологически активных компонентов. Представители рода *Allium* ценятся за их уникальный макроэлементный состав и используются в качестве популярных овощей и специй. В Российской Федерации существует значительное биологическое и морфологическое разнообразие культурных и диких видов лука. За последние несколько лет во ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО проведена обширная программа сбора и исследования представителей рода *Allium*. Установлена высокая морфологическая и биохимическая изменчивость изучаемых видов, что может быть использовано в селекционных программах и при выращивании сортов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

***Allium*, генетические ресурсы, исследования, образцы, клоны, сорта**

Maria I. Ivanova*, Alexey V. Polyakov, Anna I. Kashleva

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

***Corresponding Author:** ivanova_170@mail.ru

Authors' Contribution: Polyakov A.V.: conceptualization, methodology, data verification, manuscript preparation and editing, formal analysis. Ivanova M.I.: study management, conceptualization, methodology, manuscript editing. Kashleva A.I.: conceptualization, data verification, manuscript editing, formal analysis.

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

For citation: Ivanova M.I., Polyakov A.V., Kashleva A.I. Genetic resources of some representatives of the genus *Allium* L. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):30-37. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-30-37

Received: 18.04.2025
Accepted for publication: 28.04.2025
Published: 07.07.2025

Genetic resources of some representatives *of the genus Allium* L.

ABSTRACT

Since ancient times, species of the genus *Allium* have played a significant role in the human diet, in traditional medicine for the treatment of many diseases and in official medicine as raw materials, as well as medicinal and prophylactic agents. Phytochemicals such as organosulfur compounds, phenolic compounds, fatty acids and saponins are associated with the antioxidant and antimicrobial properties of these species, among many other biologically active substances. All parts of the plant, including the bulb, leaf, pseudostem, root, flower and seed, exhibit antioxidant properties in *in vitro* assays. Characteristic phytocompounds that contribute to the antimicrobial activity of onion crops include allicin, ajoene, allyl alcohol and some diallyl sulfides. Nanoparticles synthesized using *Allium* species are also known for their notable antimicrobial properties. *Allium* species are a product with high nutritional value, and due to secondary metabolites, it is also used to protect plants with various products created on the basis of its biologically active components. *Allium* species are valued for their unique macroelement composition and are used as popular vegetables and spices. In the Russian Federation, there is significant biological and morphological diversity of cultivated and wild onion species. Over the past few years, an extensive program of collecting and studying *Allium* species has been carried out at VNIIO – a branch of the FSBSI Federal Scientific Vegetable Center. High morphological and biochemical variability of the studied species has been established, which can be used in breeding programs and when growing varieties.

KEYWORDS:

***Allium*, genetic resources, research, samples, clones, varieties.**

Введение

Представители видов *Allium* считаются древнейшими культурными растениями, о чем свидетельствуют иллюстрации, которым более 5000 лет, найденные в Египте. В частности, на иллюстрациях показаны модели луковиц лука репчатого и чеснока, которые, как предполагается, являются первыми окультуренными видами этого рода [1,2]. Информация о том, что их использование в питании человека сохраняется и по сей день, свидетельствуют размеры территорий, на которых выращивают эти виды, а также количество научных работ, в которых эти растения описаны и исследованы.

Помимо орхидей, *Allium* L. (Amaryllidaceae J.St.-Hil.: Allioideae Herb.) – один из крупнейших родов однодольных растений, насчитывающий в настоящее время более 1000 признанных видов [3-6], в основном распространенных по всему Северному полушарию [6]. Только один вид (*A. dregeanum*) был идентифицирован в южном полушарии (Южная Африка) [7]. Ключевые центры биоразнообразия расположены в засушливых и субаридных регионах Юго-Западной и Центральной Азии, занимая районы Средиземноморья, простирающиеся до запада Малой Азии. Другой значительно меньший центр находится в западной части Северной Америки [6-8]. Растения данного рода предпочтительно произрастают в засушливом климате и хорошо себя чувствуют на открытых, сухих и солнечных участках. Они редко встречаются в густой растительности и признаны слабыми конкурентами сорнякам. Только в горах Тянь-Шаня, отличающихся высоким уровнем эндемизма, в число 16 крупнейших родов включен род *Allium* с 56 тянь-шаньскими эндемиками [10].

Огромные морфологические, цитологические и генетические вариабельности отражены в сложной таксономической структуре рода, состоящего из 15 подродов и 72 секций [1,11]. По оценкам, около 650 видов имеют несколько названий-синонимов. За последние 10 лет было описано более 10 новых секций. Все последующие филогенетические исследования рода *Allium* подтвердили три эволюционные линии в роде, включая монофилетическое происхождение всех подродов в первой и второй эволюционных линиях [6,8,9,12,11-15]. Филогенетические отношения в третьей (самой молодой) линии менее ясны. Согласно последним исследованиям, многие подроды в третьей линии не являются монофилетическими. В основном это касается подродов Allium, Cepa (Mill.) Radić, Reticulatobulbosa (Kamelin) N. Friesen, Rhizirideum (G. Don ex Koch) Wendelbo и Polyprason Radić [6,8,12,13,16].

Более 50 видов *Allium* широко выращивают по всему миру или локально в качестве культурных растений. Кроме того, очень многие дикорастущие виды собирают местные жители в природе для использования в качестве овощей, в лекарственных целях или в качестве декоративных растений [17]. По данным FAOSTAT, крупнейшими производителями видов *Allium* были Китай (23 659 708 т лука репчатого и 20 712 087 т чеснока) и Индия (26 738 000 т лука репчатого и 2 907 000 т чеснока) [18].

Род *Allium* имеет важное экономическое значение, поскольку растения многих из его видов съедобны и ценятся за использование в качестве овощных культур, специй или лекарственных растений. Среди этих видов лук репчатый (*A. cepa*) является наиболее употребляемым из-за его широкого использования в качестве основной приправы к разнообразным блюдам. Другие важные виды с точки зрения питания и экономики включают *A. sativum, A. ampeloprasum, A. fistulosum, A. tuberosum* и *A. schoenoprasum.* Съедобные части этих видов являются богатыми источниками углеводов, включая фруктозу и глюкозу. Внешняя чешуя луковицы содержит значительное количество арабинозы и галактозы, некоторые незаменимые аминокислоты, такие как глутаминовая кислота и аргинин, являются важными резерваторами азота. Другие сложные биологически активные соединения включают сапонины, витамины (A, C, B_6 и B_9) и незаменимые элементы, такие как фосфор, калий, кальций, магний, цинк, марганец, натрий, железо, селен и медь [19,20]. Хорошо известно, что биологически активные вещества, такие как фенольные соединения, фитостеролы и жирные кислоты, являются неотъемлемой частью многих растений, и они привлекли большое внимание исследователей из-за их пользы для здоровья человека. Многие исследования показали фармакологические свойства видов *Allium*, включая антимикробную, противовоспалительную, противоопухолевую, противовирусную и антиоксидантную активность, которые связаны с упомянутыми фитохимическими соединениями [21-26].

Морфологические характеристики видов *Allium*

Растения этого рода характеризуются луковицами, заключенными в перепончатые, волокнистые или сетчатые оболочки, свободными или сросшимися в основании чашелистиками [11]. Луковицы лука обладают следующими морфологическими характеристиками: подземные части (настоящий стебель, структура луковицы, псевдостебель), лист, цветоножка, цветок, соцветие, плод и семя. Хотя виды *Allium* имеют много схожих характеристик, каждый вид также обладает своими уникальными морфологическими особенностями. Это — двулетние или многолетние растения с корневищами, луковицами или раздутыми корнями в качестве органов хранения питательных веществ. Луковица состоит из настоящего стебля, известного как прикорневая пластинка, свежих утолщенных листьев, сухих листьев, покрытых оболочкой, и почек, из которых развивается цветонос. Луковицы выглядят одиночными (настоящая луковица — лук репчатый или псевдолуковица — лук-порей) или собранными в группы (луковица содержит несколько плотно уложенных зубков, расположенных на прикорневой пластинке — чеснок). Некоторые виды образуют маленькие луковички, известные как дочерние луковицы, которые могут быть использованы в качестве материала для размножения, расположенные вокруг старых луковиц. Листья разной формы (трубчатые у лука репчатого / плоские у чеснока). Основная часть листьев образует псевдостебель. Соцветия зонтиковидные или головчатые, расположены на верхушке безлистного цветоноса. Молодые соцветия покрыты обертками. Цветки содержат шесть свободных или почти свободных листочков околоцветника, расположенных в двух мутовках; тычинок шесть, которые также расположенных в двух мутовках, иногда соединенных базально; завязь трехгнездная, верхняя. Некоторые виды могут образовывать луковички вместо всех или части цветков в соцветиях, которые можно использовать в качестве материала для размножения. Плоды представляют собой капсулы; семена черные, ромбовидной или сфероидальной формы [1].

Сохранение генетических ресурсов видов *Allium*

Сохранение генетических ресурсов растений, как диких, так и культивируемых, является важной задачей для уче-

ных, поскольку оно представляет и обеспечивает устойчивость будущего производства продовольствия, продовольственной безопасности и экономической стабильности, особенно в условиях текущих изменений климата и роста населения.

Генетические ресурсы растений рассматриваются как ценный источник репродуктивного материала растений для производства продуктов питания, сельского хозяйства, селекции растений, научных исследований и других целей, связанных с пищевой цепочкой. В основном они сохраняются в банках семян или в виде полевых коллекций, но используются и другие методы. Растения, которые преимущественно размножаются клонально или вегетативно, либо не дают семян (чеснок), либо семена не приводят к настоящему типу (лук репчатый, лук-шалот). Сохранение их зародышевой плазмы необходимо, но трудоемко и в основном ограничивается полевыми коллекциями *ex situ* или методами *in vitro* и криоконсервации, доступными для некоторых видов [27]. Полевые генные банки международного, национального, регионального или местного значения в настоящее время хранят около 400 000 образцов, а большая часть клонального растительного материала хранится в полевых коллекциях *ex situ* [28].

Коллекции зародышевой плазмы являются источником разнообразия, важного для селекционных программ. Для вегетативно размножаемых видов, таких как чеснок, лук-шалот и другие виды *Allium*, характеристика коллекций зародышевой плазмы на основе их морфологии и фитохимического состава важна для идентификации и отбора клонов с превосходными агрономическими, биологическими и полезными для здоровья признаками [29,30]. Считается, что вариации между вегетативно размножаемыми культурами происходят за счет случайных мутаций и адаптации к различным местам производства [31]. Местный растительный материал может иметь особые свойства в результате адаптации к местным агроэкологическим условиям [32,33], а сохранение такого материала может увеличить биоразнообразие коллекций. Поэтому важно собирать, оценивать и сохранять такие уникальные образцы, чтобы не допустить их быстрой утраты [32].

Современное сельское хозяйство предпочитает монокультуры и использует лишь небольшую часть доступных видов и сортов. Многие локальные местные сорта были заменены более урожайными сортами за счет адаптивности к окружающей среде и разнообразия зародышевой плазмы. По оценкам, потеря местных сортов и экотипов составляет 75% от общего генетического разнообразия растений, а исчезновение разнообразия фермерских местных сортов достигает 90% [27].

В последние годы прилагаются усилия по идентификации и описанию местных сортов для сохранения генетической структуры от эрозии, а также для защиты местных агрономических производственных систем с помощью междисциплинарного сельскохозяйственного, биологического и химического подхода [34-36]. Многие местные сорта овощей хорошо адаптированы к климату, устойчивы и богаты полезными биологически активными соединениями, исторически используются и доступны фермерам и потребителям, а также являются полезным товаром для местного рынка органических продуктов питания. Окультуренные сорта, местные сорта, экотипы или представители дикой флоры вызывают все больший интерес как с экономической, так и с точки зрения питания. Таким образом, оценка генетического разнообразия растений является основой сельскохозяйственных исследований, селекционных программ и улучшения сельскохозяйственных культур [37,38].

Российская Федерация является одной из богатейших стран с точки зрения биоразнообразия: в общей сложности насчитывается 2700 различных эндемичных видов и подвидов из 20 тыс. обнаруженных видов растений. По данным базы данных генетических ресурсов растений ВИР, на текущий момент в семенных генных банках и полевых коллекциях *ex situ* хранится более чем 320 тыс. образцов (более 2 тыс. видов) культурных и дикорастущих растений [39]. Как правило, в институциональных коллекциях имеется большее количество образцов; однако база данных обновляется только после детального морфологического описания образцов. 100-летняя российская всемирная коллекция генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, хранящаяся в ВИР, включает более 52500 образцов зародышевой плазмы разного статуса из 98 стран, принадлежащих к 31 ботаническому семейству, 148 родам, 610 видам. Наиболее широко представлены семейства Тыквенные (26,4%), Пасленовые (20,4%), Крестоцветные (14,5%), Зонтичные (11,5%), Амарантовые (7,2%), Астровые (5,7%). Уникальность коллекции ВИР составляет 30-80%. Паспортная база данных включает все образцы коллекций [40].

Хорошо известно, что в Российской Федерации присутствует значительное биологическое и морфологическое разнообразие культурных и диких видов *Allium*. Во флоре России насчитывается около 200 видов рода *Allium* L., однако только 15 видов нашли широкое применение в практике сельского хозяйства и включены в селекционный процесс. К наиболее распространенным в культуре видам относятся луки репчатый и чеснок, порей, шалот, батун, шнитт, слизун, душистый [41]. В результате совместной работы ученых ФГБНУ ФНЦО и ВИР в период с 2010 по 2021 годы заложены коллекционные питомники луковых культур различного эколого-географического происхождения: 500 коллекционных образцов чеснока озимого, 350 – луков многолетних, 125 – порея, а также 110 сортообразцов шалота, 50 – чеснока ярового и 10 – лука пресночного (рокамболя), ставшие основой для проведения разноплановых научных исследований [42].

Во ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО в последние несколько лет были проведены тщательные исследования по характеристике зародышевой плазмы чеснока и представителей *Allium*. В настоящее время он состоит из 221 российских и зарубежных образцов чеснока озимого и 18 – чеснока ярового, 86 видов других представителей *Allium*. Созданы и включены в Государственный Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ, сорта чеснока озимого Гладиатор, Император, чеснока ярового сорт Гиппократ, лука алтынкольского сорт Золотой стандарт, лука Ошанина сорт Персей.

Чеснок

За период с 2014 по 2024 годы во ВНИИО – филиале ФГБНУ ФНЦО изучено 221 образец чеснока озимого и 18 образцов чеснока ярового преимущественно отечественного происхождения по комплексу хозяйственно ценных признаков (табл.1).

Таблица 1. Образцы чеснока, изученные в коллекции во ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО за период 2014-2024 годы
Table 1. Garlic samples studied in the collection at VNIIO – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center of Garlic for the period 2014-2024

Форма чеснока Garlic shape	Происхождение Origin	Число образцов Number of samples
Чеснок озимый	Российская Федерация	138
	Китайская Народная Республика	18
	Белоруссия	12
	Казахстан	11
	Узбекистан	10
	Южная Корея	6
	Сербия	5
	Египет	4
	Азербайджан	4
	Турция	3
	Соединенные Штаты Америки	3
	Израиль	3
	Тайланд	3
	Италия	1
Чеснок яровой	Российская Федерация	17
	Испания	1

Большую часть этой коллекции составляют образцы, приобретенные у частников, представляющие собой местные формы и образцы, приобретенные в розничной сети, представляющие собой, в большинстве случаев, коммерческие сорта.

Отмечено, что, как правило, завезенные из других мест образцы уступают по урожайности сортам и клонам чеснока, выращиваемых в данных условиях в течение нескольких лет. В связи с этим для объективной оценки образцов необходимо проводить отборы лучших луковиц и изучать их в течение не менее двух лет. Однако существуют и исключения. Так, образец 19 ххх и сорт Любаша проявили высокую пластичность и были стабильно продуктивны, начиная с первого года исследования.

Отмечена повышенная зараженность образцов различными фитопатогенами, полученных из Китайской Народной Республики и южных регионов нашей страны. Выделено 3 образца чеснока озимого с повышенной устойчивостью к фитопатогенным грибам.

Все исследованные образцы, полученные из Китайской Народной Республики, Казахстана, Узбекистана, Южной Кореи, Сербии, Египта, Израиля, Соединенных Штатов Америки, Турции, Испании характеризовались острым вкусом. Все образцы, полученные из Таиланда, пять образцов из Российской Федерации и один образец из Белоруссии характеризовались полуострым вкусом.

Большинство образцов характеризовались пожелтением кончиков листьев в период вегетации. Лишь у 5 образцов это явление не проявилось. Среди них 3 образца имели российское происхождение, 1 – из Казахстана и 1 – из Азербайджана.

Для исследования способности чеснока аккумулировать германий в естественных условиях использовали 24 образца, выращенных в равнинных условиях Воронежской (1 образец), Московской (9 образцов), Тверской областях (9 образцов) и в горных условиях провинции Шаньдун, КНР (1 образец), Карачаево-Черкессии (2 образца), Горного Алтая (2 образца). Среди изученных было 19 образцов чеснока озимого и 5 образцов чеснока ярового. Результаты наших исследований показали, что содержание германия в луковицах большинства образцов чеснока, выращенных в различных эколого-географических условиях, было очень низким и составляло менее 4,2 мкг/кг. Различия по содержанию германия между образцами чеснока ярового и озимого не обнаружены. Только в одном из образцов, выращенном в Карачаево-Черкессии, содержание германия составляло 5,0 мкг/кг. При этом из литературных источников известно, что содержание германия в чесноке может составлять до 2780 мкг/кг [43].

Коллекции *in vitro* или культура тканей растений способствуют сохранению генетических ресурсов. Наибольшую ценность представляют эмбриокультура и культура апикальных меристем побегов, а при использовании форм чеснока стрелкующегося – культура воздушных луковичек, изолированных из соцветий в момент выхода из пазухи верхнего листа. Именно эти технологии, при соблюдении определенных правил, обеспечивают генетическую стабильность получаемых растений регенерантов, отсутствие инфекций и размножение исходного материала [27,44]. Дополнительные преимущества коллекций чеснока *in vitro* включают не только компактность хранения, меньшие требования к пространству, но и возможность размножения в любое время года, безопасность обмена материалом. Использование пониженных температур (0…+2°С), сред с пониженным содержанием питательных веществ и, особенно, сахарозы позволяют в течение 6-12 месяцев без пересадки поддерживать растительный материал [45].

Луки многолетние

Эволюционировав в различных экологических нишах, дикие родственники лука репчатого часто демонстрируют адаптацию к конкретным условиям окружающей среды: устойчивость к болезням и толерантность к стрессорам окружающей среды, свойства, которые могут отсутствовать у культивируемых сортов [46]. Эти признаки могут быть включены в программы селекции для повышения адаптивности и устойчивости культивируемого лука репчатого [47]. Например, некоторые дикие виды лука, такие как *A. asarense, A. roylei, A. galantum, A. oschaninii, A. turkestanicum, A. pskemense, A. altaicum, A. farctum, A. praemixtum, A. rhabdotum, A. vavilovii* демонстрируют устойчивость к суровым условиям, таким как засуха, экстремальные температуры или плохая почва [48]. Филогенетические исследования показали, что *A. vavilovii* является наиболее близким диким родственником лука репчатого [49,50]. Изучая скрещиваемость и интегрируя адаптивные признаки этих диких родственников, селекционеры могут создавать сорта лука репчатого, лучше приспособленные к стрессовым условиям выращивания [51]. Наличие генетического разнообразия у диких родственников способствует расширению генофонда, доступного для программ селекции лука репчатого [52]. Введение генов этих диких родственников может улучшить такие характеристики, как устойчивость к болезням, питательные качества и вкус [53]. Эти генетические ресурсы могут способствовать выведению улучшенных сортов лука репчатого, отвечающих конкретным потребностям потребителей и рынка, а также решению возникающих проблем в выращивании лука репчатого.

Полевые генные банки представляют собой важный метод сохранения видов *Allium*, которые формируют тугорослые семена или размножаются вегетативным путем. Семена этих категорий видов обычно не подлежат сохранению; скорее, они сохраняются как живые растения в полевых генных банках. Этот метод предполагает выращивание и содержание живых растений на выбранных территориях [54]. Полевые генные банки могут содержать широкий спектр образцов, включая диких родственников и местные сорта, сохраняя зародышевую плазму в естественных условиях выращивания. Это позволяет сохранять, характеризовать и оценивать интересные признаки в конкретных условиях окружающей среды. Такие коллекции требуют постоянного управления и мониторинга для обеспечения выживания и целостности растений. Например, Генный банк Института генетики растений и исследований сельскохозяйственных растений им. Лейбница (IPK) в Гатерслебене, Германия, который хранит одну из крупнейших в мире зародышевой плазмы *Allium*, имеет более 2000 образцов, которые постоянно хранятся в их полевом генном банке [44]. Также в полевом генбанке региональных станций находятся вегетативно размножаемые виды *Allium*, в том числе те, которые отнесены к редким, исчезающим и находящимся под угрозой исчезновения [55]. Хотя сохранение генетических ресурсов в условиях полевого генного банка требует адекватных мер безопасности и устойчивости, этот метод полезен с точки зрения характеристики и оценки, которые можно легко провести на укоренившихся растениях.

Сохранение, каталогизация и использование зародышевой плазмы *Allium* — это совместная работа ряда учреждений, организаций и частных лиц по всему миру [56]. Независимо от того, осуществляются ли эти усилия национальными или международными хранилищами, основная цель остается той же: сохранить и использовать присущее *Allium* генетическое разнообразие для текущих и будущих исследований, селекции и выращивания [57]. Национальные хранилища обычно сосредоточены на сохранении генетических ресурсов, обнаруженных в их странах. Они часто содержат большое разнообразие образцов *Allium*, уникальных для своих регионов, тем самым сохраняя генетическое разнообразие сортов внутри страны [58]. Эти хранилища служат важнейшим ресурсом для отечественных селекционных и исследовательских программ. Международные репозитории сыграли важную роль в содействии обмену и совместному использованию разнообразных генетических ресурсов между странами [59]. Под управлением международных, региональных и национальных сельскохозяйственных учреждений, таких как центры CGIAR (Консультативная группа по международным сельскохозяйственным исследованиям), разнообразные образцы *Allium* были получены из разных географических регионов [59].

С целью детальной оценки собранных образцов на морфологическом и биохимическом уровнях используются различные инструменты. Эти мероприятия могут иметь решающее значение для систематизации, характеристики и дальнейших исследований образцов из коллекции, что в конечном итоге приведет к созданию сортов с улучшенными агрономическими показателями. Поскольку сохранение генетического разнообразия местных экотипов и традиционных сортов становится все более важным в глобальном масштабе, коллекция *Allium* в Институте постоянно расширяется.

Все многообразие дикорастущих видов луков остается невостребованным современной медициной, что, по-видимому, обусловлено слабой изученностью их химического состава. В условиях Московской области в группе исследованных луковых культур содержание сухих веществ варьировало от 8,6 (*A. leucocephalum*) до 19,3 (*A. narcissiflorum*), в среднем – 23,6± 2,9%; нитратов – от 110 (*A. ramosum*) до 256 (*A. tuberosum*), в среднем – 175,3±37,5 мг/кг сырой массы; моносахаров – от 2,6 (*A. oschaninii, A. altyncolicum, A. ledebourianum*) до 4,2 (*A. ascalonicum, A. ramosum, A. cyrilli*), в среднем – 3,3±0,6 % сырой массы; аскорбиновой кислоты – от 119,2 (*A. pskemense*) до 133,5 (*A. suworowii*), в среднем – 126,0±4,1 мг% сырой массы; хлорофилла от 138 (*A. pskemense*) до 289 (*A. gultschense, A. ascalonicum*) мг/100 г сухой массы, в среднем – 219,1±46,8 мг%; каротина – от 14,5 (*A. pskemense*) до 33,1 (*A. barsczewskii*), в среднем – 24,2±4,9 мг/кг сырой массы; гидроксикоричных кислот – от 169,8 ×10-3 (*A. oliganthum*) до 185,0×10-3 (*A. sewerzowii*), в среднем – 174,4±3,9 ×10-3% сухой массы; флавоноидов – от 289,8×10-3 (*A. oliganthum*) до 311,3×10-3 (*A. sewerzowii*), в среднем – 296,0±5,0×10-3% сухой массы (табл. 2) [60].

Оценивали биохимические показатели съедобных цветков 5 видов *Allium* L. из 3 подродов и 5 секций из биоколлекции ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО. В группе исследованных луковых культур содержание сухих веществ варьировало от 11,67 (*A. suaveolens*) до 13,22 (*A. cernuum*), в среднем – 12,23±0,60 %; суммы каротиноидов – от 21,03 (*A. globosum*) до 27,01 (*A. rotundum*), в среднем – 24,21±2,76 мг%; флавоноидов – от 0,29 (*A. globosum* и *A. suaveolens*) до 0,33 (*A. rotundum* и *A. carinatum*), в среднем – 0,31±0,02 %. Съедобные цветки *Allium* хорошо воспринимаются потребителями, что может облегчить их использование для приготовления функциональных пищевых продуктов и может способствовать экономическому развитию страны за счет определения новой ниши на рынке [61].

Исследованных представителей рода *Allium* L. можно рассматривать как потенциальные источники биологически активных соединений. Будущие исследования должны быть сосредоточены на биоактивных свойствах конкретных соединений, содержащихся в съедобных цветах, а также на их биодоступности после домашних кулинарных процессов.

Таблица 2. Биохимические показатели представителей рода Allium L. пищевого направления из биоколлекции ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО (2016–2017 годы) [60]
Table 2. Biochemical parameters of representatives of the genus Allium L. of food origin from the biocollection of VNIIO – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center of Oncology (2016–2017) [60]

Вид	Сухое вещество, %	Нитраты, мг/кг сырой массы	Моносахара, % (сырая масса)	Аскорбиновая кислота, мг% (сырая масса)	Хлорофилл, мг/100 г (сухая масса)	Каротин, мг/кг (сырая масса)	Гидроксикоричные кислоты, 10^{-3}% (сухая масса)	Флавоноиды, 10^{-3}% (сухая масса)
A. ascalonicum L.	15,3	194	4,2	129,1	289	30,1	170,0	290,4
A. barsczewskii Lipsky	11,9	245	4,1	129,7	236	33,1	173,6	294,2
A. leucocephalum Turcz. ex Vved.	8,6	234	3,5	129,5	212	19,2	177,7	300,8
A. lineare L.	9,01	190	2,9	127,5	212	29,5	177,3	298,7
A. suaveolens Jacq.	18,9	167	3,9	127,5	267	32,7	176,9	301,7
A. hymenorrhizum Ledeb.	14,4	220	3,1	127,9	235	28,3	178,8	300,4
A. obliquum L.	15,7	117	3,8	128,4	198	23,4	180,9	306,2
A. altaicum Pall.	11,6	111	3,8	122,6	139	19,9	172,5	293,6
A. fistulosum L.	17,3	111	2,8	127,9	197	24,4	172,4	293,2
A. galanthum Kar. & Kir.	12,8	215	3,4	124,8	283	29,1	172,3	294,1
A. oschaninii O. Fedtsch.	13,9	178	2,6	122,9	146	16,8	172,6	302,5
A. pskemense B. Fedtsch.	11,7	170	2,7	119,2	138	14,5	172,2	292,9
A. altyncolicum N. Friesen	17,9	169	2,6	128,8	252	23,7	174,0	295,2
A. ledebourianum Schult. & chult.	9,3	237	2,6	121,1	233	21,2	170,6	293,8
A. oliganthum Kar. & Kir.	11,9	187	2,7	122,4	218	19,6	169,8	289,8
A. schoenoprasum L.	13,6	200	2,8	123,6	204	18,4	173,0	294,6
A. ramosum L.	14,5	110	4,2	119,4	157	18,6	180,1	304,5
A. tuberosum Rottler ex Spreng	12,4	256	2,9	133,4	254	31,7	176,7	294,2
A. narcissiflorum Vill.	19,3	139	2,9	128,7	167	19,4	171,8	292,9
A. chyatophorum Bureau & Franch	17,8	227	3,2	125,5	250	26,5	171,4	291,2
A. gultschense O. Fedtsch.	10,1	158	2,9	130,4	289	19,4	172,2	293,8
A. sewerzowii Regel	14,1	170	3,9	122,8	213	23,8	185,0	311,3
A. aflatunense B. Fedtsch.	12,9	187	3,1	130,8	287	24,2	181,6	298,5
A. libani Boiss.	8,6	145	2,7	119,4	159	20,1	170,8	291,2
A. cyrilli Ten.	10,9	189	4,2	127,9	147	24,5	172,8	294,1
A. altissimum Regel	12,6	162	2,8	126,5	248	27,6	174,9	296,9
A. komarowii Lipsky	12,9	175	2,9	129,8	256	25,8	171,4	291,2
A. suworowii Regel	13,7	151	3,8	133,5	261	28,9	181,3	298,6
A. chamaemoly L.	12,8	146	3,8	123,7	258	22,4	173,3	294,6
A. angulosum L.	12,0	158	3,7	122,4	187	23,1	172,2	293,5
A. montanum F.W. Schmidt	11,8	156	3,9	125,6	198	29,0	172,4	293,5
A. nutans L.	13,9	163	3,7	128,7	195	25,3	173,2	294,9
A. senescens L.	14,0	167	3,0	120,0	200	26,9	171,5	292,1
A. victorialis L.	18,6	154	3,8	131,8	254	27,4	179,9	304,0
Среднее (M)	13,6	175,3	3,3	126,0	219,1	24,2	174,4	296,0
Стандартное отклонение (σ)	2,9	37,5	0,6	4,1	46,8	4,9	3,9	5,0

Заключение

Обширная работа, проводимая с целью характеристики коллекции ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО интродуцированных видов и локальных местных сортов *Allium*, способствует глобальному видению сохранения генетических ресурсов растений, что предполагает тщательное исследование морфологической, генетической и биохимической изменчивости образцов.

Эти выводы подчеркивают ценность коллекции *Allium*, ее качество, разнообразие и потенциал для использования в сельском хозяйстве, пищевой и фармацевтической промышленности. Благодаря нашим недавним исследованиям *Allium* мы обнаружили новые неизученные различия в биохимических и морфологических параметрах исследованных местных сортов, что дало новый набор информации, полезной для будущих программ селекции или коммерческого производства.

Сохранение и глобальное распространение зародышевой плазмы сельскохозяйственных культур имеют важное значение для обеспечения устойчивости сельского хозяйства и будущей продовольственной безопасности. Генетические ресурсы лука, включая местные сорта, дикие родственники и культурные сорта, обладают ценными свойствами для улучшения сельскохозяйственных культур и диверсификации рынка. Сохранение и использование генетического разнообразия лука может повысить устойчивость систем производства лука, улучшить урожайность и решить возникающие проблемы, такие как изменение климата, вредители и болезни. Для достижения этой цели необходимо провести целевые миссии по сбору с целью расширения и диверсификации коллекций зародышевой плазмы лука. Особое внимание следует уделять районам с высоким разнообразием лука, включая регионы с уникальными экотипами, местными сортами и дикими родственниками. Сотрудничество с местными или коренными общинами и исследовательскими институтами может усилить усилия по сбору урожая и обеспечить включение ценных генетических ресурсов лука. Кроме того, решающее значение имеет создание и укрепление природоохранных сетей и сотрудничества на региональном, национальном и международном уровнях. Обмен опытом и лучшими практиками управления зародышевой плазмой между генными банками, исследовательскими институтами и местными сообществами может оптимизировать усилия по сохранению зародышевой плазмы. Совместные проекты, платформы для обмена данными и инициативы по наращиванию потенциала повысят эффективность и воздействие сохранения зародышевой плазмы лука. В контексте управления генным банком зародышевой плазмы лука обеспечение точной и полной документации имеет важное значение, поскольку оно служит предпосылкой для эффективного сохранения и использования.

• Литература

1. Block E. *Allium* botany and cultivation, ancient and modern. In Garlic and Other *Alliums*: The Lore and The Science; RSC Publishing Cambridge: Cambridge London, UK, 2010; pp. 1–32.
2. Teshika J.D., Zakariyyah A.M., Zaynab T., Zengin G., Rengasamy K.R.R., Pandian S.K., Fawzi M.M. Traditional and modern uses of onion bulb (*Allium cepa* L.): A systematic review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2019;59:S39–S70. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1499074.
3. Chase M.W., Christenhusz, M.J.M., Fay M.F., Byng J.W., Judd W.S., Soltis D.E. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot. J. Linnaean Soc.* 2016;181:1–20. https://doi.org/10.1111/boj.12385.
4. Govaerts R., Kington S., Friesen N., Fritsch R., Snijman D. A., Marcucci R. World checklist of Amaryllidaceae. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. 2021. Available at: http://apps.kew.org/wcsp/
5. Pandey A., Rai K., Malav P., Subramani R. *Allium negianum* (Amaryllidaceae): A new species under subg. Rhizirideum from Uttarakhand Himalaya, India. PhytoKeys. 2021;183:77–93. https://doi.org/10.3897/phytokeys.183.65433
6. Friesen N. Chapter 1. Genus *Allium*: Evolution, classification, and domestication / in Rabinowitch, H.D., Brian, t. (Eds.) Edible Alliums: Modern biology, production and uses (Wallingford, UK: CABI Org.). 2022.
7. Fritsch R.M., Friesen N. Evolution, domestication and taxonomy. In *Allium* Crop Science: Recent Advances; Rabinowitch, H.D., Currah, L., Eds.; CABI Publishing: Wallingfod, UK, 2002; pp. 5–27.
8. Li Q.Q., Zhou S.D., He X.-J., Yu Y., Zhang Y.C., Wei X.Q. Phylogeny and biogeography of *Allium* (Amaryllidaceae: Allieae) based on nuclear ribosomal internal transcribed spacer and chloroplast rps16 sequences, focusing on the inclusion of species endemic to China. *Ann. Bot.* 2010;106(5):709–733. https://doi.org/10.1093/aob/mcq177
9. Wheeler E.J., Mashayekhi S., McNeal D.W., Columbus J.T., Pires J.C. Molecular systematics of *Allium* subgenus Amerallium (Amaryllidaceae) in north America. *Am. J. Bot.* 2013;100:701–711. https://doi.org/10.3732/ajb.1200641
10. Gemejiyeva N., Tokenova A., Friesen N. Review of the current state and prospects of studying Kazakh species of the genus *Allium* L. *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии.* 2021;20:97-101. https://doi.org/10.14258/pbssm.2021020.
11. Friesen N., Fritsch R.M., Blattner F.R. Phylogeny and new infrageneric classification of *Allium* L. (Alliaceae) based on nuclear ribosomal DNA ITS sequences. *Aliso.* 2006;22(1):372–395. https://doi.org/10.3732/ajb.1200641
12. Hauenschild F., Favre A., Schnitzler J., Michalak I., Freiberg M., Muellner-Riehl A.N. Spatio-temporal evolution of *Allium* L. in the Qinghai–Tibet–Plateau region: Immigration and in situ radiation. *Plant Divers.* 2017;39:167–179. https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.05.010
13. Xie D.F., Yu H.X., Price M., Xie C., Deng Y.Q., Chen J.P. et al. Phylogeny of Chinese *Allium* species in section Daghestanica and adaptive evolution of *Allium* (Amaryllidaceae, Allioideae) species revealed by the chloroplast complete genome. *Front. Plant Sci.* 2019;10:e460. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00460
14. Xie D.F., Tan J.B., Yu Y., Gui L.J., Su D.M., Zhou S.D. Insights into phylogeny, age and evolution of *Allium* (Amaryllidaceae) based on the whole plastome sequences. *Ann. Bot.* 2020;125:1039–1055. https://doi.org/10.1093/aob/mcaa024
15. Costa L., Jimenez H., Carvalho R., Carvalho-Sobrinho J., Escobar I., Souza G. Divide to conquer: Evolutionary history of Allioideae tribes (Amaryllidaceae) is linked to distinct trends of karyotype evolution. Front. Plant Sci. 2020;11:320. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00320
16. Friesen N., Smirnov S., Herden T., Oyuntsetseg B., Shmakov A., Hurka H. *Allium* species of section Rhizomatosa, early members of the Central Asian steppe vegetation. Flora 2020;263:151536. https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151536
17. Fritsch R.M., Abbasi M. A taxonomic review of *Allium* subg. Melanocrommyum in Iran. Halberstädter Druckhaus Gmb H. Gatersleben. Germany, 2013. 240 p.
18. FAOSTAT - Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (2021). Available from: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize
19. Fredotović Ž., Puizina J. Edible *Allium* species: Chemical composition, biological activity and health effects. *Ital. J. Food Sci.* 2019;31:19–39.
20. Vuković S., Moravčević D., Gvozdanović-Varga J., Dojčinović, B., Vujošević A., Pećinar I., Kilibarda S., Kostić A.Ž. Elemental profile, general phytochemical composition and bioaccumulation abilities of selected *Allium* species biofortified with selenium under open field conditions. *Plants.* 2023;12:349. https://doi.org/10.3390/plants12020349
21. Benkeblia N. Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*). *Food Sci. Technol.* 2004;37:263–268. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.09.001
22. Charles D.J. Antioxidant Properties of Spices, Herbs and Other Sources; Springer: New York, NY, USA, 2013; pp. 225–230.
23. Kucekova Z., Mlcek J., Humpolicek P., Rop O., Valasek P., Saha P. Phenolic compounds from *Allium schoenoprasum*, *Tragopogon pratensis* and *Rumex acetosa* and their antiproliferative effects. *Molecules.* 2011;16:9207–9217. https://doi.org/10.3390/molecules16119207
24. Parvu A.E., Parvu M., Vlase L., Miclea P., Mot A.C., Silaghi-Dumitrescu R. Anti-inflammatory effects of *Allium schoenoprasum* L. leaves. *J. Physiol. Pharmacol.* 2014;65:309–315.
25. Denaro M., Smeriglio A., Barreca D., De Francesco C., Occhiuto C., Milano G., Trombetta D. Antiviral Activity of Plants and Their Isolated Bioactive Compounds: An update. *Phytother. Res.* 2020;34:742–768. https://doi.org/10.1002/ptr.6575
26. Rocchetti G., Zhang L., Bocchi S., Giuberti G., Ak G., Elbasan F., Yıldıztugay E., Ceylan R., Picot-Allain M.C.N., Mahomoodally M.F., Lucini L., Zengin G. The functional potential of nine *Allium* species related to their untargeted phytochemical characterization, antioxidant capacity and enzyme inhibitory ability. *Food Chem.* 2022;368:130782. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130782
27. Panis B., Nagel M., Van den Houwe I. Challenges and prospects for the conservation of crop genetic resources in field genebanks, *in vitro* collections and/or in liquid nitrogen. *Plants.* 2020;9(12): 1634. https://doi.org/10.3390/plants9121634
28. Hawkes J.G., Maxted N., Ford-Lloyd B.V. Evolution of plants under domestication. The *ex situ* conservation of plant genetic resources. First edition: 2000:19-31. Availabe from: https://www.springer.com/gp/book/9780792364429
29. Bhusal R., Islam S., Khar A., Singh S., Jain N., Tomar B. S. Diversity analysis and trait association study for antioxidants and quality traits in landraces, farmers' varieties and commercial varieties of Indian short day garlic (*Allium sativum* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution.* 2019;66:1843–1859.

https://doi.org/10.1007/s10722-019-00811-8
30. Barboza K., Salinas M. C., Acuña C. V., Bannoud F., Beretta V., García-Lampasona S., Burba J. L., Galmarini C. R., Cavagnaro P. F. Assessment of genetic diversity and population structure in a garlic (*Allium sativum* L.) germplasm collection varying in bulb content of pyruvate, phenolics, and solids. *Scientia Horticulturae.* 2020;261:108900. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108900
31. Hirata S., Abdelrahman M., Yamauchi N., Shigyo M. Characteristics of chemical components in genetic resources of garlic *Allium sativum* collected from all over the world. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 2015;63(1):35–45. https://doi.org/10.1007/s10722-015-0233-7
32. Kamenetsky R. Garlic: Botany and Horticulture. In Horticultural Reviews, Jules J. (ed.), 2007. 123–172.
33. Shaaf S., Sharma R., Kilian B., Walther A., Özkan, H., Karami E., Mohammadi B. Genetic structure and eco-geographical adaptation of garlic landraces (*Allium sativum* L.) in Iran. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 2014;61(8):1565–1580. https://doi.org/10.1007/s10722-014-0131-4
34. Jump A.S., Marchant R., Peñuelas J. Environmental change and the option value of genetic diversity. *Trends in Plant Science.* 2009;14(1):51–58. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.002
35. Siracusa L., Avola G., Patanè C., Riggi E., Ruberto G. Re-evaluation of traditional Mediterranean foods. The local landraces of "Cipolla di Giarratana" (*Allium cepa* L.) and long-storage tomato (*Lycopersicon esculentum* L.): quality traits and polyphenol content. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2013;93(14):3512–3519.
https://doi.org/10.1002/jsfa.6199
36. Ferioli F., D'Antuono L.F. Evaluation of phenolics and cysteine sulfoxides in local onion and shallot germplasm from Italy and Ukraine. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 2016;63(4): 601–614.
https://doi.org/10.1007/s10722-015-0270-2
37. Fowler C., Hodgkin T. Plant genetic resources for food and agriculture: Assessing global availability. Annual Review of Environment and Resources. 2004;29(1):143–179. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.29.062403.102203
38. Govindaraj M., Vetriventhan M., Srinivasan M. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: An overview of its analytical perspectives. *Genetics Research International.* 2015:431487. https://doi.org/10.1155/2015/431487
39. Хлесткина Е.К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2022;183(1):9-30.
https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-9-30
40. Artemyeva A.M. VIR worldwide collection of vegetable and cucurbit crops: formation, status and modern research activities. *Acta Horticulturae.* 2024;1391:283-290.
\https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1391.39
41. Тухватуллина Л.А., Абрамова Л.М. Коллекция рода Allium L. Южно-Уральского ботанического сада-института. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2022;183(4):192-207. https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-192-207
42. Середин Т.М., Шумилина В.В., Иванова М.И., Романов В.С., Агафонов А.Ф. Селекционная работа с видами рода *Allium* L. в условиях Нечерноземной зоны России: новые сорта. *Промышленная ботаника.* 2022;22(2):34 –39. https://doi.org/10.5281/zenodo.7394466
https://elibrary.ru/duzkwt
43. Поляков А.В., Алексеева Т.В. Способность чеснока (*Allium sativum* L.) накапливать германий в естественных и экспериментальных условиях. *Химия растительного сырья.* 2023;(1):279–286.
https://doi.org/10.14258/jcprm.20230110958 https://elibrary.ru/ftmdki
44. Espinosa-Leal, C.A.; Puente-Garza, C.A.; García-Lara, S. *In vitro* plant tissue culture: Means for production of biological active compounds. *Planta.* 2018;(248):1–18. https://doi.org/10.1007/s00425-018-2910-1
45. Поляков А.В., Чикризова О.Ф., Лебедева Н.Н. Длительное хранение трансплантов флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.) *in vitro*. Актуальные проблемы инноваций с нетрадиционными природными ресурсами и создания функциональных продуктов. IV Российская научно-практическая конф. М.: РАЕН, 2007. С. 79.
46. Havey M.J. Onion breeding. *Plant Breed. Rev.* 2018;(42):39–85. https://doi.org/10.1002/9781119521358.ch2
47. Chuda A., Klosowska K., Adamus A. Morphological, cytological and embryological characterization of F_1 *A.cepa*× *A.roylei* hybrids. *Acta Biol.Crac. Ser. Bot.* 2015;(57):98–105. https://doi.org/10.1515/abcsb-2015-0025
48. 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
49. van Raamsdonk L.W.D., Ensink W., van Heusden A.W., Vrielink-van Ginkel M., Kik C. Biodiversity assessment based on cpDNA and crossability analysis in selected species of *Allium* subgenus Rhizirideum. *Theor. Appl. Genet.* 2003;(107):1048–1058.
https://doi.org/10.1007/s00122-003-1335-8
50. Araki N., Masuzaki S.-I., Tsukazaki H., Yaguchi S., Wako T., Tashiro Y., Yamauchi N., Shigyo M. Development of microsatellite markers in cultivated and wild species of sections Cepa and Phyllodolon in *Allium*. *Euphytica.* 2009;173:321–328.
https://doi.org/10.1007/s10681-009-0087-1
51. Budylin M., Kan L.Y., Romanov V., Khrustaleva L. GISH study of advanced generation of the interspecific hybrids between *Allium cepa* L. and *Allium fistulosum* L. with relative resistance to downy mildew. *Russ. J. Genet.* 2014;50:387–394.
https://doi.org/10.1134/S1022795414040036
52. Pandey A., Malav P.K., Semwal D., Chander S., Gowthami R., Rai K. Repository of *Allium* Genetic Resources at ICAR-NBPGR: Prospects and Challenges for Collection and Conservation. *Indian J. Plant Genet. Resour.* 2022;35:185–190.
https://doi.org/10.5958/0976-1926.2022.00066.3
53. Scholten O.E., van Kaauwen M.P., Shahin A., Hendrickx P.M., Keizer L., Burger K., van Heusden A.W., van der Linden C.G., Vosman B. SNP-markers in *Allium* species to facilitate introgression breeding in onion. *BMC Plant Biol.* 2016;16:187. https://doi.org/10.1186/s12870-016-0879-0
54. Engels J.M.M., Thormann I. Main Challenges and Actions Needed to Improve Conservation and Sustainable Use of Our Crop Wild Relatives. *Plants.* 2020;9:968. https://doi.org/10.3390/plants9080968
55. Semwal D.P., Pandey A., Ahlawat S.P. Genetic resources of genus *Allium* in India: Collection status, distribution and diversity mapping using GIS tools. *Indian J. Plant Genet. Resour.* 2021;34:206–215. https://doi.org/10.5958/0976-1926.2021.00019.X
56. Keller E.R.J., Zanke C.D., Blattner F.R., Kik C., Stavělíková H., Zámečník J., Esnault F., Kotlińska T., Solberg S., Miccolis V. EURALLIVEG: Establishment of a European core collection by cryopreservation and virus elimination in garlic. *Acta Hortic.* 2012;969:319–327. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.969.41
57. Anđelković V., Cvejić S., Jocić S., Kondić-Špika A., Marjanović Jeromela A., Mikić S., Prodanović S., Radanović A., Savić Ivanov M., Trkulja D. Use of plant genetic resources in crop improvement—Example of Serbia. Genet. *Resour. Crop Evol.* 2020;67:1935–1948. https://doi.org/10.1007/s10722-020-01029-9
58. Lyngkhoi 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
59. Galluzzi G., Halewood M., Noriega I.L., Vernooy R. Twenty-five years of international exchanges of plant genetic resources facilitated by the CGIAR genebanks: A case study on global interdependence. *Biodivers. Conserv.* 2016;25:1421–1446.
https://doi.org/10.1007/s10531-016-1109-7
60. Иванова М.И., Бухаров А.Ф., Балеев Д.Н., Бухарова А.Р., Кашлева А.И., Середин Т.М., Разин О.А. Биохимический состав листьев видов *Allium* L. в условиях Московской области. *Достижения науки и техники АПК.* 2019;33(5):47-50.
https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10511
https://elibrary.ru/zndocx
61. Корнев А.В., Иванова М.И., Кашлева АИ. Биохимический состав съедобных цветков *Allium* L. в условиях Московской области. *Рисоводство.* 2024;23-3(64):24-28.
https://doi.org/10.33775/1684-2464-2024-64-3-24-28
https://elibrary.ru/qjccjp

●References

39. Khlestkina E.K. Genetic resources in Russia: from collections to bioresource centers. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding.* 2022;183(1):9-30. (In Russ.)
https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-9-30
41. Tukhvatullina L.A., Abramova L.M. The collection of *Allium* L. at the South-Ural Botanical Garden–Institute. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding.* 2022;183(4):192-207. (In Russ.)
https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-192-207
42. Seredin T.M., Shumilina V.V., Ivanova M.I., Romanov V.S., Agafonov A.F. Breeding work with species of the genus *Allium* L. in the conditions of the Non-Chernozem zone of Russia: new varieties. *Industrial Botany.* 2022;22(2):34–39. (In Russ.) https://doi.org/10.5281/zenodo.7394466 https://elibrary.ru/duzkwt
43. Polyakov A.V., Alekseeva T.V. Ability of garlic (*Allium sativum* L.) to accumulate germanium under natural and experimental conditions. *Khimija rastitel'nogo syr'ja.* 2023;(1):279–286. (In Russ.)
https://doi.org/10.14258/jcprm.20230110958 https://elibrary.ru/ftmdki
45. Polyakov A.V., Chikrizova O.F., Lebedeva N.N. Long-term storage of *Phlox paniculata* L. transplants *in vitro.* Actual problems of innovations with unconventional natural resources and creation of functional products. IV Russian scientific and practical conf. M.: RANS, 2007. P. 79. (In Russ.)
60. Ivanova M.I., Bukharov A.F., Baleev D.N., Bukharova A.R., Kashleva A.I., Seredin T.M., Razin O.A. Biochemical composition of leaves of *Allium* L. species in the conditions of the Moscow region. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex.* 2019;33(5):47-50. (In Russ.)
https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10511 https://elibrary.ru/zndocx
61. Kornev A.V., Ivanova M.I., Kashleva A.I. Biochemical composition of edible flowers of *Allium* L. in the conditions of the Moscow region. *Rice growing.* 2024;23-3(64):24-28. (In Russ.)
https://doi.org/10.33775/1684-2464-2024-64-3-24-28
https://elibrary.ru/qjccjp

Об авторах:
Алексей Васильевич Поляков – доктор биол. наук, профессор, гл. научный сотрудник,
https://orcid.org/0000-0002-5413-0770, SPIN-код: 8248-1588
Мария Ивановна Иванова – доктор с.-х. наук, проф. РАН, гл. научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0001-7326-2157, SPIN-код: 1961-9188
Анна Ивановна Кашлева – кандидат с.-х. наук,
старший научный сотрудник, SPIN-код: 7042-1191

About the Authors:
Alexey V. Polyakov – Dr. Sci. (Biology), Professor, Chief Researcher, https://orcid.org/0000-0002-5413-0770, SPIN-code: 8248-1588
Maria I. Ivanova – Dr. Sci. (Agriculture),
Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher,
https://orcid.org/0000-0001-7326-2157, SPIN-code: 1961-9188
Anna I. Kashleva – Cand. Sci. (Agriculture),
Senior Researcher, SPIN-code: 7042-1191

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-38-49
УДК: 635.11:631.527.41:631.524.86

С.А. Ветрова*, К.С. Мухина, Е.Г. Козарь, И.А. Енгалычева

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

Автор для переписки: lana-k2201@mail.ru

Вклад авторов. Ветрова С.А.: научное руководство исследованием, методология, верификация и администрирование данных, проведение и анализ лабораторных и полевых исследований, создание рукописи и её редактирование; Мухина К.С.: проведение и анализ лабораторных и полевых исследований, создание рукописи, ресурсы; Козарь Е.Г.: методология, концептуализация, верификация и администрирование данных, проведение и анализ полевых и лабораторных исследований, создание рукописи и её редактирование, ресурсы; Енгалычева И.А.: методология, проведение и анализ лабораторных исследований, ресурсы, создание рукописи и её редактирование.

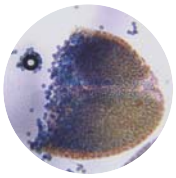
Финансирование исследований.
Исследования выполнены по Государственному заданию FGGF-2022-0016, FGGF-2024-0020.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ветрова С.А., Мухина К.С., Козарь Е.Г., Енгалычева И.А. Скрининг генетически разнообразного линейного материала свеклы столовой по устойчивости к *Pseudomonas siringae* pv. *aptata* на разных стадиях развития растений (спорофит, гаметофит). *Овощи России.* 2025;(3):38-49. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-38-49

Поступила в редакцию: 01.04.2025
Принята к печати: 25.04.2025
Опубликована: 07.07.2025

Скрининг генетически разнообразного линейного материала свеклы столовой по устойчивости к *Pseudomonas siringae* pv. *aptata* на разных стадиях развития растений (спорофит, гаметофит)



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Важнейшим направлением в селекции свеклы столовой является создание конкурентоспособных отечественных промышленных гибридов на основе ЦМС, для получения которых необходимо создать фонд родительских линий с комплексом хозяйственно значимых признаков и устойчивостью к болезням. В последнее время на посевах свеклы столовой возрастает вредоносность бактериоза, в том числе вызываемого возбудителем *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* (Psa), что определяет необходимость изучения устойчивости селекционного материала к бактериозу на разных стадиях развития.

Цель исследований. Провести скрининг линейного и инбредного материала свеклы столовой по устойчивости к *Pseudomonas siringae aptata* и выделить из них наиболее ценные формы для создания устойчивых к бактериозу гибридов.

Материалы и методы. Объекты исследований: коллекционный изолят *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* (Psa 1-21), корнеплоды, листья и популяции пыльцевых зерен растений линий и инбредных потомств свеклы столовой. В работе использовали методы фитопатологии и гаметной селекции, искусственное заражение спорофита и гаметофита проводили водной суспензией или жидкой культурой Psa.

Результаты. Проведен скрининг линейного и инбредного материала свеклы столовой по устойчивости к Psa на разных стадиях онтогенеза (спорофит, гаметофит). Установлено, что спорофитная резистентность контрастных по устойчивости генотипов свеклы к Psa определяется уровнем органоспецифичной устойчивости. Выявлена обратная взаимосвязь между устойчивостью спорофита и изменением функциональных параметров микрогаметофита, при этом в качестве критерия устойчивости по микрогаметофиту целесообразно использовать коэффициент стрессоустойчивости (Ks), сопряженный в большей степени с баллом поражения корнеплодов (R^2=0,66). В качестве селектирующего агента при ранжировании образцов свеклы столовой по устойчивости к Psa рекомендуется использовать водную суспензию бактерии в двух концентрациях. В результате иммунологического скрининга отобраны и включены в селекционный процесс две селекционные линии и четыре перспективных инбредных потомства, характеризующиеся устойчивостью спорофита и гаметофита к бактериозу и комплексом селекционно-ценных и хозяйственно-значимых признаков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
свекла столовая (*Beta vulgaris* L.), *Pseudomonas syringae* pv. *aptata*, линия, инбредное потомство, устойчивость, микрогаметофит, спорофит, бактериоз

Svetlana A. Vetrova*, Kseniya S. Muhina, Elena G. Kozar, Irina A. Engalycheva

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

Correspondence Author: lana-k2201@mail.ru

Funding. The research was carried out under State Assignment FGGF-2022-0016, FGGF-2024-0020.

Authors' Contribution: Vetrova S.A.: scientific supervision of the study, methodology, data verification and administration, conducting and analyzing laboratory and field studies, writing and editing the manuscript. Kozar E.G.: methodology, conceptualization, data verification and administration, conducting and analyzing field and laboratory studies, writing and editing the manuscript, resources. Mukhina K.S.: conducting and analyzing laboratory and field studies, writing the manuscript, resources. Engalycheva I.A.: methodology, conducting and analyzing laboratory studies, resources, writing and editing the manuscript.

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

For citation: Vetrova S.A., Muhina K.S., Kozar E.G., Engalycheva I.A. Screening of genetically diverse linear beetroot material for resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* at different stages of plant development (sporophyte, gametophyte). *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):38-49. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-38-49

Received: 01.04.2025
Accepted for publication: 25.04.2025
Published: 07.07.2025

Screening of genetically diverse linear beetroot material for resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* at different stages of plant development (sporophyte, gametophyte)

ABSTRACT

Relevance. The most important direction in the breeding of beetroot is the production of competitive domestic industrial hybrids based on CMS, for which it is necessary to create a fund of parent lines with a complex of economically significant traits and resistance to diseases. Recently, the harmfulness of bacterioses, including those caused by the pest *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* (Psa), has been increasing in table beet crops, which determines the need to study the resistance of breeding material to bacteriosis at different stages of development.

The aim of the research. To screen the linear and inbred beetroot material for resistance to *Pseudomonas siringae* aptata and identify the most valuable forms from them for the creation of bacteriosis-resistant hybrids.

Materials and methods. Objects of research: collection isolate of *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* (Psa 1-21); root crops, leaves, and populations of pollen grains of plant lines and inbred descendants of beetroot. The methods of phytopathology and gametic breeding were used in the work, artificial infection of the sporophyte and gametophyte was carried out with an aqueous suspension or liquid culture of Psa, according to the results of which the samples were ranked according to resistance.

Results. Screening of linear and inbred beetroot material for resistance to Psa at different stages of ontogenesis (sporophyte, gametophyte) was carried out. It has been established that the sporophytic resistance of beet genotypes contrasting in resistance to Psa is determined by the level of organ-specific resistance. An inverse relationship has been revealed between the stability of the sporophyte and changes in the functional parameters of the microgametophyte, while it is advisable to use the stress tolerance coefficient (Ks) as a criterion for microgametophyte resistance, which is more associated with the damage score of root crops (R^2=0,66). It is recommended to use an aqueous suspension of the bacterium in two concentrations as a selective agent in the ranking of table beet samples for resistance to Psa. As a result of immunological screening, two breeding lines and four promising inbred offspring were selected and included in the breeding process, characterized by the resistance of the sporophyte and gametophyte to bacteriosis and a complex of breeding-valuable and economically significant traits.

KEYWORDS:
beetroot (*Beta vulgaris* L.), *Pseudomonas syringae* pv. *aptata*, line, inbred offspring, resistance, microgametophyte, sporophyte, bacteriosis

Введение

В связи с комплексом политических и социально-экономических вызовов последних лет (в т.ч. введение санкций), большое внимание уделяется обеспечению продовольственной безопасности РФ, которая направлена на самообеспечение сельскохозяйственной продукцией, в том числе овощами и бахчевыми – не менее 90%; семенами основных сельскохозяйственных культур отечественной селекции – не менее 75%. Обозначен рад стратегически-значимых овощных культур, в число которых входит и свекла столовая [1, 2]. На сегодняшний день большая часть площадей под свеклой столовой у крупных производителей занята гибридами F_1 иностранной селекции, поэтому в случае прекращения поставки гибридных импортных семян свеклы столовой, их дефицит на рынке неизбежен [3]. В связи с этим, важнейшим направлением в селекции свеклы столовой является получение конкурентоспособных отечественных промышленных гибридов на основе ЦМС, которые представляют ценность и с точки зрения защиты авторских прав российских оригинаторов. Для получения таких гибридов необходимо создать фонд инбредных линий - родительских компонентов, характеризующихся высокой комбинационной способностью по комплексу хозяйственно значимых признаков, в том числе устойчивостью к болезням [4].

В «Федеральном научном центре овощеводства» проводится многолетняя работа по созданию ценного генетически-разнообразного линейного материала свеклы столовой с последовательным отбором по устойчивости к распространенным болезням в Московской области - фузариозу и фомозу на естественном и искусственном инфекционных фонах [5, 6]. В последнее время на посевах свеклы столовой возрастает вредоносность бактериозов, в том числе вызываемого возбудителем *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* (Psa) [7]. Вероятно, это связано с обменом семенами и маточными корнеплодами между регионами и странами, что повышает вероятность занесения и распространения ранее незарегистрированных болезней различной этиологии [8], а также с потеплением климата [9]. В странах Северной и Южной Америки, Европы, Азии, а также в Австралии и в Новой Зеландии симптомы бактериоза, вызываемые Psa, были зарегистрированы на широком спектре овощных культур (сахарная свекла, мангольд, дыня, тыква и др.) [10]. Во Франции в отдельные годы поражение этим возбудителем культуры дыни носило эпифитотийный характер, потери урожая составили 80–100%. Это свидетельствует о высоком патогенном потенциале данного возбудителя [11, 12].

Первое сообщение об эпифитотии Psa появилось только в 2017 году, когда в условиях Краснодарского края было отмечено поражение более половины производственных посевов свеклы сахарной [13]. Это связано с тем, что из-за сходства симптомов с другими болезнями, в частности с церкоспорозом, данный возбудитель долгое время не регистрировался на посевах свеклы в Российской Федерации. В 2018 году в Московской области на коллекционных южных образцах свеклы столовой также была выделена и идентифицирована бактерия Psa, вызывающая на корнеплодах симптомы сосудистого бактериоза без внешних признаков поражения [7, 9, 13]. Несмотря на то, что распространенность бактериоза на свекле столовой в средней полосе России пока не достигает экономического порога вредоносности, в рамках опережающей селекции актуальны исследования, направленные на разработку методических подходов скрининга на разных стадиях онтогенеза, повышения объективности результатов оценки на устойчивость к бактериозу, целевого отбора селекционного материала и ускорения процесса создания устойчивых к бактериозу отечественных гибридов свеклы столовой.

С этой точки зрения особого внимания заслуживают методы гаметной селекции по оценке устойчивости к стрессовым факторам на уровне мужского гаметофита, позволяющая с минимальными затратами провести скрининг большого числа популяций и в короткие сроки выделить ценные генотипы для селекционной работы [14]. Оценка по микрогаметофиту может быть эффективной стратегией прогнозирования частоты встречаемости желательных генов в потомстве. Основой теории гаметофитного отбора является то, что отбор среди гаплоидных, но гетерогенных по своему составу популяций пыльцевых зерен, может положительно коррелировать с изменениями в следующем спорофитном поколении [15]. Показано, что различные факторы воздействия на гаметофит, такие как водный и температурный стресс, гербициды и патотоксины, приводят к увеличению числа устойчивых особей в популяциях [16].

В отношении возбудителей болезней бактериальной этиологии рядом исследователей отмечена неоднозначная взаимосвязь реакции спорофита и гаметофита на воздействие патогенного объекта. Так, на культуре лука репчатого установлено наличие прямой корреляционной зависимости между устойчивостью растений к *P. corotovorum* на спорофитной и гаметофитной стадиях развития [17]. В то время, как на культуре капусты белокочанной, напротив, выявлена обратная взаимосвязь: негативное влияние бактериальной суспензии патогена *Xanthomonas campestris pv. campestris* на жизнеспособность пыльцы устойчивых по спорофиту растений и стимулирующее действие на прорастание пыльцы восприимчивых образцов [18]. В наших исследованиях, проведенных ранее на двух контрастных по устойчивости к Psa сортах свеклы столовой, также была выявлена обратная взаимосвязь между устойчивостью спорофита и изменением функциональных параметров микрогаметофита под влиянием фитопатогена [19]. Выявленые закономерности воздействия на микрогаметофит и спорофит различных селектирующих агентов и их концентраций позволили модифицировать и выделить наиболее информативные варианты заражения, которые были включены в наши дальнейшие исследования и апробированы на генетически разнообразном селекционном материале для проведения экспресс-оценки устойчивости к Psa.

Цель работы – провести скрининг линейного и инбредного материала свеклы столовой по устойчивости к Pseudomonas siringae pv. aptata и выделить наиболее ценные родительские формы для создания устойчивых к бактериозу гибридов.

Материалы и методы исследований.

Условия проведения исследований. Исследования проводили в 2023–2024 гг. на базе лабораторий молекулярно-иммунологических исследований (ЛМИИ), селекции и семеноводства столовых корнеплодов ФГБНУ ФНЦО в Одинцовском районе Московской области. Корнеплоды выращивали в селекционном питомнике в 2023 году на опытном поле основного севооборота ФГБНУ ФНЦО (посев 25 мая – уборка 15 сентября) на грядах по схеме 70+30+70 согласно общепринятым методикам [20]. Во время уборки урожая непораженные болезнями стандартные корнеплоды помещали в овощные сетки и закладывали в контейнеры с

полиэтиленовыми вкладышами на хранение в овощехранилище при температуре 1–2°С и влажности 90–92 %, в течение семи месяцев (до II декады апреля). После хранения во время весеннего анализа (апрель 2024 года) проводили отбор непораженных болезнями маточных корнеплодов для иммунологической оценки в условиях *in vitro* на устойчивость к бактериозу.

Материал исследований: коллекционный штамм Psa (Psa 1-21), корнеплоды, листья и популяции пыльцевых зерен растений селекционных линий (№№151, 196, 153, 158) и 27 инбредных потомств свеклы столовой различного происхождения. Коллекционный штамм Psa 1-21 культивировали на агаризованной питательной среде LB (Luria Bertani Broth, Miller) в течение 48 часов при температуре 28°С. Бактериальную суспензию готовили в стерильной водопроводной воде в концентрации 1,2x10^9 КОЕ/мл (по стандарту МакФарланда титр №4) методом смыва с поверхности твердой питательной среды. В качестве инокулята использовали также жидкую культуру (ЖК). Для этого в конические колбы объемом 250 мл с жидкой средой LB (объем среды 100 мл) вносили 1 мл бактериальной суспензии в концентрации 1,2x10^9 КОЕ/мл, с дальнейшим инкубированием при температуре 27°С на орбитальном шейкере при 110 оборотах в минуту в течение 3 суток.

Оценку устойчивости растений свеклы столовой к Psa проводили в серии независимых лабораторных опытов с использованием различных вариантов заражения на разных стадиях развития растений. В качестве тестируемых объектов при искусственной инокуляции использовали корнеплоды, отделенные листья и пыльцу семенных растений анализируемых образцов.

Заражение корнеплодов проводили путем инокуляции высечек (дисков) [21]. Отобранные 10-15 маточных корнеплодов каждого образца тщательно промывали в проточной водопроводной воде с мылом, затем подвергали поверхностной стерилизации, погружая в 50 % раствор гипохлорита натрия на 15 минут, после чего дважды промывали в стерильной воде и маркировали. После стерилизации, отрезали 1/3 боковой части корнеплодов, делили на диски размером 4×3×1 см и помещали в пластиковые контейнеры, повторность - трехкратная. Затем в центральной части дисков стерильной иглой от шприца делали два укола глубиной 3 мм на расстоянии примерно 1 см друг от друга и дозированно вносили по 200мкл инокулюма в каждый прокол. В контроле в качестве инокулята использовали стерильную воду. В контейнерах с зараженными дисками корнеплодов создавали условия влажной камеры и помещали в термостат при температуре 20°С.

Учет симптомов и степени поражения оценивали на десятые сутки после заражения, измеряя диаметр и глубину с последующим присуждением индекса развития по пятибалльной шкале: 0 баллов – отсутствие симптомов в области проколов; 0,1-0,5-1,0 баллов – в области единичных проколов появление некрозов без проникновения в глубь тканей; 1,1-2,0 балла – у половины проколов появление некроза с проникновением вглубь ткани на 2-3 мм; 2,1-3,0 балла – у 50-75% проколов появление некроза с проникновением вглубь до 2/3 высоты диска; 3,1-4,0 балла – у большей части проколов появление некроза с распространением инфекции по сосудам. Промаркированные маточные корнеплоды после иммунологической оценки высаживали в грунт, где они формировали новую розетку листьев и цветоносы.

Заражение листьев. После отрастания листовой розетки высаженных корнеплодов, проводили заражение отделенных листьев в условиях *in vitro*. С каждого растения срезали листья одного возраста, тщательно промывали под проточной водой, замачивали на 10 минут в слабом мыльном растворе, потом трижды ополаскивали стерильной водой. Заражение проводили путем погружения черешка листа, предварительно срезав 0,5 см его основания, в пробирки с 10 мл бактериальной суспензии в концентрации 2,4x10^8 КОЕ/мл. Контроль - стерильная вода. Опыт закладывали в четырехкратной повторности, по три настоящих листа каждого образца в каждой повторности. Пробирки с листьями инкубировали в штативах при температуре 20-22 °С при рассеянном свете. Учет симптомов поражения бактериозом проводили по пятибалльным шкалам. Хлороз и некроз: 0 - поражение отсутствует; 1 – поражение очень слабое, единичные хлорозные или некрозные пятна площадью до 10% поверхности листовой пластины; 2 – поражение слабое, до 20% поверхности листа занимает некроз или до 30% - хлороз; 3 - поражение среднее, до 50% - некроз или до 70% хлороз; 4 - поражение сильное, более 50% – некроз, хлороз более 70%. Шкала учета увядания: 0 - отсутствует; 1 – увядание краевой части листовой пластины; 2 – увядание 50% листовой пластины; 3 – увядание всей поверхности листовой пластины без потери тургора центрального черешка; 4 – полное увядание и подсыхание листовой пластинки. Характер распространения симптомов регистрировали в динамике: на четвертые и десятые сутки после заражения.

По результатам комплексной оценки устойчивости к Psa по спорофиту изученные популяции ранжировали на группы устойчивости (ГУ) в соответствии со степенью поражения разных органов (корнеплоды/листья, балл): устойчивые (У) – 0 / 0-0,5; относительно устойчивые (ОУ) – 0,1-1,0 / 0,6-1,0; средневосприимчивые (СВ) – 1,1-1,5; восприимчивые (В) – >1,5 баллов.

На стадии микрогаметофита изучали влияние водной суспензии Psa и жидкой культуры патогена на прорастание пыльцы *in vitro* анализируемых образцов свеклы столовой. Для проращивания пыльцы использовали следующий состав питательной среды (на 100 мл): ПЭГ-6000 – 25 г, сахароза – 15 г, H_3BO_3 – 5 мг, $Ca(NO_3)_2$*$4H_2O$ – 15 мг, pH 5,8-6,5(контроль) [22]. В зависимости от варианта опыта среды готовили на основе дистиллированной стерильной воды (контроль), на основе соответствующих концентраций водной бактериальной суспензии и жидкой культуры, куда добавляли вышеперечисленные ингредиенты. Варианты опыта: водная суспензия в двух концентрациях – исходная (1,2x10^9КОЕ/мл) и разведение 2:8, ЖК – только в разведении 2:8, при которой отсутствует отрицательное влияние компонентов среды LB на прорастание пыльцы.

Пыльники с индивидуальных промаркированных растений собирали во время цветения утром (с 8 до 10 часов) с раскрывшихся цветков, помещая их в пластиковые бюксы с крышками, где их хранили до начала эксперимента в течение 1-2 часов при комнатной температуре в темноте. Пыльцу осторожно вытряхивали из пыльников на пергаментные листы и с помощью препаровальных игл осуществляли посев на стерильные предметные стекла с каплями (20 мкл) питательной среды каждого варианта в трехкратной повторности. Стекла помещали во влажную камеру в чашках Петри и инкубировали на рассеянном свету при температуре 24-25°С в течение двух часов. Препараты с проросшей пыльцой фиксировали дифференциальным красителем по Данвеллу [23].

Цифровую микрофотосъемку пяти окуляр-полей в каждой капле осуществляли на микроскопе Zeiss Axio Lab A1 с помощью фотонасадки ADF с программным обеспечением Image Capture (версия x64, 4.11.21522.20221011). В дальнейшем на основе полученных снимков с использованием этой программы проводили подсчет жизнеспособных (ЖСП) и не проросших пыльцевых зерен, измеряли длину пыльцевых трубок (Lтр). Объем выборки для подсчетов и измерений в каждом варианте составлял 300-500 пыльцевых зерен в трехкратной повторности. На основании числа проросших пыльцевых зерен и длины пыльцевых трубок в контроле и опытных вариантах анализировали отклонения от контроля (в %), рассчитывали коэффициент стрессоустойчивости (Ks, %) в качестве обобщенного критерия сопротивления генотипа к стрессору:

$$Ks = (ЖСПо \times Lтр.о) / (ЖСПк \times Lтр.к) \times 100,$$

где **ЖСПо** – число проросших пыльцевых зерен в опыте; **ЖСПк** – число проросших пыльцевых зерен в контроле; **Lтр.о** – средняя длина пыльцевой трубки в опыте; **Lтр.к** – средняя длина пыльцевой трубки в контроле [24].

Анализ экспериментальных данных и статистическая оценка были выполнены в Microsoft Excel 2016 для Windows 10 и Statistica 7.0.

Результаты исследований

Для апробации и оптимизации элементов методики поэтапной оценки *in vitro* устойчивости к бактериозу проводили сравнительное изучение реакции спорофита и микрогаметофита на заражение штаммом Psa 1-21 с использованием четырех перспективных селекционных линий свеклы столовой, различающихся восприимчивостью к данному возбудителю. На рисунке 1 видно, что при инокуляции корнеплодов водной суспензией Psa 1-21 на десятые сутки после заражения у относительно устойчивых линий №№ 151 и 196 наблюдали незначительное потемнение поверхности дисков или единичные некрозы в области проколов без проникновения вглубь тканей корнеплода (средний балл развития 0,4-1). У средневосприимчивой линии №153 некроз ткани в области проколов был четко выражен с глубиной проникновения - 2-3 мм (балл развития 1,2-1,4). У восприимчивой линии №158 некротические пятна достигали 8-10 мм, а глубина зоны поражения составляла примерно 1/3 высоты дисков (балл развития 1,7-1,9). При погружении черешков отделенных листьев в бактериальную суспензию патогена у линий №№ 151 и 196 на четвертые сутки наблюдали диффузный хлороз до 0,5 баллов. У линий №№153 и 158 зарегистрировано развитие хлороза и некроза (в среднем 1,6 и 1,1 балла соответственно) и незначительная потеря тургора (1-1,5 балла).

При изучении реакции микрогаметофита было установлено, что добавление в питательную среду ЖК Psa 1-21 ингибировало прорастание пыльцевых зерен всех исследуемых линий на 5-18% относительно контроля, а стимуляция роста пыльцевых трубок была отмечена только в популяциях микрогаметофита линий №№ 151 и 158, относящихся к крайним группам устойчивости по спорофиту. У относительно устойчивой линии №196 отмечали полное ингибирование прорастания пыльцы (рис. 2, табл. 1).

В тоже время использование в качестве селектирующего агента водной бактериальной суспензии, по сравнению с жидкой культурой, оказалось более информативным - линии более четко дифференцировались согласно обратной взаимосвязи реакции пыльцы и спорофита, выявленной в предыдущих исследованиях на модельных сортах [19]. Наиболее высокие показатели ЖСП и средней длины пыльцевых трубок отмечены у восприимчивой линии №158, у которой отклонение от контроля соответственно составило 20% и 154%, тогда как у относительно устойчивой по спорофиту линии №196 - ингибирование прорастания на 30%, при стимулировании роста трубок всего на 40% по сравнению с контролем.

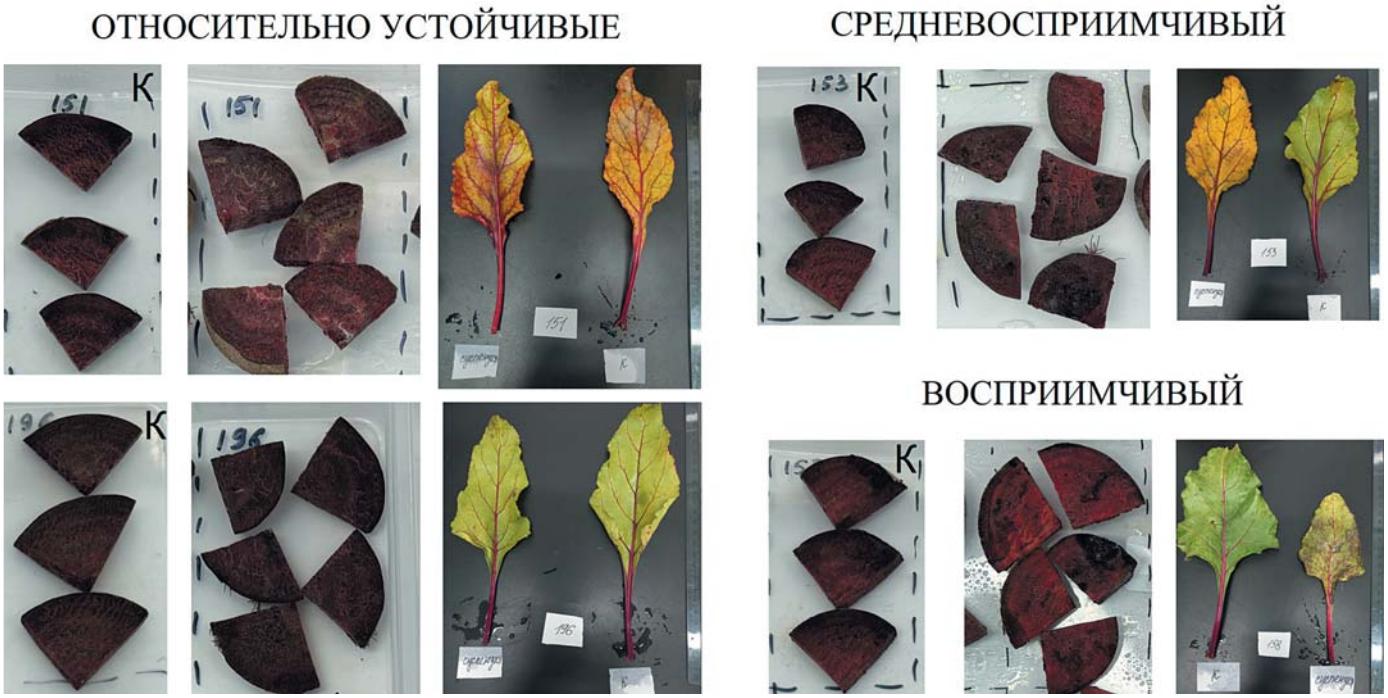


Рис. 1. Проявление симптомов бактериоза на дисках корнеплодов и отделенных листьях линий свеклы столовой при искусственной инокуляции коллекционным штаммом Psa 1-21 (бактериальная суспензия)
Fig. 1. Manifestation of bacteriosis symptoms on root crop discs and separated leaves of canteen beet lines during artificial inoculation with a collector strain Psa 1-21 (bacterial suspension)

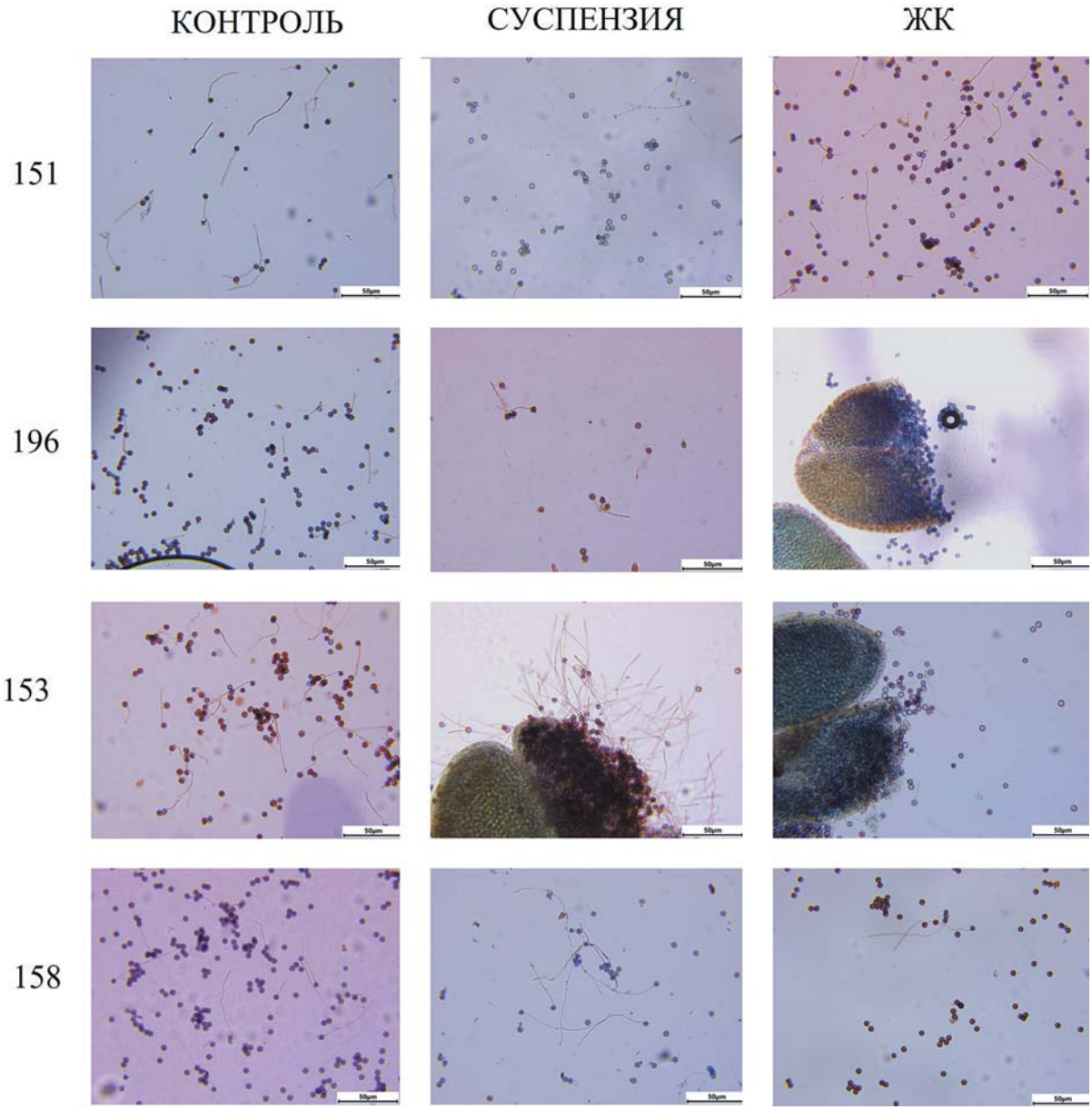


Рис. 2. Влияние суспензии и жидкой культуры штамма Psa 1-21 в разведении 2:8 на жизнеспособность и рост пыльцевых трубок линий свеклы столовой in vitro
Fig. 2. The effect of suspension and liquid culture of Psa 1-21 strain in a 2:8 dilution on the viability and growth of pollen tubes of canteen beet lines in vitro

Таблица 1. Влияние суспензии и жидкой культуры штамма в разведении 2:8 на жизнеспособность и рост пыльцевых трубок селекционных линий свеклы столовой in vitro
Table 1. Effect of suspension and liquid culture of the strain in a 2:8 dilution on the viability and growth of pollen tubes of beet breeding lines in vitro

Линия	Доля проросшей пыльцы (ЖСП), %						Средняя длина пыльцевой трубки					
	суспензия			жидкая культура			суспензия			жидкая культура		
	контроль	опыт	отклонение от контроля	контроль	опыт	отклонение от контроля	контроль, мкм	опыт, мкм	отклонение от контроля, %	контроль, мкм	опыт, мкм	отклонение от контроля, %
151 ОУ	63	33	-30	30	18	-12	35	49	40	18	19	6
196 ОУ	25	18	-7	5	0	-5	21	27	29	22	0	-100
153 СВ	41	49	8	29	11	-18	73	87	119	29	8	-74
158 В	24	44	20	14	4	-10	28	71	154	42	66	57
$НСР_{05}$		10,5			6,5			20,5				

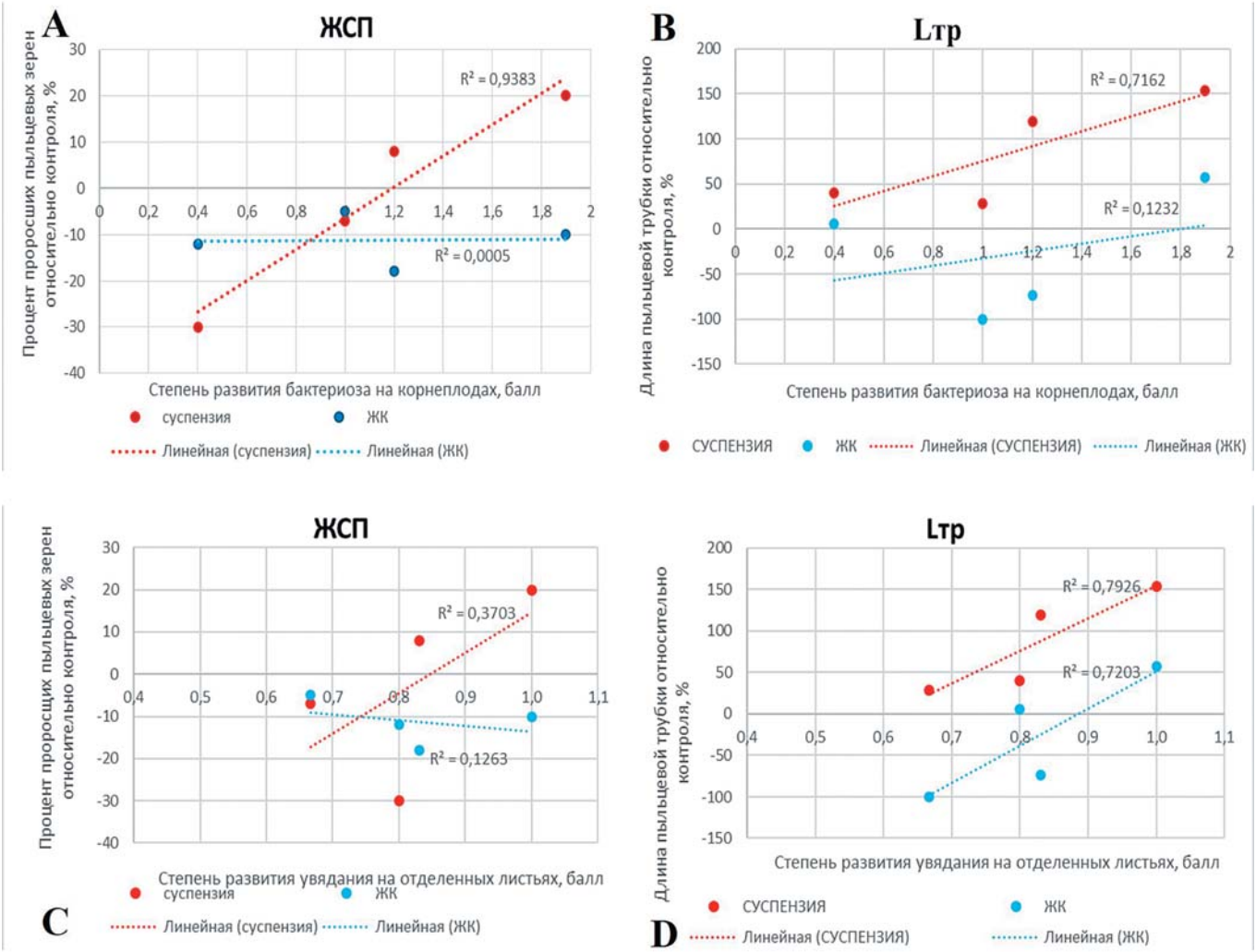


Рис. 3. Взаимосвязь между функциональными характеристиками пыльцы (ЖСП и Lmp) в условиях in vitro под влиянием суспензии и жидкой культуры штамма Psa 1-21 (в разведении 2:8) селекционных линий свеклы столовой с различным уровнем устойчивости к бактериозу по корнеплоду (A, B) и по отделенным листьям (C, D)
Fig. 3. The relationship between the functional characteristics of pollen under in vitro conditions under the influence of suspension and liquid culture of Psa strain 1-21 (except 2:8) breeding lines of table beet with different levels of resistance to bacteriosis by root crop (A, B) and by separated leaves (C, D)

Данный вывод подтверждается анализом характера взаимосвязи между реакцией микрогаметофита на воздействие селектирующего агента (водная суспензия и ЖК) и баллом поражения корнеплодов и листьев Psa 1-21 анализируемых популяций *in vitro* (рис. 3). В данной выборке селекционных линий коэффициент корреляции между баллом развития бактериоза при заражении корнеплодов водной суспензией Psa 1-21 и ЖСП микрогаметофита на питательной среде с добавлением суспензии Psa 1-21 составлял r=0,97, длинной пыльцевой трубки - r=0,85, а на питательной среде с ЖК Psa 1-21 - r=0,02 и r=0,35 соответственно (рис.3 A, B).

Степень взаимосвязи между интенсивностью проявления симптомов бактериоза на отделенных листьях анализируемых популяций и реакцией микрогаметофита при добавлении в питательную среду водной суспензии или ЖК возбудителя имела менее выраженный характер. В данном случае более тесная взаимосвязь отмечена между степенью увядания листовой пластинки с ЖСП и длиной пыльцевой трубки при добавлении в питательную среду водной суспензии (r=0,61 и r=0,89 соответственно). При использовании ЖК – только с длиной пыльцевой трубки r=0,85 (рис. 3 C, D). То есть, при ранжировании образцов свеклы столовой по устойчивости к *P.syringae* pv. *aptata* на уровне микрогаметофита, в качестве селектирующего агента целесообразно использовать водную суспензию Psa. Еще одним важным преимуществом данного элемента методики является простота его стандартизации и контроля за концентрацией суспензии, а также отсутствие дополнительного влияния на функциональные характеристики пыльцы компонентов жидкой среды LB, на которой выращивали бактерии. Дальнейший скрининг расщепляющихся популяций 27 инбредных потомств свеклы столовой разных поколений по устойчивости к бактериозу проводили с использованием только водной суспензии возбудителя в двух концентрациях. Стандарты – сорт Красный бархат (ОУ) и сорт Маруся (В).

По степени поражения корнеплодов образцы разделились на группы устойчивости в следующим соотношении: устойчивые (0 баллов) – 19%; относительно устойчивые (0,1-0,5 балл) – 26%; средневосприимчивые (0,6-1,5 балла) – 33%; восприимчивые (более 1,5 балла) – 30% от общего числа проанализированных. В то же время при заражении отделенных листьев распределение образцов по группам устойчивости отличалось в зависимости от типа проявления симптомов бактериоза. По степени развития хлороза доля устойчивых образцов была наименьшей и составила 4%; в

группу относительно устойчивых вошла большая часть проанализированных потомств – 41%; средневосприимчивых – 37%; восприимчивых – 18%. По некрозу превалировали группы устойчивых и относительно устойчивых – 22 и 70% соответственно; в группу средневосприимчивых вошли 7% образцов от числа изученных; восприимчивых не было (табл. 2).

В отношении увядания листовой пластинки большая часть изученных популяций оказались устойчивыми и относительно устойчивыми 37 и 30%; к средневосприимчивым отнесли 19%, а к восприимчивым – 15% (табл. 2). При этом степень проявления разных симптомов бактериоза при искусственном заражении водной суспензией Psa 1-21 отделенных листьев была сопоставима не во всех популяциях. Так образцы устойчивые и относительно устойчивые по хлорозу (13 шт.) также были относительно устойчивыми по развитию некроза, но по степени увядания разделились на три группы – относительно устойчивые, средневосприимчивые и восприимчивые (46%, 30% и 24% соответственно). В группе восприимчивых по хлорозу образцов (5 шт.) другие симптомы (некроз и увядание) не проявлялись. В группе средневосприимчивых по хлорозу (9 шт.) большинство образцов характеризовались относительной устойчивостью к некрозу (89%), а по увяданию образцы разделились на несколько групп от устойчивых (78%) до восприимчивых (11%).

Для более объективного распределения анализируемых популяций по устойчивости отделенных листьев к бактериозу был рассчитан средневзвешенный общий балл поражения. На его основании образцы были распределены на группы устойчивости листовой розетки в пределах каждой группы устойчивости по корнеплоду (рис. 4). Выявлено, что во всех группах устойчивости корнеплодов присутствовали

Таблица 2. Степень развития симптомов бактериоза при искусственном заражении водной суспензией Psa 1-21 [1,2x10⁹ кл/мл] корнеплодов и отделенных листьев растений различных популяций свеклы столовой
Table 2. The degree of development of symptoms of bacteriosis in case of artificial contamination with an aqueous suspension of Psa 1-21 [1,2 x 10⁹ cells/ml] of root crops and separated leaves of plants of various populations of beetroot

Номер образца	Корнеплод		Лист							
			хлороз		некроз		увядание		среднее	
	балл	ГУ	балл	ГУ	балл	ГУ	балл	ГУ	балл	ГУ
Красный бархат	0,5 ^{ав}	ОУ	0,3 ^{a}	У	0,3 ^{a}	У	0,8 ^{abc}	ОУ	0,5 ^{ab}	У
323	0,0 ^{a}	У	2,0 ^{bcdef}	СВ	0,2 ^{a}	У	0,7 ^{ab}	ОУ	1,0 ^{abcd}	ОУ
330-2	0,0 ^{a}	У	3,0 ^{efg}	В	0,2 ^{ab}	ОУ	0,3 ^{a}	У	1,3 ^{b}	СВ
325	0,0 ^{a}	У	1,7 ^{abcde}	ОУ	0,0 ^{a}	У	1,0 ^{abcd}	СВ	1,6 ^{d}	В
371	0,0 ^{a}	У	1,3 ^{abcde}	ОУ	0,8 ^{ab}	ОУ	0,2 ^{a}	У	0,8 ^{abcd}	ОУ
378	0,0 ^{a}	У	3,0 ^{fg}	В	0,7 ^{ab}	ОУ	0,2 ^{a}	У	1,3 ^{b}	СВ
321-1	0,2 ^{ab}	ОУ	0,8 ^{abc}	ОУ	1,7 ^{ab}	ОУ	2,2 ^{d}	В	1,4 ^{d}	В
331	0,1 ^{ab}	ОУ	2,3 ^{cdefg}	СВ	1,0 ^{ab}	ОУ	0,7 ^{ab}	ОУ	1,3 ^{b}	СВ
332	0,2 ^{ab}	ОУ	1,2 ^{abcd}	ОУ	0,5 ^{ab}	ОУ	2,0 ^{cd}	В	1,3 ^{b}	СВ
361	0,3 ^{abc}	ОУ	2,7 ^{defg}	СВ	1,0 ^{ab}	ОУ	0,8 ^{abc}	ОУ	1,5 ^{d}	В
397-2	0,3 ^{abcd}	ОУ	1,8 ^{abcdef}	ОУ	0,5 ^{ab}	ОУ	0,8 ^{abc}	ОУ	1,0 ^{abcd}	ОУ
380-2	0,3 ^{abcd}	ОУ	2,2 ^{bcdef}	СВ	0,2 ^{a}	У	2,0 ^{cd}	В	1,4 ^{c}	СВ
362	1,1 ^{abcde}	СВ	3,7 ^{g}	В	0,3 ^{a}	У	0,3 ^{a}	У	1,4 ^{c}	СВ
379	1,1 ^{abcde}	СВ	1,3 ^{abcd}	ОУ	2,0 ^{b}	СВ	0,8 ^{abc}	ОУ	1,5 ^{c}	СВ
328	1,1 ^{abcde}	СВ	0,8 ^{abcd}	ОУ	0,3 ^{a}	У	1,3 ^{abcd}	СВ	0,9 ^{abcd}	ОУ
382	1,1 ^{abcde}	СВ	3,7 ^{g}	В	0,2 ^{a}	У	0,8 ^{abc}	ОУ	1,6 ^{d}	В
326	1,1 ^{abcde}	СВ	2,2 ^{bcdef}	СВ	0,7 ^{ab}	ОУ	1,0 ^{abcd}	СВ	1,3 ^{b}	ОУ
390	1,2 ^{bcde}	СВ	1,5 ^{abcde}	ОУ	0,8 ^{ab}	ОУ	1,7 ^{bcd}	В	1,3 ^{b}	СВ
352-1	1,4 ^{cdef}	СВ	2,0 ^{bcdef}	СВ	0,7 ^{ab}	ОУ	0,2 ^{a}	У	0,9 ^{abcd}	СУ
325	1,4 ^{def}	СВ	3,3 ^{fg}	В	0,5 ^{ab}	ОУ	0,8 ^{abc}	ОУ	1,6 ^{d}	В
350	1,5 ^{def}	СВ	1,3 ^{abcd}	ОУ	1,0 ^{ab}	ОУ	1,2 ^{abcd}	СВ	1,2 ^{abcd}	ОУ
351	1,7 ^{ef}	В	2,0 ^{bcdef}	СВ	1,2 ^{ab}	ОУ	1,2 ^{abcd}	СВ	1,4 ^{c}	В
329-2	1,7 ^{ef}	В	0,3 ^{a}	У	0,5 ^{ab}	ОУ	0,3 ^{a}	У	0,4 ^{a}	У
358	1,9 ^{ef}	В	2,5 ^{defg}	СВ	0,5 ^{ab}	ОУ	0,3 ^{a}	У	1,1 ^{abcd}	ОУ
341-1	1, 9 ^{ef}	В	0,8 ^{abc}	ОУ	0,5 ^{ab}	ОУ	0,3 ^{a}	У	0,6 ^{abc}	ОУ
312-3	2,0 ^{ef}	В	0,8 ^{abc}	ОУ	0,7 ^{ab}	ОУ	0,2 ^{a}	У	0,6 ^{abc}	ОУ
359	2,5 ^{fg}	В	2, 5 ^{defg}	СВ	1,0 ^{ab}	ОУ	0,2 ^{a}	У	1,2 ^{abcd}	ОУ
324-2	3,4 ^{g}	В	2,2 ^{bcdef}	СВ	0,5 ^{ab}	СВ	0,7 ^{ab}	ОУ	1,1 ^{abcd}	ОУ
Маруся	1,9 ^{ef}	В	1,5 ^{abcde}	ОУ	1,5 ^{ab}	ОУ	2,0 ^{cd}	В	1,7 ^{d}	В

Примечание: существенность различий с вероятностью 95% согласно тесту Дункана между образцами по уровню проявления симптомов бактериоза обозначена буквами в индексах (a-g).ГУ – группа устойчивости.
Note: the significance of differences with a 95% probability according to the Duncan test between samples in terms of the level of symptoms of bacteriosis is indicated by letters (a-g). ГУ - sustainability group

образцы с относительной устойчивостью листьев, причем в крайних группах их доля была сопоставима и составила около 60% от числа образцов в группе. В то же время, доля средневосприимчивых образцов по листьям снижалась по мере снижения устойчивости корнеплодов, а восприимчивых соответственно, наоборот – увеличивалась. При этом среди устойчивых по корнеплоду отсутствовали образцы, восприимчивые к бактериозу по листьям, в группе относительной устойчивых по корнеплоду их доля составила всего 15%.

То есть, в расщепляющихся инбредных потомствах, в отличие от более выровненных популяций (сорта, гибриды F_1, чистые линии), отмечается значительная вариабельность сочетания устойчивости различных органов спорофита к бактериальной инфекции. В данном случае более эффективным будет являться отбор по уровню устойчивости корнеплодов, что существенно снижает вероятность отбора форм с восприимчивостью листовой розетки (рис.4).

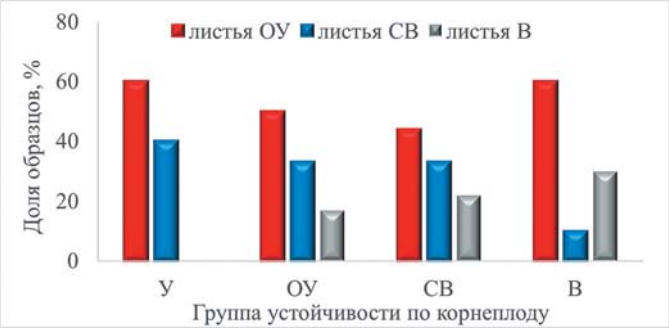


Рис. 4. Распределение инбредных потомств свеклы столовой по устойчивости к бактериозу по отделенным листьям в пределах групп устойчивости корнеплодов по результатам искусственного заражения в условиях in vitro водной суспензией Psa 1-21
Fig. 4. Distribution of inbred table beet progeny by bacterial resistance by separated leaves within root crop resistance groups based on the results of artificial in vitro contamination with an aqueous suspension of Psa 1-21

Из разных по сочетанию устойчивости корнеплодов и листьев групп, было отобрано 12 наиболее ценных по комплексу селекционно значимых признаков инбредных потомств для изучения реакции микрогаметофита на заражение Psa 1-21. В исследования были включены две концентрации водной суспензии патогена – высокая $1{,}2 \times 10^9$ кл/мл (исходная) и низкая $2{,}4 \times 10^8$ кл/мл (разведение 2:8), влияние которых на функциональные параметры пыльцы устойчивых и восприимчивых генотипов, как было установлено выше, отличается (рис. 5).

В результате, как и в опытах со спорофитом, у инбредных потомств был отмечен более широкий спектр эффектов влияния бактерий на показатели ЖСП и длину пыльцевых трубок. Как видно на рисунке 5, у семи образцов отмечено ингибирование, а у пяти – стимулирование прорастания пыльцевых зерен относительно контроля, но в обеих выборках присутствовали образцы из всех групп устойчивости по корнеплоду. В то же время, в пределах этих выборок эффект влияния на скорость роста пыльцевых трубок образцов существенно отличался – от полного ингибирования (№330-2) до стимулирования в 2,5 раза (№352-1-4).

В данном случае, как показал анализ, для ранжирования образцов более информативным является коэффициент стрессоустойчивости (Ks), который совмещает в себе оба эти показателя. При этом, важным фактором при ранжировании образцов свеклы столовой по устойчивости к Psa 1-21 с использованием этого коэффициента является уровень жизнеспособности пыльцы в контроле. Внутри групп с низкой, средней и высокой ЖСП устойчивые по корнеплоду образцы имели более низкий коэффициент стрессоустойчивости по сравнению с восприимчивыми образцами (табл. 3).

Более тесная сопряженность (R^2=0,66) между баллом поражения корнеплодов и значениями Ks отмечена при использовании низкой концентрации патогена в питательной среде для проращивания пыльцы (рис. 6). Причем, анализ внутрипопуляционного полиморфизма по уровню устойчивости корнеплодов и длине пыльцевых трубок в средней пробе микрогаметофита дает возможность не только выявить уровень гетерогенности инбредных потомств, определить соотношение различных по устойчивости фракций в популяции, но и дать прогноз их соотношения в последующем потомстве на основании изучения кривых распределения микрогаметофита по длине пыльцевых трубок при разных концентрациях Psa 1-21 в среде.

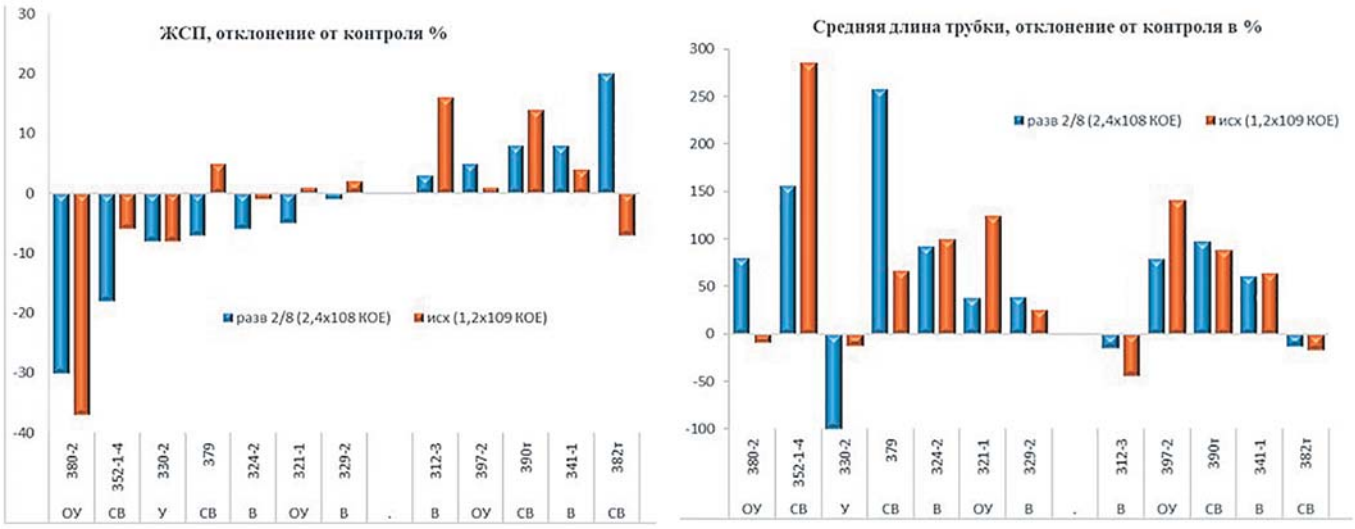


Рис. 5. Распределение инбредных популяций свеклы столовой по эффектам влияния водной суспензии Psa 1-21 на ЖСП и длину пыльцевых трубок относительно контроля при искусственном заражении
Fig. 5. Distribution of inbred beetroot populations according to the effects of Psa 1-21 aqueous suspension on LSP and pollen tube length relative to control during artificial infection

Таблица 3. Коэффициент стрессоустойчивости микрогаметофита под воздействием водной суспензии различающихся по устойчивости корнеплодов свеклы столовой к Psa 1-21 в группах образцов с разным уровнем жизнеспособности пыльцевых зерен
Table 3. Coefficient of stress resistance of microgametophyte under the influence of aqueous suspension of beetroot crops differing in resistance to Psa 1-21 in groups of samples with different levels of viability of pollen grains

№ образца	Доля проросших, ЖСП %			Средняя длина трубки ± стандартное отклонение, мкм			Суммарная длина трубок 100 п.з., мкм			Коэффициент стрессоустойчивости (Ks)			Группа устойчивости корнеплода
	Контроль	2,4x10⁸ КОЕ	1,2x10⁹ КОЕ	Контроль	2,4x10⁸ КОЕ	1,2x10⁹ КОЕ	Контроль	2,4x10⁸ КОЕ	1,2x10⁹ КОЕ	2,4x10⁸ КОЕ	1,2x10⁹ КОЕ	среднее	
группа с низким уровнем ЖСП<10% в контроле													
330-2	8	1	0	24±8	21±8	-	192	21	0	0,1	0,0	0,1	У
324-2	7	2	6	27±11	64±16	52±12	189	128	312	0,7	1,7	1,2	В
329-2	10	9	12	31±8	28±10	43±11	310	252	516	0,8	1,7	1,2	В
312-3	8	11	24	39±10	39±18	33±13	312	429	792	1,4	2,5	2,0	В
ср.	8	5	11	30	44	43	251	186	405	0,7	1,5	1,0	
группа со средним уровнем 10<ЖСП<20% в контроле													
321-1	11	5	11	29±8	41±19	40±7	319	205	440	0,6	1,4	1,0	ОУ
397-2	12	17	13	34±4	67±10	61±7	408	1139	793	2,8	1,9	2,4	ОУ
390т	16	24	30	35±8	72±11	69±14	560	1728	2070	3,1	3,7	3,4	СВ
341-1	20	28	24	28±4	71±13	45±10	560	1988	1080	3,6	1,9	2,7	В
ср.	16	23	22	32	70	58	509	1618	1314	3,1	2,5	2,8	
группа с высоким уровнем ЖСП>20% в контроле													
380-2	63	33	26	35±8	49±14	63±12	2205	1617	1638	0,7	0,7	0,7	ОУ
379	25	18	30	21±4	27±6	75±24	525	486	2250	0,9	4,3	2,6	СВ
352-1-4	46	28	40	27±5	63±19	69±12	1242	1764	2760	1,4	2,2	1,8	СВ
382т	48	68	41	73±13	87±13	63±11	3504	5916	2583	1,7	0,7	1,2	СВ
ср.	46	37	34	39	57	68	1869	2446	2308	1,2	2,0	1,6	

Таким образом, в результате проведенных исследований для дальнейшей работы были выделены две относительно устойчивые к бактериозу фертильные линии закрепители стерильности «В» - №151 и №196, а также для поиска новых источников и создания на их основе устойчивых к бактериозу линий «С» - инбредные потомства №№ 330-2, 321-1, 397-2 и 352-1-4 (рис. 7), которые обладают комплексом других селекционных и хозяйственно-ценных признаков. Описание и характеристика выделенных инбредных потомств и линий приведена в таблице 4. Отобранные популяции включены в селекционный процесс для создания отечественных промышленных конкурентоспособных гибридов с устойчивостью к бактериозу.

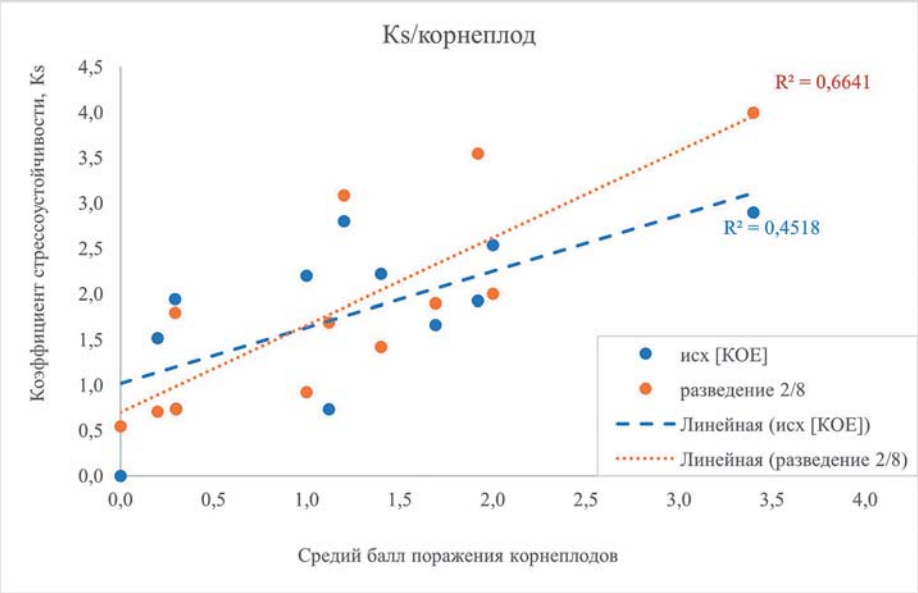


Рис. 6. Взаимосвязь между коэффициентом стрессоустойчивости (Ks) микрогаметофита при разных концентрациях водной суспензии штамма Psa 1-21 [1,2x10⁹ кл/мл (исх.) и 2,4x10⁸ кл/мл (разведение 2:8)] и уровнем устойчивости корнеплодов (балл поражения) инбредных потомств свеклы столовой
Fig. 6. The relationship between the stress resistance coefficient (Ks) of microgametophyte at different concentrations of aqueous suspension of Psa 1-21 [1,2 x10⁹ cells/ml (ex.) and 2,4 x 10⁸ cells/ml (dilution 2:8)] and the level of root crop resistance (damage score) of inbred beet progeny

Таблица 4. Характеристика линий и инбредных потомств свеклы столовой, отобранных по устойчивости к Psa в результате искусственного заражения, по комплексу селекционно-ценных и хозяйственно значимых признаков
Table 4. Characteristics of lines and inbred descendants of table beet selected for resistance to Psa as a result of artificial infection, according to a complex of breeding-valuable and economically significant traits

Номер образца	Направление селекции	Товарная урожайность, кг/м²	Средняя масса товарного корнеплода, г	Товарность, %	Окраска мякоти, балл	Индекс формы корнеплода		Характеристика
						балл	V, %	
151	В	3,8	148	86	4,5	0,9	12	Корнеплоды округлой формы с гладкой поверхностью, тонким осевым корешком, маленькой головкой, красной мякотью, без ярко-выраженных колец. Листовая розетка прямостоячая с черешками средней длины.
196	В	3,9	153	85	4,5	0,9	7	Корнеплоды округлой формы с тонким осевым корешком, средней головкой, красной мякотью, без ярко-выраженных колец. Листовая розетка прямостоячая.
397-2	В	3,5	117	88	4,5	1,1	14	Корнеплоды округлой или слегка овальной формы с тонким осевым корешком, средней головкой. Мякоть красная и интенсивно-красная без ярко-выраженных колец. Листовая розетка полупрямостоячая, компактная. Относительно устойчивый к церкоспорозу.
330-2	С	4,4	155	85	5,0	1,0	18	Корнеплоды округлой формы с тонким осевым корешком, гладкой поверхностью, маленькой головкой, интенсивно-красной мякотью. Листовая розетка полупрямостоячая.
321-1	С	4,2	156	89	5,0	1,0	21	Корнеплоды округлой формы с очень тонким осевым корешком, гладкой поверхностью, маленькой головкой, интенсивно-красной мякотью. Листовая розетка полураскидистая.
352-1	С	5,1	180	90	5,0	1,1	17	Корнеплоды округлой формы с очень тонким осевым корешком, гладкой поверхностью, маленькой головкой, интенсивно-красной мякотью. Листовая розетка полураскидистая.

Заключение

В результате проведенного поэтапного скрининга генетически-разнообразного линейного и инбредного материала свеклы столовой по устойчивости к *Pseudomonas siringae aptata* на разных стадиях развития (спорофит, гаметофит) установлено, что спорофитная резистентность контрастных по устойчивости генотипов свеклы к Psa определяется уровнем органоспецифичной устойчивости. При инокуляции как корнеплодов, так и отделенных листьев относительно устойчивых к бактериозу константных линий (№151 и №196), наблюдали незначительное распространение бактериоза – до 1,0/0,5 баллов соответственно. У восприимчивой линии №158 развитие бактериоза происходило более интенсивно и достигало по корнеплоду 1,9 баллов, по листьям – 1,5 балла с частичной потерей тургора.

На уровне микрогаметофита более информативным оказалось использование в качестве селектирующего агента водной бактериальной суспензии. Линии более четко дифференцировались согласно обратной взаимосвязи реакции пыльцы и спорофита, выявленной в предыдущих исследованиях на контрастных по устойчивости сортах [19]. Наиболее высокие показатели ЖСП и средней длины пыльцевых трубок отмечены у восприимчивой линии №158, у которой отклонение от контроля соответственно составило 20% и 154%, тогда как у относительно устойчивой по спорофиту линии №196 - ингибирование

Рис. 7. Линии и инбредные потомства свеклы столовой, отобранные по устойчивости к бактериозу
Fig. 7. Lines and inbred progeny of beetroot, selected for resistance to bacteriosis

прорастания на 30%, при стимулировании роста трубок всего на 40% по сравнению с контролем. При этом коэффициент корреляции между баллом развития бактериоза при заражении корнеплодов и ЖСП микрогаметофита на питательной среде с добавлением суспензии Psa 1-21 составлял r=0,97, длинной пыльцевой трубки - r=0,85. Степень взаимосвязи между интенсивностью проявления симптомов бактериоза на отделенных листьях анализируемых линий и реакцией микрогаметофита при добавлении в питательную среду водной суспензии была менее выражена.

В результате дальнейшего скрининга генетически неоднородных инбредных потомств свеклы столовой разных поколений по устойчивости к бактериозу с использованием водной суспензии Psa 1-21 в двух концентрациях ($1,2x10^9$ КОЕ/мл и $2,4x10^8$ КОЕ/мл) установлено, что в расщепляющихся потомствах, в отличие от константных линий, отмечается значительная вариабельность сочетания устойчивости различных органов спорофита к бактериальной инфекции. В данном случае более эффективным является отбор по уровню устойчивости корнеплодов, что существенно снижает вероятность отбора форм с восприимчивостью листовой розетки.

На уровне микрогаметофита, как и по спорофиту, у инбредных потомств был отмечен более широкий спектр эффектов влияния бактерий на показатели ЖСП и длину пыльцевых трубок. В данном случае, для ранжирования образцов более информативным является коэффициент стрессоустойчивости (Ks), который совмещает в себе оба эти показателя. При этом, важным фактором при распределении потомств с использованием этого коэффициента является уровень жизнеспособности пыльцы в контроле. Внутри групп с низкой, средней и высокой ЖСП устойчивые по корнеплоду образцы имели более низкий коэффициент стрессоустойчивости по сравнению с восприимчивыми образцами. Более тесная сопряженность (R2=0,66) между баллом поражения корнеплодов и значениями Ks отмечена при использовании низкой концентрации патогена в питательной среде для проращивания пыльцы. Причем, анализ внутрипопуляционного полиморфизма по уровню устойчивости корнеплодов и длине пыльцевых трубок в средней пробе микрогаметофита в образце дает возможность не только выявить уровень гетерогенности инбредных потомств, определить соотношение различных по устойчивости фракций в популяции, но и дать прогноз их соотношения в последующем потомстве.

В результате проведенных исследований было отобрано две селекционные константные линии №151 и №196 (ОУ - относительно устойчивые к бактериозу) и четыре перспективных инбредных потомств (№№330-2 (У), 321-1 (ОУ), 397-2 (ОУ) и 352-1-4 (СВ)). Данные образцы характеризуются комплексом селекционно-ценных и хозяйственно-значимых признаков (рис. 7): корнеплоды округлой или слегка овальной формы с тонким осевым корешком, гладкой поверхностью, маленькой или средней головкой, интенсивно-красной мякотью, с устойчивостью к кагатной гнили и церкоспорозу. Данные линии включены в селекционный процесс для создания устойчивых к бактериозу отечественных промышленных конкурентоспособных гибридов свеклы столовой.

• Литература

1. http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106 (дата обращения 26.02.25)
2. Солдатенко А.В., Аварский Н.Д. Технико-технологическая оснащенность производства овощных культур в России. *Овощи России.* 2025;(1):92-101. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-92-101 https://www.elibrary.ru/hrwify
3. Ветрова С.А., Вюртц Т.С., Заячковская Т.В., Степанов В.А. Современное состояние рынка овощных корнеплодов в РФ и пути решения проблемы продовольственной безопасности. *Овощи России.* 2020;(2):16-22. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-2-16-22 https://www.elibrary.ru/frzyol
4. Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Федорова М.И. Ускорение селекционного процесса для создания линейного материала свеклы столовой. *Овощи России.* 2019;(1):29-36. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-29-36 https://www.elibrary.ru/fhksep
5. Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Енгалычева И.А., Мухина К.С. Скрининг селекционных линий свеклы столовой по устойчивости к фомозу. *Таврический вестник аграрной науки.* 2023;4(36):38–50. https://doi.org/10.5281/zenodo.10276686
6. Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Енгалычева И.А., Мухина К.С. Оценка устойчивости селекционного материала свеклы столовой к болезням хранения. *Биосфера.* 2022;14(4):282-287. https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i4.696
7. Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Мухина К.С., Заячковский В.А. Патогенность московского изолята *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* в отношении культуры свеклы столовой. *Достижения науки и техники АПК.* 2024;(10):63-70. https://doi.org/10.53859/02352451_2024_38_10_63
8. Sharma S., Cramer C.S. Selection Progress for Resistance to Fusarium Basal Rot in Short-Day Onions Using Artificial Inoculation Mature Bulb Screening. *Horticulturae.* 2023;9(99). https://doi.org/10.3390/horticulturae9010099
9. Игнатов А.Н., Панычева Ю.С., Воронина М.В., Гресис В.О., Пакина Е.Н. Ожог листьев и гниль корнеплодов сахарной свёклы, вызванные *Pseudomonas syringae* pv. *aptata* в Российской Федерации. *Сахар.* 2018;(7):14-17. https://elibrary.ru/xwfgmx
10. Yang P., Zhao L., Gao Y.G., Xia Y. Detection, Diagnosis, and Preventive Management of the Bacterial Plant Pathogen *Pseudomonas syringae. Plants (Basel).* 2023;25;12(9):1765. https://doi.org/10.3390/plants12091765
11. Lelliott R.A., Billing E., Hayward A.C. A Determinative Scheme for the Fluorescent Plant Pathogenic Pseudomonads. *Journal of Applied Bacteriology.* 1966;29(3):470–489. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1966.tb03499.x
12. Morris C., Glaux C., Latour X., Gardan L., Samson R., Pitrat M. The relationship of host range, physiology, and genotype to virulence on cantaloupe in Pseudomonas syringae from cantaloupe blight epidemics in France. *Phytopathology.* 2000;90(6):636–646. https://doi.org/10.1094/phyto.2000.90.6.636
13. Панычева Ю.С., Воронина М.В., Гресис В.О., Игнатов А.Н. Бактериальные болезни сахарной свёклы в Российской Федерации: распространение и вредоносность. *Сахар.* 2017;(11):2-6. https://elibrary.ru/zxmdnn
14. Sowmya H.H., Sumalatha G.M., Showkath Babu B.M., Supriya S.M., Ramya V., Kamatar M.Y. Pollen selection for selection of genotypes against different stress environments. Journal of *Pharmacognosy and Phytochemistry.* 2018;7(1):3046-3049. https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1756844
15. Ottaviano E., Sari-Gorla M. Gametophytic and sporophytic selection. In: Hayward, M.D., Bosemark, N.O., Romagosa, I., Cerezo, M. (eds) Plant Breeding. Plant Breeding Series. 1993, Springer, Dordrecht. P. 332-352. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1524-7_21
16. Ravikumar R.L., Patil B.S., Soregaon C.D. et al. Genetic evidence for gametophytic selection of wilt resistant alleles in chickpea. *Theor Appl Genet.* 2007;114:619–625. https://doi.org/10.1007/s00122-006-0462-4
17. Агафонов А.Ф., Шмыкова Н.А. Использование мужского гаметофита в селекции лука репчатого на устойчивость к бактериозу. Методические указания по селекции и семеноводству луковых культур. М.: ВНИИССОК, 1997. С. 28-31.
18. Балашова Н.Н., Игнатов А.Н., Самохвалов А.Н., Рогачев Ю.Б., Шмыкова Н.А. Жизнеспособность микрогаметофита белокочанной капусты под влиянием возбудителей бактериозов и килы. *Сельскохозяйственная биология.* 1995;(5):115-118.
19. Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Мухина К.С., Енгалычева И.А. Влияние Pseudomonas syringae pv. aptata на функциональные характеристики микрогаметофита сортов свеклы столовой с разным уровнем устойчивости к бактериозу. *Овощи России.* 2024;(6):117-127. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-117-127 https://www.elibrary.ru/ivzsfx
20. Буренин В.И., Пивоварова Н.С., Власова Э.А.

Методические указания по изучению и поддержанию мировой коллекции корнеплодов. Ленинград: ВНИИР им. Вавилова; 1989. 88 с.
21. Самохвалов А.Н. Методы селекции овощных растений на устойчивость к болезням. Москва: АО «Моспромстройматериалы»; 1997. 206 с.
22. Козарь Е.Г., Фёдорова М.И., Ветрова С.А., Заячковский В.А., Степанов В.А. Оценка функциональных параметров микрогаметофита инбредных растений свеклы столовой (методические рекомендации). Москва: ООО «Полиграф Плюс». 2017. 34 с.
23. Данвелл Д.М., Бутенко Р.Г. Культура гаплоидных клеток. Биотехнология растений: культура клеток. М.: Агропромиздат. 1989. 33-51.
24. Маковей М.Д., Игнатова С.И. Микрогаметофитный отбор при селекции томата на устойчивость к стрессам. *Картофель и овощи.* 2010;(1):27-28.

●References

1. http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106 (accessed 02.26.25).
2. Soldatenko A.V., Avarskii N.D. Technical and technological equipment of vegetable crops production in Russia. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(1):92-101. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-92-101 https://www.elibrary.ru/hrwify
3. Vetrova S.A., Vjurtts T.S., Zayachkovskaya T.V., Stepanov V.A. Current state of the vegetable root crop market in the Russian Federation and ways to solve the problem of food security. *Vegetable crops of Russia.* 2020;(2):16-22. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-2-16-22 https://www.elibrary.ru/frzyol
4. Vetrova S.A., Kozar E.G., Fedorova M.I. Acceleration of the breeding process to create a linear material of red beet. *Vegetable crops of Russia.* 2019;(1):29-36. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-29-36 https://www.elibrary.ru/fhksep
5. Vetrova S.A., Kozar E.G., Engalycheva I.A., Mukhina K.S. Screening of beet breeding lines for resistance to fomosis. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences.* 2023;4 (36):38–50. (In Russ.) https://doi.org/10.5281/zenodo.10276686
6. Vetrova S.A., Kozar E.G., Engalycheva I.A., Mukhina K.S. Assessment of the resistance of table beet seed material to storage diseases. *Biosphere.* 2022;14(4):282-287. (In Russ.) https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i4.696
7. Vetrova S.A., Kozar E.G., Mukhina K.S., Zayachkovsky V.A. Pathogenicity of the Moscow isolate Pseudomonas syringae pv. aptata in relation to table beet culture. Achievements of science and technology of the Agroindustrial Complex. 2024;(10):63-70. (In Russ.) DOI:10.53859/02352451_2024_38_10_63
8. Sharma S., Cramer C.S. Selection Progress for Resistance to Fusarium Basal Rot in Short-Day Onions Using Artificial Inoculation Mature Bulb Screening. *Horticulturae.* 2023;9(99). https://doi.org/10.3390/horticulturae9010099
9. Ignatov A.N., Panicheva Yu.S., Voronina M.V., Greg s.o., Pakina E.N. Leaf burn and root rot of sugar beet caused by Pseudomonas syringae pv. aptata in the Russian Federation. Sugar. 2018;(7):14-17. (In Russ.) https://elibrary.ru/xwfgmx
10. Yang P., Zhao L., Gao Y.G., Xia Y. Detection, Diagnosis, and Preventive Management of the Bacterial Plant Pathogen *Pseudomonas syringae. Plants (Basel).* 2023;25;12(9):1765. https://doi.org/10.3390/plants12091765
11. Lelliott R.A., Billing E., Hayward A.C. A Determinative Scheme for the Fluorescent Plant Pathogenic Pseudomonads. *Journal of Applied Bacteriology.* 1966;29(3):470–489. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1966.tb03499.x
12. Morris C., Glaux C., Latour X., Gardan L., Samson R., Pitrat M. The relationship of host range, physiology, and genotype to virulence on cantaloupe in Pseudomonas syringae from cantaloupe blight epidemics in France. *Phytopathology.* 2000;90(6):636–646. https://doi.org/10.1094/phyto.2000.90.6.636
13. Panicheva Yu.S., Voronina M.V., Greg S.O., Ignatov A.N. Bacterial diseases of sugar beet in the Russian Federation: spread and harmfulness. Sugar. 2017;(11):2-6. (In Russ.) https://elibrary.ru/zxmdnn
14. Sowmya H.H., Sumalatha G.M., Showkath Babu B.M., Supriya S.M., Ramya V., Kamatar M.Y. Pollen selection for selection of genotypes against different stress environments. Journal of *Pharmacognosy and Phytochemistry.* 2018;7(1):3046-3049. https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1756844
15. Ottaviano E., Sari-Gorla M. Gametophytic and sporophytic selection. In: Hayward, M.D., Bosemark, N.O., Romagosa, I., Cerezo, M. (eds) Plant Breeding. Plant Breeding Series. 1993, Springer, Dordrecht. P. 332-352. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1524-7_21
16. Ravikumar R.L., Patil B.S., Soregaon C.D. et al. Genetic evidence for gametophytic selection of wilt resistant alleles in chickpea. *Theor Appl Genet.* 2007;114:619–625. https://doi.org/10.1007/s00122-006-0462-4
17. Agafonov A.F., Shmykova N.A. The use of male gametophyte in onion breeding for resistance to bacteriosis. Methodological guidelines for the breeding and seed production of onion crops. Moscow: VNIISSOK, 1997. pp. 28-31. (In Russ.)
18. Balashova N.N., Ignatov A.N., Samokhvalov A.N., Rogachev Yu.B., Shmykova N.A. Viability of the microgametophyte of white cabbage under the influence of bacteriosis and kila pollutants. *Agricultural biology.* 1995;(5):115-118. (In Russ.)
19. Vetrova S.A., Kozar E.G., Muhina K.S., Engalycheva I.A. The influence of Pseudomonas syringae pv. aptata on the functional characteristics of the microgametophyte of beetroot varieties with different levels of resistance to bacteriosis. *Vegetable crops of Russia.* 2024;(6):117-127. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-117-127 https://www.elibrary.ru/ivzsfx
20. Burenin V.I., Pivovarova N.S., Vlasova E.A. Methodological guidelines for the study and maintenance of the world collection of root crops. Leningrad: VNIIR named after Vavilova; 1989. 88 p. (In Russ.)
21. Samokhvalov A.N. Methods of breeding vegetable plants for disease resistance. Moscow: Mospromstroymaterialy JSC; 1997. 206 p. (In Russ.)
22. Kozar E.G., Fedorova M.I., Vetrova S.A., Zayachkovsky V.A., Stepanov V.A. Evaluation of the functional parameters of the microgametophyte of inbred beetroot plants (methodological recommendations). Moscow: LLC "Polygraph Plus". 2017. 34 p. (In Russ.)
23. Dunwell D.M., Butenko R.G. Haploid cell culture. Plant biotechnology: cell culture. Moscow: Agropromizdat. 1989. P. 33-51. (In Russ.)
24. Makovey M.D., Ignatova S.I. Microgametophytic selection in tomato breeding for stress resistance. *Potato and vegetables.* 2010;(1):27-28. (In Russ.)

Об авторах:
Светлана Александровна Ветрова – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, http://orcid.org/0000-0002-9897-0413, SPIN-код: 9887-1667, автор для переписки, lana-k2201@mail.ru
Ксения Сергеевна Мухина – младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, https://orcid.org/0000-0002-7407-4139, SPIN-код: 1103-3413, kseniyamukhina@yandex.ru
Елена Георгиевна Козарь – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, https://orcid.org/0000-0002-1319-5631, SPIN-код: 1148-5177, kozar_eg@mail.ru
Ирина Александровна Енгалычева – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, зав. лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, https://orcid.org/0000-0003-4843-111X, SPIN-код: 2084-2830, engirina1980@mail.ru

About the Authors:
Svetlana A. Vetrova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory Molecular Immunological Research, http://orcid.org/0000-0002-9897-0413, SPIN-code: 9887-1667, Corresponding Author, lana-k2201@mail.ru
Kseniya S. Muhina – Junior Researcher of the Laboratory Molecular Immunological Research, https://orcid.org/0000-0002-7407-4139, SPIN-code: 1103-3413, kseniyamukhina@yandex.ru
Elena G. Kozar – Cand. Sci. (Agriculture), Head Researcher of the Laboratory Molecular Immunological Research, https://orcid.org/0000-0002-1319-5631, SPIN-code: 1148-5177, kozar_eg@mail.ru
Irina A. Engalycheva – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Laboratory Molecular Immunological Research, https://orcid.org/0000-0003-4843-111x, S PIN-code: 2084-2830, engirina1980@mail.ru

Краткое сообщение / Short communication

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-50-54
УДК: 635.611:631.526.32(477.75)

Ю.Н. Костанчук*,
Н.А. Елисеева

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»
295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150

Автор для переписки: kostanchuk_yu@niishk.site

Вклад авторов: Все авторы участвовали в планировании и постановке эксперимента, а также анализе экспериментальных данных и написании статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Костанчук Ю.Н., Елисеева Н.А. Экологическое испытание новых сортов дыни в Крыму. *Овощи России.* 2025;(3):50-54. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-50-54

Поступила в редакцию: 19.02.2025
Принята к печати: 24.03.2025
Опубликована: 07.07.2025

Экологическое испытание новых сортов дыни в Крыму

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Промышленное производство бахчевых культур сосредоточено, главным образом, на Юго-Востоке России, что обусловлено климатическими ресурсами. В настоящее время особое внимание среди сельхозтоваропроизводителей уделяется расширению ассортимента бахчевых культур, с целью удовлетворения спроса на любой вкус. Для сокращения производственных рисков от воздействия климатических условий зоны выращивания, необходимо проведение экологических испытаний с целью расширения ареала распространения новых сортов. Цель работы: получить достоверную оценку основных показателей новых сортов дыни в условиях предгорной зоны Крыма.

Материал и методика. Для решения поставленной задачи в отделе селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма», расположенном в с. Укромное, Симферопольского района, в период 2023–2024 годов, проведены исследования по испытанию трёх новых сортов дыни селекции Быковской бахчевой селекционной опытной станции – филиала ФГБНУ ФНЦО. Опыты проводили согласно Методических указаний по селекции бахчевых культур, Методике полевого опыта в овощеводстве.

Результаты исследований. В среднем за 2 года, выявлено преимущество сорта Гармония по урожайности и средней массе одного плода над местным сортом Насолода. Максимальные значения товарной урожайности плодов соответствовали сорту Гармония, разница с контролем составляла 37,4%. Средняя масса товарного плода изучаемых сортов изменялась в пределах от 1,6 до 4,4 кг, наибольшей массой отличались плоды сорта Гармония, разница с контролем составляла 36,8%. По биохимическим свойствам мякоти плодов выделился сорт Кассандра. Превышение по содержанию общих сахаров составляло – 22,5%, редуцирующих – 36,7%. По устойчивости к наиболее распространённым болезням все три сорта превосходили Насолоду.

Заключение. Таким образом, по комплексу основных признаков для производства в южном регионе, а именно Республике Крым, можно рекомендовать два сорта дыни: Гармонию и Кассандру.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
дыня (*Cucumis melo* L.), сорт, урожайность, свойства плодов, дегустация, исследования

Yuliya N. Kostanchuk*,
Nadezhda A. Eliseeva

Federal State Budgetary Institution of Science
“Research Institute of Agriculture of Crimea”
150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia

*** Corresponding Author:** kostanchuk_yu@niishk.site

Authors´ Contribution: All authors contributed to the planning and setting up the experiment, as well as in the analysis of experimental data and writing of the article.

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

For citation: Kostanchuk Yu.N., Eliseeva N.A. Ecological testing of new melon varieties in Crimea. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):50-54. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-50-54

Received: 19.02.2025
Accepted for publication: 24.03.2025
Published: 07.07.2025

Ecological testing of new melon varieties in Crimea

ABSTRACT

Relevance. Industrial production of melons is mainly concentrated in the South-East of Russia due to climatic resources. At present, special attention among producers is paid to expanding the assortment of melon crops in order to meet the demand for all tastes. In order to reduce production risks from the impact of climatic conditions of the growing area, it is necessary to conduct environmental trials to expand the area of distribution of new varieties. Purpose of work: to obtain a reliable assessment of the main indicators of new melon varieties in the conditions of the foothill zone of the Crimea.

Material and methodology. To solve this problem in the department of breeding and seed production of vegetable and melon crops FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea" located in the village of Ukromnoye, Simferopol district, during 2023 – 2024, conducted research on testing three new varieties of melon selection Bykovskaya Melon Breeding Experimental Station is a branch of the FSBSI "Federal Scientific Center of Vegetable Growing". The experiments were conducted according to the Methodological Guidelines for breeding melon crops, Methodology of field experiment in vegetable growing .

Results. On average for 2 years, the advantage of Harmony variety in yield and average weight of one fruit over local variety Nasoloda was revealed. The maximum values of marketable fruit yield corresponded to Harmony variety, the difference with the control was 37.4 %. The average weight of marketable fruit of the studied varieties varied from 1.6 to 4.4 kg, the greatest weight was characterized by fruits of Harmony variety, the difference with the control was 36.8 %. In terms of biochemical properties of fruit pulp, the variety Cassandra stood out. The excess in the content of total sugars was 22.5 %, reducing sugars – 36.7 %. All three varieties surpassed Nasoloda in resistance to the most widespread diseases.

Conclusion. Thus, two varieties can be recommended for production in our region according to the complex of main features: Harmony and Cassandra.

KEYWORDS:
melon (*Cucumis melo* L.), variety, yield, fruit properties, tasting, research

Введение

Дыня издавна занимала особое место в рационе человека любого возраста. Это излюбленное лакомство для детей и взрослых. Благодаря богатому содержанию полезных биохимических веществ в составе плодов, специфике вкуса, наличию диетических и лечебных свойств, её популярность с каждым годом возрастает [1, 2, 3].

Дыня выращивается в 130 странах мира [4]. Общемировое производство дынь составляет в среднем около 28,617 млн. тонн в год, уборочная площадь 1,077 млн. га с урожайностью 26,6 т/га. По данным ФАО, первое место принадлежит странам Азии (22,045 млн. тонн; 77 %), второе – странам Америки (3,291 млн. тонн; 11%) и третье – странам Европы (1,961 млн. тонн; 7%). Лидером по выращиванию плодов дыни является Китай, с объёмом производства в 14,071 млн. т. в год. Второе место принадлежит Турции, с валовым сбором плодов около1,64 млн. т., Индия уступает ей лишь на 9,82 %. В последние годы расширил свои посевные площади под этой культурой Казахстан с производством товарной продукции в 1,395млн.тонн в год, это в 2,5 раза больше, чем в США. В России под бахчевыми культурами в среднем занято от 90,806 до 104,2 тыс. га, при валовом сборе 1689 тыс. т., с урожайностью 18,6 т/га [4]. По данным Крымстата в 2023 году под бахчевыми культурами в Крыму было занято 680,3 га.

Промышленное производство в РФ сосредоточено, главным образом, на Юго-Востоке страны, что обусловлено климатическими ресурсами, ограничивающими распространение теплолюбивых бахчевых культур, особенно дыни, сортовой состав которой богат и разнообразен [1, 2, 4, 5]. В государственный Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ, внесено в 2024 году 196 образцов дыни, из них 120 отечественной селекции. Благодаря созданию новых генотипов и совершенствованию технологий выращивания, зоны возделывания дыни расширяются [6, 7]. Производственники всё больше проявляют интерес к новым сортам, не уступающим по уровню урожайности импортным аналогам[8]. В курортной зоне Крыма всё больше внимания уделяется использованию разноообразных форм дыни с различными вкусовыми свойствами. Ассортимент предлагаемой на рынке продукции должен удовлетворять спрос на любой вкус. При этом целесообразно использовать уже имеющийся селекционный материал различных экологических регионов [6, 7, 9]. Известно, что реакция каждого отдельного генотипа в меняющихся внешних условиях, индивидуальна и различна [7, 10]. Поэтому для расширения ареала распространения новых сортов, необходимо их сравнительное изучение в других климатических условиях [7, 9, 11]. Проведение экологических испытаний позволяет дифференцировать сорта по их реакции на агрофон и адресно внедрять в производство, это способствует получению гарантированных урожаев без потерь от воздействия климатических факторов зоны возделывания и дополнительных затрат на интенсификацию приёмов технологий [5, 6, 9, 10].

Цель работы – агроэкологическая оценка основных хозяйственно ценных показателей новых сортов дыни селекции Быковской БСОС – филиала ФГБНУ ФНЦО в условиях предгорной зоны Крыма.

Материалы, методы и условия проведения опытов

Опыты по сравнительной оценке новых сортов дыни проводились в отделе селекции и семеноводства овощных и бахчевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Укромное, Симферопольского района) в течении 2023–2024 гг. Объектом изучения были3 новых среднеспелых сорта дыни: Гармония, Катюша и Кассандра, селекции Быковской БСОС филиала ФГБНУ ФНЦО. Исследования проводили согласно Методических указаний по селекции бахчевых культур [12, 13]. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2010 [14]. Высев семян осуществляли с 27 апреля по 11 мая, при прогревании почвы на глубине 8–10 см до 15°С, рядовым способом на 140 см. Площадь питания растения 1,5 м^2. Площадь делянки 50 м2, повторность трехкратная. В качестве контроля был взят среднеспелый сорт дыни Насолода, селекции ФГБУН «НИИСХ Крыма».

Перед посевом семена замачивали в растворе регулятора роста «Циркон» (4 мг на 100 г воды) в смеси с гуматом и микроэлементами в течении 6–8 часов, затем во влажном состоянии их протравливали смесью препаратов «Фундазол» + «Базудин» в дозе 4 г на 1 кг семян. Перед высевом семян проводили местное внесение гранулированных минеральных удобрений в виде аммофоса в дозе 150 кг/га. Дальнейшие технологические приёмы по уходу и подкормке растений применяли по состоянию и потребности растений на момент их развития. Опыты размещали в условиях капельного орошения. В процессе изучения образцов дыни проводили фенологические, биометрические измерения, учёт урожая, оценку товарности плодов. Анализировали выровненность морфологических признаков изучаемых форм, степень поражения растений основными болезнями (пероноспороз, антракноз, фузариоз) и вредителями [14]. Качество плодов оценивали визуально, органолептически, с помощью полевого рефрактометра и в лабораторных условиях.

Почва на опытном участке представлена южным карбонатным тяжелосуглинистым чернозёмом. По гранулометрическому составу она является тяжёлым слабо-структурным суглинком. Содержание гумуса в пахотном слое – 4,3 %, азота – 3,2 мг/100 г, фосфора – 8,9 мг/100 г, калия – 64,8 мг/100 г почвы, pH солевой – 8,3.

Исследования проводили в нижнем Предгорном агроклиматическом районе Крыма с умеренно континентальным климатом, характеризующимся неустойчивым увлажнением. Средние годовые температуры воздуха 9–12°С. Для данного района обычным является жаркое лето при средних температурах июля плюс 23–24°С и максимальных – плюс 35–39°С. Средняя температура самого холодного месяца февраля – от минус 2 до минус 10°С. Для района характерна резкая континентальность, продолжительный вегетационный период и засухи. Годовое количество осадков в среднем составляет 325–450 мм. Снежный покров неустойчив. Промерзание почвы в холодные зимы достигает глубины до 1,0 м, а в тёплые – 0,2–0,4 м.

За период проведения опытов погодные условия существенно отличались. Температурный режим вегетационного периода 2023 года характеризовался умеренными значениями среднесуточных температур. Превышение среднемесячных температур над нормой составляло всего от 1,7 до 3,8°С. В мае среднесуточные температуры изменялись в пределах от 8,0 до 18,7°С, максимальные достигали значений 24–26°С (с 16.05 по 21.05), что говорит об умеренно тёплой погоде. В мае количество выпавших осадков, было на 28% ниже нормы. Первая половина июня характеризова-

лась умеренными среднесуточными значениями температуры воздуха, которые превышали норму всего на 1,6–2,5 °С. Вторая половина лета была достаточно жаркой, максимальные температуры достигали показателей 36,4°С в июле, 37,3°С – в августе. Осадки выпадали неравномерно, в виде ливневых дождей, количество которых в августе соответствовало 34,7 мм против 35,0 мм по норме. За весь период вегетации с апреля по сентябрь выпало 228 мм против276 мм по средним многолетним данным (Рис. 1,2).

Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха в период вегетации, °С
Fig. 1. Average daily air temperature during the growing season, °C

Рис. 2. Количество осадков в период вегетации, мм
Fig. 2. Amount of precipitation during the growing season, mm

Период вегетации 2024 года резко отличался от предшествующего года и характеризовался более сухой и жаркой погодой. Превышение среднесуточных температур наблюдалось в течение всей вегетации, за исключением мая. В этот период они превышали среднемноголетние показатели на 4,1 –5,5°С. Максимальные значения дневных температур достигали в июне 33,8 °С, июле – 39,1, в августе– 35,8, сентябре – 35,1 °С. Такая жаркая погода при капельном орошении способствовала не только значительному повышению урожая, но и улучшению биохимических показателей плодов. Дефицит осадков за весь период вегетации, по сравнению с предшествующим годом, составил 41,1 мм, против нормы 89,1 мм. Низкие показатели воздушной и почвенной влаги (в период начала цветения бахчевых культур она изменялась в пределах 49,1 – 61,3%, при минимальных значениях 17–22% в первой и второй декадах июля), создавали необходимость полива растений в вечернее время суток. При этом, низкая влажность воздуха сдерживала появление болезней.

Результаты и обсуждение

Эффективное использование генетических ресурсов растений возможно только на основании их изучения по основным хозяйственно ценным признакам [3, 10]. Для рекомендаций к применению необходимо сначала испытать тот или иной новый генотип в конкретных условиях региона [9].

По результатам фенологических наблюдений выявлено, что все изучаемые сорта относятся к группе среднеспелых образцов с периодом «всходы – начало созревания плодов» 76-86 суток (табл.1, рис.3, 4, 5, 6).

Сорт Гармония отличался самой высокой товарностью плодов по сравнению со стандартом – местным сортом Насолода. Все испытуемые сорта в 2024 году имели достоверное превышение над контролем по урожайности плодов. Сухой воздух и высокие дневные температуры способствовали формированию хорошего урожая. Следует отметить, что в 2024 году самым урожайным был сорт дыни Кассандра. Очевидно, что этот сорт хорошо отзывается на повышение температурного режима. Товарность плодов у

Таблица 1. Основные хозяйственно ценные показатели дыни в среднем за 2023-2024 гг
Table 1. Main economically valuable parameters of melon varieties in average for 2023-2024

Название сорта, линии	Период «всходы – начало созревания плодов», суток	Товарная урожайность плодов, т/га			Товарность плодов, %	Масса 1 плода, кг			Толщина мякоти, см	Индекс плода
		2023 год	2024 год	$\bar{X}$		2023 год	2024 год	$\bar{X}$		
Насолода – стандарт	78	27,4	31,4	29,4	91±4	2,1	1,6	1,9	3,9	1,6
Гармония	76	40,7	40,1	40,4	98±5	2,7	2,5	2,6	4,6	1,2
Катюша	82	28,6	36,4	32,5	96±4	1,9	2,1	2,0	4,2	1,0
Кассандра	86	23,2	46,0	34,6	97±3	1,7	2,3	2,0	4,3	1,0
$НСР_{05}$	-	11,3	4,1	6,3	-	0,5	0,3	0,4	-	-

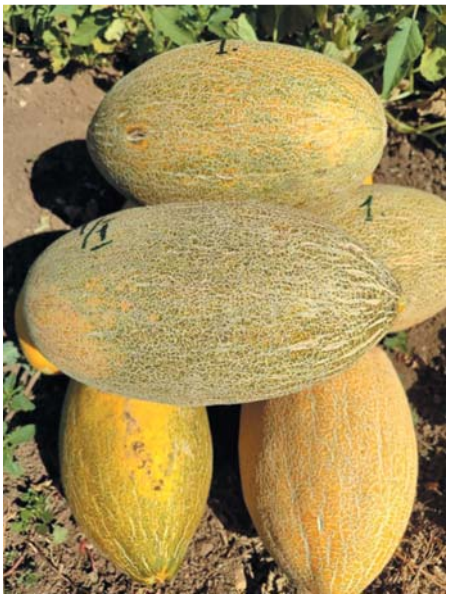


Рис. 3. Сорт дыни Насолода

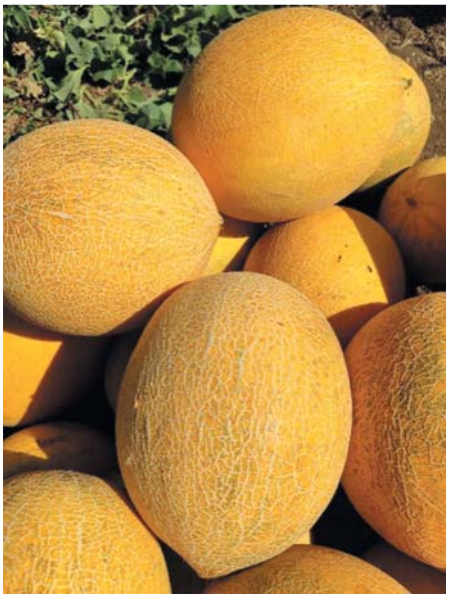


Рис. 4. Сорт дыни Гармония

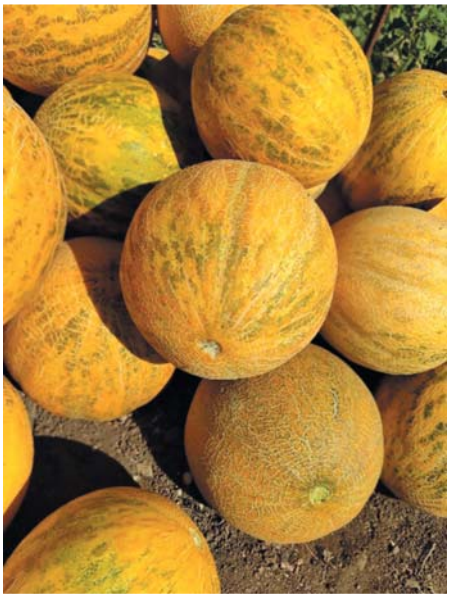


Рис. 5. Сорт дыни Катюша

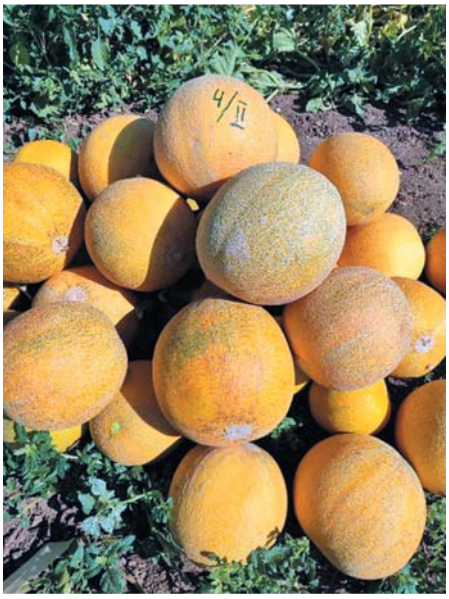


Рис. 6. Сорт дыни Кассандра

Таблица 2. Биохимические показатели новых сортов дыни в среднем за 2 года
Table 2. Average biochemical indices of new melon varieties over 2 years

Название сорта, линии	Содержание сухого вещества в мякоти плодов, %		Содержание сахаров, %		Содержание витамина С, мг/%	Дегустационная оценка, баллы
	по рефрактометру	методом высушивания	общих	редуцирующих		
Насолода	12,8 ±0,6	8,5 ± 0,3	12,0±0,3	7,7 ±0,0	4,85 ±0,09	4,25 ± 0,18
Гармония	11,7 ±0,5	10,3 ± 0,2	12,6±0,4	7,7 ±0,1	4,98 ±0,07	3,95 ± 0,16
Катюша	11,3 ±0,8	9,1 ± 0,2	14,0±0,2	11,0±0,2	5,70 ±0,17	3,75 ± 0,26
Кассандра	14,2 ±0,4	11,2 ± 0,2	14,7±0,2	10,5±0,3	7,53 ±0,09	3,95 ± 0,15
$НСР_{05}$	2,52	0,66	0,93	0,75	0,43	0,28

всех сортовых образцов была больше 90 %, однако выделились по данному признаку Гармония и Кассандра. Средняя масса товарного плода изучаемых сортов изменялась в пределах от 1,6 до 4,4 кг, наиболее крупные плоды были у сорта Гармония. Форма плода у сорта Гармония была округлоовальная, Катюша и Кассандра имели классическую круглую форму, что и показывает индекс плода. Красивый товарный вид характерен для всех сортов, но более толстая мякоть сахаристого белого цвета соответствовала сорту Гармония. Лучшей лёжкостью и транспортабельностью отличались сорта Катюша и Кассандра. По итогам сравнительной оценки новых сортов дыни за два года исследований, по урожайности, выходу товарных плодов и их средней массе выделялся сорт Гармония; Кассандра и Катюша были на уровне стандарта (табл. 1). Дегустационная оценка плодов дыни в среднем за 2 года, показала преимущество местного сорта Насолода, однако следует отметить, что в 2024 году самую высокую оценку на дегустации получил сорт Кассандра – 4,6 балла (табл. 2).

Биохимический анализ мякоти плодов дыни, представленный в таблице 2, показывает, что наибольшее количество сухого вещества и общих сахаров накапливалось у сорта Кассандра, на 22,5 и 36,7% соответственно больше, чем у стандарта, сорта Насолода. Наибольшее количество витамина С накапливалось в мякоти плодов сорта Кассандра, что на 55,2 % выше стандарта. В отношении поражения болезнями, все новые сорта проявляли большую степень устойчивости, чем сорт Насолода, особенно сорт Кассандра.

Заключение

Таким образом, по итогам изучения новых сортов дыни за два года, по комплексу хозяйственно ценных признаков, можно выделить сорт Гармония. Для производства в южных регионах РФ, а именно Республике Крым, можно рекомендовать два сорта дыни: Гармонию и Кассандру.

• Литература

1. Быковский Ю.А. Проблемы и перспективы развития бахчеводства России. *Картофель и овощи.* 2014;(6):2-4. https://www.elibrary.ru/sfbhiz
2. Быковский Ю.А. Новые сорта дыни для товарного производства. *Картофель и овощи.* 2013;(5):29. https://www.elibrary.ru/qiwudp
3. Kesh H., Kaushik P. Advances in melon (*Cucumis melo* L.) breeding: An update. *Scientia Horticulturae.* 2021;(282):5-47. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110045
4. Koleboshina T.G., Varivoda E.A. Melon growing industry analysis in modern economic conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience", Russky Island: Institute of Physics Publ.* 2020;(459):062075. https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/6/062075
5. Лазько В.Э., Варивода Е.А., Якимова О.В., Ковалева Е.В., Бочерова И.Н., Ковалев Р.К. Экологическое испытание сортов арбуза волгоградской и краснодарской селекции в разных зонах юга России. *Овощи России.* 2022;(4):17-22. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-4-17-22 https://www.elibrary.ru/eetzac
6. Варивода Е.А., Лазько В.Э., Тайшибаева Э.У. Экологическое испытание сортов дыни селекции Быковской опытной станции. *Овощи России.* 2023;(4):82-86. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-82-86 https://www.elibrary.ru/stgmvo
7. Лазько В.Э., Варивода Е.А., Якимова О.В., Ковалева Е.В., Масленникова Е.С. Адаптивная способность сортов дыни отечественной селекции к различным агроэкологическим зонам. *Рисоводство.* 2022;(1):53-58. https://doi.org/10.33775/1684-2464-2022-54-1-53-58 https://www.elibrary.ru/gpfobu
8. Корнилова М.С. Создание нового исходного материала для селекции дыни с комплексом хозяйственно ценных признаков. *Известия ФНЦО.* 2021;(3):29-34. https://doi.org/10.18619/2658-4832-2021-3-4-29-34 https://www.elibrary.ru/wweoxh
9. Лазько В.Э., Варивода Е.А., Якимова О.В., Ковалёва Е.В., Масленникова Е.С., Владимиров С.А. Агроэкологическое испытание сортов дыни и арбуза в Краснодарском крае и Волгоградской области. *Рисоводство.* 2023;2(59):71-78. https://doi.org/10.33775/1684-2464-2023-59-2-71-78 https://www.elibrary.ru/rjreel
10. Корнилова М.С., Курунина Д.П., Варивода Г.В. Создание конкурентоспособных сортов дыни и тыквы с ценными хозяйственными признаками. *Овощи России.* 2021;(6):36-41. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-6-36-41
11. Суслова В.А., Корнилова М.С., Рябчикова Н.Б. Влияние погодных условий на урожайность и биохимический состав плодов дыни в Волгоградском Заволжье. *Овощи России.* 2022;(3):39-43. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-39-43 https://www.elibrary.ru/ynhbih
12. Фурса Т.Б. Селекция бахчевых культур: методические указания. Л.: ВИР, 1988. 78 с.
13. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. Москва: Россельхозакадемия, 2011. 648 с.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книгапотребованию, 2012. 352 с.

•References

1. Bykovsky Yu.A. Problems and prospects of development of melon growing in Russia. *Potato and vegetables.* 2014;(6):2-4. (In Russ.) https://www.elibrary.ru/sfbhiz
2. Bykovsky Yu.A. New melon varieties for commercial production. *Potato and vegetables.* 2013;(5):29. (In Russ.) https://www.elibrary.ru/qiwudp
3. Kesh H., Kaushik P. Advances in melon (*Cucumis melo* L.) breeding: An update. *Scientia Horticulturae.* 2021;(282):5-47. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110045
4. Koleboshina T.G., Varivoda E.A. Melon growing industry analysis in modern economic conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience", Russky Island: Institute of Physics Publ.* 2020;(459):062075. https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/6/062075
5. Lazko V.E., Varivoda E.A., Yakimova O.V., Kovaleva E.V., Bocherova I.N., Kovalev R.K. Ecological testing of Volgograd and Krasnodar variety of watermelon breeding in different zones of the south of Russia. *Vegetable crops of Russia.* 2022;(4):17-22. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-4-17-22 https://www.elibrary.ru/eetzac
6. Varivoda E.A., Lazko V.E., Taishibaeva E.U. Ecological testing of melon varieties bred at the Bykovskaya Experimental Station. *Vegetable crops of Russia.* 2023;(4):82-86. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-82-86 https://www.elibrary.ru/stgmvo
7. Lazko V.E., Varivoda E.A., Yakimova O.V., Kovaleva E.V., Maslennikova E.S. Adaptive ability of melon varieties of domestic breeding to various agroecological zones. *Rice growing.* 2022;(1):53-58. (In Russ.) https://doi.org/10.33775/1684-2464-2022-54-1-53-58 https://www.elibrary.ru/gpfobu
8. Kornilova M.S. Creation of a new source material for melon breeding with a complex of economically valuable traits. *News of FSVC.* 2021;(3):29-34. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2658-4832-2021-3-4-29-34 https://www.elibrary.ru/wweoxh
9. Lazko V.E., Varivoda E.A., Yakimova O.V., Kovaleva E.V., Maslennikova E.S., Vladimirov S.A. Agroecological testing of melon and watermelon varieties in the Krasnodar Territory and the Volgograd region. *Rice growing.* 2023;2(59):71-78. (In Russ.) https://doi.org/10.33775/1684-2464-2023-59-2-71-78 https://www.elibrary.ru/rjreel
10. Kornilova M.S., Kurunina D.P., Varivoda G.V. Creation of competitive varieties of melon and pumpkin with valuable economic trends. *Vegetable crops of Russia.* 2021;(6):36-41. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-6-36-41 https://www.elibrary.ru/tmsuzo
11. Suslova V.A., Kornilova V.S., Ryabchikova N.B. The influence of weather conditions on the yield and biochemical composition of melon fruits in the Volgograd Trans-Volga region. *Vegetable crops of Russia.* 2022;(3):39-43. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-39-43 https://www.elibrary.ru/ynhbih
12. Fursa T.B. Selection of melon crops: methodological guidelines. L.: VIR, 1988. 78 p. (In Russ.)
13. Litvinov S.S. Methods of field experience in vegetable growing. M. 2011. 649 p. (In Russ.)
14. Dospekhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p. (In Russ.)

Об авторах:

Юлия Николаевна Костанчук – старший научный сотрудник, ФГБУН «НИИСХ Крыма», https://orcid.org/0000-0002-3410-6634, Researcher ID AAD-2541-2019, Scopus ID 57208166002, РИНЦ ID850054, автор для переписки, kostanchuk_yu@niishk.site

Надежда Алексеевна Елисеева – научный сотрудник, ФГБУН «НИИСХ Крыма», https://orcid.org/0000-0003-3542-5351, Researcher ID AAN-3753-2021, РИНЦ ID850663,e-mail: nadezhda.19.60@mail.ru

About the Authors:

Yulia N. Kostanchuk – Senior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution "Scientific Research Institute of the Crimea", https://orcid.org/0000-0002-3410-6634, Researcher ID AAD-2541-2019, Scopus ID 57208166002, Corresponding Author, kostanchuk_yu@niishk.site

Nadezhda A. Eliseeva – Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution "Scientific Research Institute of the Crimea", https://orcid.org/0000-0003-3542-5351, Researcher ID AAN-3753-2021, РИНЦ ID850663, nadezhda.19.60@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-55-60
УДК: 582.929:581.19

Е.Н. Еремеева*,
Е.Л. Маланкина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
(ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)
127550, Российская Федерация,
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Автор для переписки: e.tkacheva@rgau-msha.ru

Вклад авторов. Еремеева Е.Н.: проведение и анализ лабораторных и полевых исследований, оформление рукописи. Маланкина Е.Л.: научное руководство исследованием, методология, верификация и администрирование данных, создание рукописи и её редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Еремеева Е.Н., Маланкина Е.Л. Стабильность накопления флавоноидов как видовая особенность представителей семейства Яснотковые. *Овощи России.* 2025;(3):55-60. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-55-60

Поступила в редакцию: 28.01.2025
Принята к печати: 19.03.2025
Опубликована: 07.07.2025

Стабильность накопления флавоноидов как видовая особенность представителей семейства Яснотковые

РЕЗЮМЕ

Цель. В работе проведена оценка 14 хозяйственно значимых видов из семейства Яснотковые (Lamiaceae). Целью работы является сравнительная оценка представителей семейства Яснотковые по стабильности состава сырья в зависимости от условий года, что позволит прогнозировать качество сырья для дальнейшего его использования и переработки.

Методы. Основное внимание в работе уделяется определению урожайности и содержанию флавоноидов. Урожайность определяли в 4-х кратной повторности, размер учётной делянки 0,66 м^2 (1 погонный метр при междурядьях 60 см). Сумму флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр «Shimadsu»).

Результаты. У выбранных для исследования видов оптимальным сроком уборки является период начала-массового цветения, который в условиях Московской области приходится на последнюю декаду июня – первую декаду июля. Максимальная урожайность в среднем за 4 года была у монарды дудчатой (350±42 г/м^2), котовника крупноцветкового (363±40 г/м^2) и змееголовника молдавского (440±76 г/м^2). Исходя из средних четырёхлетних значений максимальное содержание флавоноидов отмечено в сырье мяты перечной (3,52%), а в 2017 и 2018 годах превышало 4%. На 1% ниже и чуть более было содержание флавоноидов у шалфея лекарственного (2,62%), тимьяна ползучего (2,44%), душицы обыкновенной (2,59 %). Из 14 изучаемых культур у 7 средние значения находились в пределах 2-3%.

Заключение. Накопление флавоноидов в растениях из семейства Яснотковые видоспецифично и у многих растений сильно варьирует по годам. Только лофант анисовый из 14 характеризовался стабильным содержанием флавоноидов, на что указывает коэффициент вариации ниже 10%. Змееголовник молдавский, монарда дудчатая, тимьян обыкновенный, тимьян ползучий, душица обыкновенная и чабер садовый характеризовались средним коэффициентом вариации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
лекарственные растения, вторичные метаболиты, лекарственное сырье, флавоноиды, Яснотковые

Elena N. Eremeeva*,
Elena L. Malankina

Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127434, Russia

Correspondence Author: e.tkacheva@rgau-msha.ru

Authors' Contribution: Eremeeva E.N.: conducting and analyzing laboratory and field studies, manuscript preparation. Malankina E.L.: scientific supervision of the study, methodology, verification and administration of data, creation of the manuscript and its editing.

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

For citation: Eremeeva E.N., Malankina E.L. Accumulation stability of flavonoids as a species characteristic Lamiaceae family. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):55-60. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-55-60

Received: 28.01.2025
Accepted for publication: 19.03.2025
Published: 07.07.2025

Accumulation stability of flavonoids as a species characteristic Lamiaceae family

ABSTRACT

The aim. The work evaluates 14 economically significant species from the Lamiaceae family. The aim of the work is a comparative assessment of the species from Lamiaceae family by the stability of the composition of raw materials depending on the year weather conditions, which will allow predicting the raw materials quality for its use and processing.

Methods. The focus of the work is on determining the yield and flavonoid content. The yield was determined in 4-fold repetition; the size of the plot was 0.66 m^2 (1 linear meter with 60 cm row spacing). The sum of flavonoids was been determined by the spectrophotometric method («Shimadsu» spectrophotometer).

Results. The optimal harvesting period for the study-selected species is the beginning of mass flowering, which in the Moscow region falls on the last ten days of June – the first ten days of July. The maximum yield on average over 4 years was in *Monarda fistulosa* (350±42 g/m^2), *Nepeta grandiflora* (363±40 g/m^2) and *Dracocephalum moldavica* (440±76 g/m^2). Based on the average four-year values, the maximum flavonoid content was noted in peppermint raw materials (3.52%), and in 2017 and 2018 it exceeded 4%. The flavonoid content was 1% and slightly more lower in *Salvia officinalis* (2.62%), *Thymus serpyllum* (2.44%), and *Origanum vulgare* (2.59%). The species 7 of the 14 studied had average values within 2-3%.

Conclusion. Flavonoid accumulation in plants of the Lamiaceae family is species-specific and varies greatly from year to year. Only Agastache foeniculum has a stable flavonoid content, as indicated by a variation coefficient below 10%. *Dracocephalum moldavica, Monarda fistulosa, Thymus vulgaris, Thymus serpyllum, Origanum vulgare,* and *Satureja hortensis* were been characterized by an average variation coefficient.

KEYWORDS:
medicinal plants, secondary metabolites, medicinal raw materials, flavonoids, Lamiaceae

Введение

Флавоноиды являются одной из важнейших и наиболее многочисленной группой полифенольных фармакологически значимых вторичных метаболитов. В настоящий момент идентифицировано более 8000 соединений флавоноидной природы [1]. Они обладают высокой биологической активностью и оказывают широкий спектр действия на человеческий организм. Особенно ценится антиоксидантный эффект флавоноидов, что делает важными фармацевтическими субстанциями для профилактики таких серьёзных заболеваний как рак, болезнь Альцгеймера, атеросклероз и т. д. [2]. Растительные экстракты, содержащие флавоноиды являются ценным компонентом в различных нутрицевтических, фармацевтических, медицинских и косметических средств. Это связано с их антиоксидантными, противовоспалительными, антимутагенными и антиканцерогенными свойствами. Они также давно известны как мощные ингибиторы нескольких ферментов, таких как ксантиноксидаза, циклооксигеназа, липоксигеназа и фосфоинозитид 3-киназа [3,4]. Также флавоноиды могут проявлять желчегонное, успокаивающее, спазмолитическое действие. Лю с соавт. [5] сообщили, что байкалеин может подавлять репликацию вируса COVID-19 в клетках, ингибируя основную протеазу тяжелого острого респираторного синдрома коронавируса 2 (SARS-CoV-2). Другие исследования с помощью рентгеновской белковой кристаллографии дали схожие результаты и подтвердили режим связывания байкалеина с 3C-подобной протеазой SARS-CoV-2 [6].

В растении предшественником флавоноидов является аминокислота фенил аланин, из которой путем ступенчатых ферментативных реакций образуются флавоноиды [7]. Флавоноиды выполняют множество функций в растении. Они могут действовать как УФ-протекторы [8], фитоалексины, сигнальные молекулы, регуляторы роста, аллелохимические вещества и детоксифицирующие агенты [9], стимулировать прорастание спор и семян, а также действовать как аттрактанты опылителей. Флавоноиды, такие как кверцетин и рутин, могут защищать растительные мембраны от окислительного стресса [10].

Для многих видов характерна внутривидовая изменчивость по содержанию флавоноидов, а также их различный состав в зависимости от органа растения [11,12]. Накопление максимального количества флавоноидов связано с определённой фазой развития растения [13]. Содержание флавоноидов во многом зависит не только от наследственных факторов [14], но и абиотических условий, таких как температура, влажность воздуха, осадки, состав почвы, а также от географических факторов, в частности высоты над уровнем моря, широтности и связанным с ней спектральным составом света, числом солнечных дней и интенсивности ультрафиолетового спектра [15,16]. Сведения, касающиеся влияния почвенно-климатических условий на накопление флавоноидов многочисленны, но не системны. Зачастую указываются противоположные условия, как способствующие биосинтезу флавоноидов. В подходе к изучению влияния интенсивности света и качества на фотосинтез и накопление флавонолов в гинкго билоба [17] обнаружено, что изучаемое растение накапливает флавоноиды при низком уровне УФ-излучения. Su с соавторами [18] зафиксировали, что *Erigeron breviscarpus* при снижении интенсивности света снижает накопление флавоноидов. Высокая интенсивность света благоприятствует выработке ауксина, который контролирует процесс гликозилирования флавоноидов в соответствии с интенсивностью света [19]. Относительно накопления фенольных соединений в литературе встречается мнение, что во многих случаях они являются реакцией на стресс [20]. Разница по содержанию некоторых соединений в зависимости от условий года в одном и том же растении может превышать два и более раза. Оценка таксонов по стабильности содержания целевых соединений в разные по погодным условиям годы и выявление наиболее предсказуемых по этому параметру видов является актуальной проблемой лекарственного растениеводства. Соответственно для лекарственных и эфирномасличных растений важно иметь возможность спрогнозировать качественные показатели сырья в зависимости от указанных факторов и, при необходимости, скорректировать их сроком уборки, обработкой регуляторами роста и т.д.

Семейство Яснотковые, одно из самых многочисленных среди двудольных растений, включает большое число хозяйственно значимых видов, как лекарственных, так и эфирномасличных. Флавоноиды в представителях этого семейства представлены как широко распространёнными рутином, гиперозидом, цинарозидом, лютеолином, кверцетином, апигенином и их производными [21,22], так и специфическими соединениями как, например, байкалеин и скутеллярин у шлемника байкальского [23].

Таким образом целью работы является сравнительная оценка представителей семейства Яснотковые по стабильности состава сырья в зависимости от условий года, что позволит прогнозировать качество сырья.

Методы и материалы

В наших опытах все растения выращивали в одной географической точке, на опытном поле учебно-научно-производственного центра садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна и, соответственно, в одинаковых условиях. Почва дерново-подзолистая, среднесуглинистая, хорошо оструктуренная с глубиной пахотного горизонта 20-22 см. Содержание гумуса – 2,9%, подвижного фосфора P_2O_5 – 240 мг/кг, подвижного калия K_2O -180 мг/кг, pH 6,6. Уборку растений проводили, исходя из сроков наступления технической спелости, то есть неодновременно и, соответственно, при разных погодных условиях. Следовательно, этот фактор тоже оказывал влияние на содержание фармакологически значимых соединений. Урожайность определяли в 4-х кратной повторности, размер учётной делянки 0,66 $м^2$ (1 погонный метр при междурядьях 60 см). Сумму флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр «Shimadsu»). Принцип метода определения суммарного содержания флавонолов и флавонов основан на образовании кислотоустойчивых комплексов алюминия(III) с кето-группой С-4 и/или С-3-, С-5-гидроксильными группами флавонов и флавонолов, имеющих максимумы поглощения в диапазоне длин волн 415–440 нм. Стандарт – рутин тригидрат 95%-й («Sigma»), CAS: 20767150-9 [24]. Статистическая обработка полученных результатов проведена с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

У выбранных для исследования видов оптимальным сроком уборки является период начала-массового цветения, который в условиях Московской области приходится на последнюю декаду июня- первую декаду июля. На рисунке 1 представлена урожайность культур в годы исследований.

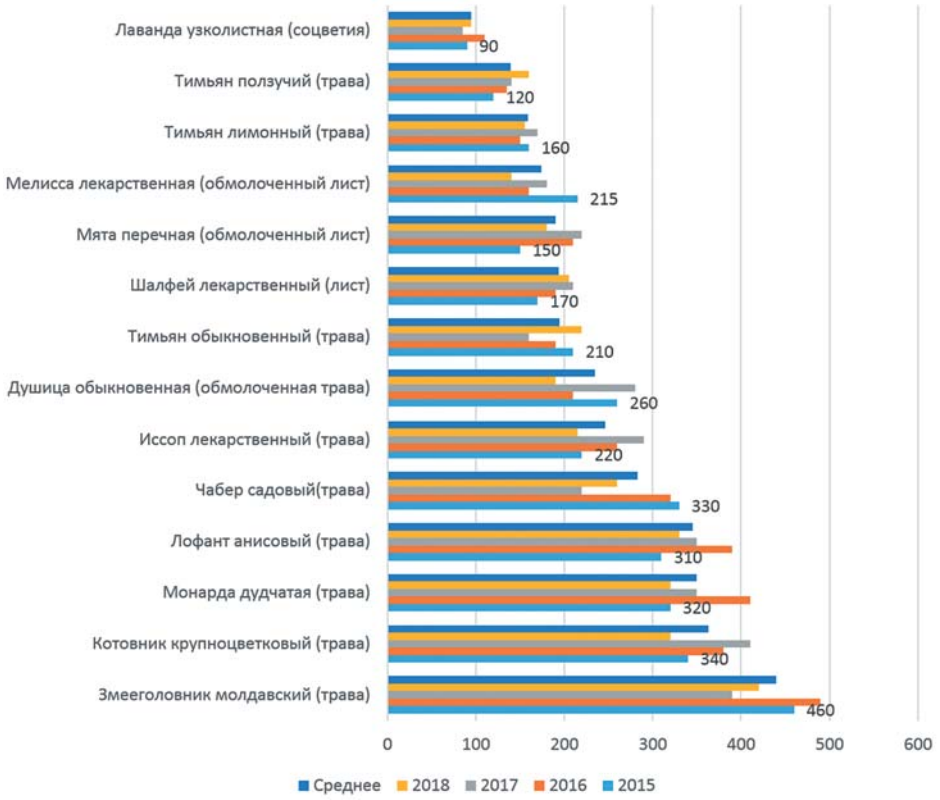


Рис. 1. Урожайность сырья изучаемых видов в фазу технической спелости, г/м 2 (средние значения по годам)
Fig. 1. Yield of raw materials of the studied species in the phase of technical maturity, g/m2 (average values by year)

Как видно на диаграмме, сбор сырья у изучаемых культур соответствовал таковому для Московской и близлежащих областей, но был значительно ниже, чем указывают для южных регионов промышленного выращивания некоторых из них [25,26]. Минимальная урожайность наблюдается у лаванды, что связано с тем, что ее сырьём являются только соцветия. Максимальная урожайность в среднем за 4 года была у монарды дудчатой (350±42 г/м^2), котовника крупноцветкового (363±40 г/м^2) и змееголовника молдавского (440±76 г/м^2). У некоторых видов отмечены значительные колебания урожайности по годам. При этом из рис. 1 видно, что урожайность многолетников не всегда увеличивалась с возрастом растения, а в значительной степени зависела от погодных условий. В частности, 2017 год был критичным для однолетних культур, которые удалось посеять только в конце мая. Соответственно позднее появление всходов и замедленный рост привели к тому, что, во-первых, к сокращению периода от посева до цветения и соответственно времени формирования биомассы, а во-вторых уборка приходилась на менее благоприятный период – начало-конец августа. У лофанта анисового, выращиваемого в однолетней культуре и высаживаемого через рассаду, урожайность менялась слабо, что подтверждает коэффициент вариации (рис.2). С другой стороны, для многолетних культур холод-

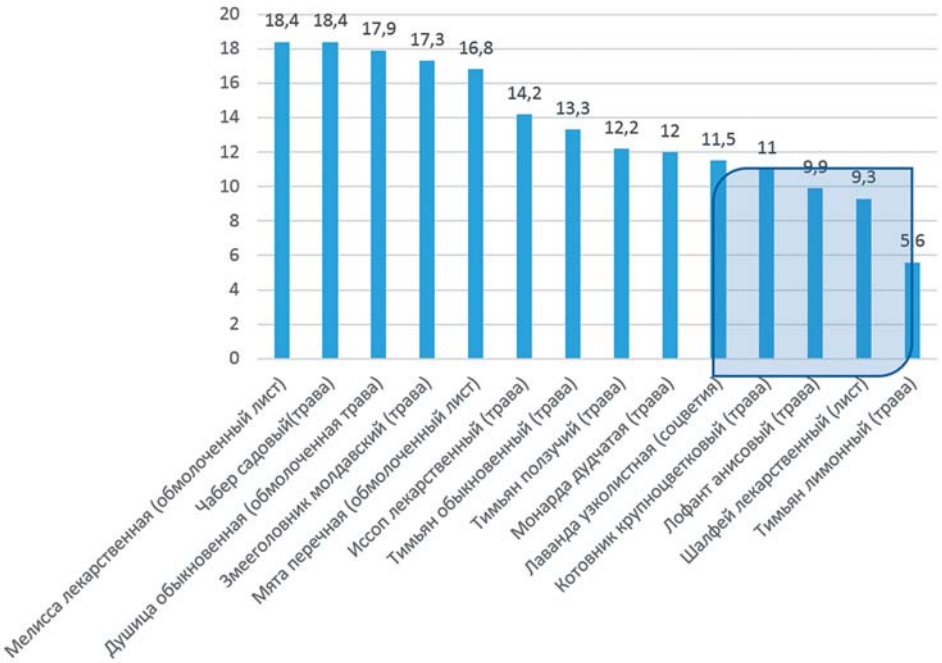


Рис. 2. Коэффициент вариации урожайности изучаемых культур
Fig. 2. Coefficient of variation of crop yields of the studied crops

ное и влажное начало лета было достаточно благоприятно, хотя у некоторых из них наблюдалось более позднее цветение.

При анализе коэффициента вариации (рисунок 2) для всех культур выявлено, что он находился в пределах от 5,6% у тимьяна лимонного до 18,4% у чабера садового и мелиссы лекарственной. Однако в большинстве случаев не зависимо от культуры он укладывался в диапазон 11-18%. Варьирование считается слабым при Cv ≤ 10%, средним - при Cv от 11 до 25% и сильным - при Cv > 25%. Как мы видим из диаграммы (рис.2) 3 вида имеют слабое варьирование, а остальные характеризовались сильным варьированием.

Слабым варьированием характеризовались тимьян лимонный (5,6%), шалфей лекарственный (9,3%) и котовник крупноцветковый (9,6%).

В целом представители семейства Яснотковые характеризуются высоким содержанием полифенолов [27], но флавоноиды составляют от 1/3 до 1/5 от суммы фенольных соединений. Учитывая, что синтез большинства фенольных соединений идёт по шикиматному пути, расхождения у разных видов в пользу определённых соединений начинается на разных этапах, которые контролируются разными ферментами и требуют различных условий. Флавоноиды единственная группа, в синтезе представителей которой участвует и шикиматный и мевалонатный путь. Вероятно, у эфирномасличных растений идёт конкуренция за продукты терпеноидного обмена между эфирными маслами и флавоноидами, что в конечном итоге приводит к относительно невысокому содержанию флавоноидов в высокомасличных растениях.

В таблице представлено содержание флавоноидов в сырье изучаемых видов в фазе технической спелости. Как уже было упомянуто в обзоре литературы, флавоноиды в Яснотковых представлены в значительной степени производными лютеолина и апигенина, а также рутином и кверцитином.

Исходя из средних четырёхлетних значений максимальное содержание флавоноидов отмечено в сырье мяты перечной (3,52%), а в 2017 и 2018 годах превышало 4%. На 1 % ниже и чуть более было содержание флавоноидов у шалфея лекарственного (2,62%), тимьяна ползучего (2,44%), душицы обыкновенной (2,59 %). Из 14 изучаемых культур у 7 средние значения находились в пределах 2-3%. По данным литературы их содержание может находиться в пределах 2,5-3,5% [28,29], что говорит о том, что в условиях Московской области их значения являются относительно высокими и соответствуют показателям сырья южного происхождения или превосходят их. Вероятно, это связано с тем, что активное образование флавоноидов наблюдается именно при пониженных температурах, в то время как при высокотемпературном стрессе содержание флавоноидов изменяется в меньшей степени и часто в сторону понижения значений.

Как видно из таблицы 1, условия года существенно влияли на содержание флавоноидов. Так в 2015 году содержание флавоноидов было почти в полтора раза больше, чем в 2016 году (2,29 и 1,54% соответственно). Интересно отметить, что, относясь к фенольным соединениям, флавоноиды накапливались в максимальных количествах в сырье в 2015 году, когда содержание суммы фенольных соединений в целом было близко к среднему значению. Достаточно большие значения у большинства видов были и в 2018 году. Это хорошо видно на рис.3.

Исходя из анализа полученных результатов, можно сказать, что для максимального накопления флавоноидов изучаемым эфироносам необходимы повышенные температуры, повышенная инсоляция и небольшое количество осадков в период, предшествующий уборке, что было отмечено в 2015 году.

Если проанализировать полученные результаты по годам у отдельных видов растений, то видно, какие из видов характеризовались наибольшей вариабельностью по содержанию флавоноидов.

На рисунке 3 хорошо видно, какие виды сильно отличаются по стабильности содержания флавоноидов, что можно связать видоспецифичной реакцией на погодные условия на момент сбора.

К наиболее вариабельным по содержанию флавоноидов

Таблица 1. Содержание флавоноидов в сырье растений в фазу технической спелости, %
Table 1. Content of flavonoids in plant raw materials at the stage of technical maturity, %

Вид	Содержание флавоноидов в фазу технической спелости, %				
	2015	2016	2017	2018	Среднее многолетнее значение
Мята перечная	4,49±0,08a	3,04±0,04	4,68±0,05	1,88±0,03	3,52 ±1,32
Шалфей лекарственный	3,41±0,04	2,97±0,05	1,75±0,04	2,36±0,03	2,62 ±0,72
Душица обыкновенная	2,75±0,09	2,15±0,06	2,50±0,04	2,98±0,01	2,59 ±0,355
Тимьян ползучий	2,96±0,04	1,90±0,03	2,37±0,04	2,54±0,04	2,44 ±0,44
Тимьян лимонный	3,12±0,05	1,63±0,05	1,75±0,04	2,16±0,04	2,17 ±0,68
Тимьян обыкновенный	2,83±0,06	1,64±0,05	2,26±0,04	2,34±0,04	2,27 ± 0,49
Чабер садовый	2,68±0,08	2,05±0,05	2,55±0,04	2,24±0,05	2,38 ± 0,29
Лофант анисовый	2,50±0,05	2,03±0,04	2,17±0,04	2,44±0,05	2,29 ± 0,22
Монарда дудчатая	2,04±0,05	1,42±0,04	1,85±0,03	2,44±0,02	1,94 ± 0,423
Мелисса лекарственная	1,14±0,03	0,82±0,05	1,55±0,03	1,95±0,02	1,37 ± 0,49
Котовник крупноцветковый	1,34±0,07	0,49±0,03	1,59±0,04	1,36±0,02	1,20 ± 0,48
Иссоп лекарственный	1,16±0,06	0,55±0,06	0,79±0,05	1,29±0,03	0,95 ± 0,34
Змееголовник молдавский	0,95±0,05	0,56±0,05	0,82±0,05	0,93±0,03	0,82 ± 0,18
Лаванда узколистная	0,70±0,06	0,30±0,03	0,60±0,03	1,01±0,04	0,65 ± 0,29

Рис. 3. Содержание флавоноидов в сырье растений в фазу технической спелости, %
Fig. 3. Content of flavonoids in plant raw materials at the stage of technical maturity, %

видам можно отнести мяту перечную (1,88 и 4,49%) и шалфей лекарственный (1,07 и 2,21 %), у которых разница между отдельными годами достигала 2-х раз. К наиболее стабильным видам можно отнести лофант анисовый (2,03 и 2,44 %), чабер садовый (2,05 и 2,68 %). Вариабельность в этом показателе по годам хорошо заметна по средним значениям: от 1,54% в 2016 году до 2,29% в 2015 году. Но не все виды именно в эти годы содержали минимальное и максимальное количество флавоноидов, что объясняется видоспецифичной реакцией на погодные условия. На рис. 4 показан коэффициент вариации этого показателя для различных видов.

Как показали наши исследования, при сильном воздействии внешних условий на накопление фармакологически значимых соединений, у некоторых видов наблюдалось довольно стабильное их содержание, что подтверждается низким коэффициентом вариации (рис.4). Это лишний раз подчеркивает значимость генетических факторов при синтезе веществ вторичного метаболизма. Но анализируя большое число видов, можно прийти к выводу, что существует определённая тенденция и у большинства таксонов для накопления каждой группы соединений нужны определённые условия, в частности в отличие от эфирного масла накопление флавоноидов может быть выше при пониженных температурах на фоне умеренных осадков. К относительно стабильным видам по содержанию флавоноидов можно отнести только лофант анисовый (Cv=9,69%). Змееголовник молдавский (Cv=21,8%), монарда дудчатая (Cv=21,8%), тимьян обыкновенный (Cv=21,5%), тимьян ползучий (Cv=17,9%), душица обыкновенная (Cv=13,7%) и чабер садовый (Cv=12,1%) остальные виды характеризовались высоким коэффициентом вариации, что говорит о сильной зависимости качества сырья от погодных условий.

Заключение

Накопление флавоноидов в растениях из семейства Яснотковые видоспецифично и у многих растений сильно варьирует по годам. Только лофант анисовый из 14 характеризовался стабильным содержанием флавоноидов, на что указывает коэффициент вариации ниже 10%. Змееголовник молдавский, монарда дудчатая, тимьян обыкновенный, тимьян ползучий, душица обыкновенная и чабер садовый характеризовались средним коэффициентом вариации. Остальные виды характеризовались сильной изменчивостью содержания флавоноидов в зависимости от погодных условий.

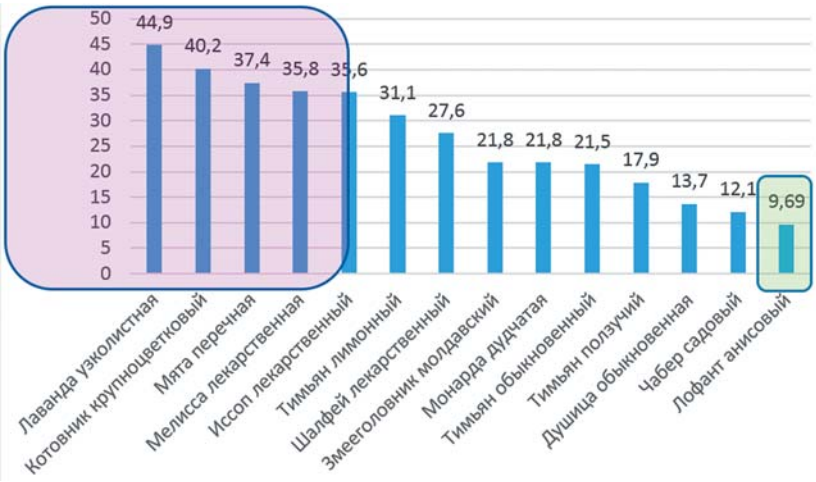


Рис. 4. Коэффициент вариации (Cv) содержания флавоноидов, %
Fig. 4. Variation coefficient (Vc) of flavonoid content, %

● Литература

1. Hänsel R., Sticher O. Pharmakognosie. Phytopharmazie. 9. Auflage. Springer Medizin Verlag, Heidelberg. 2009:1098–1152. ISBN 978-3-642-00962-4,
2. Burak M. & Imen Y. Flavonoids and their antioxidant properties. *Turkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences.* 1999;19:296–304.
3. Metodiewa D., Kochman A., Karolczak S. Evidence for antiradical and antioxidant properties of four biologically active N, N, diethylaminoethyl ethers of flavanone oximes: a comparison with natural polyphenolic flavonoid (rutin) action. *Biochemistry and Molecular Biology International.* 1997;41:1067–1075.
4. Walker E., Pacold M., Perisic O., et al. Structural determinations of phosphoinositide 3-kinase inhibition by wortmannin, LY294002, quercetin, myricetin, and staurosporine. *Molecular Cell.* 2000;6:909–919.
5. Liu H., Ye F., Sun Q., Liang H., Li C., Li S., et al. *Scutellaria baicalensis* extract and baicalein inhibit replication of SARS-CoV-2 and its 3C-like protease *in vitro. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry.* 2021;36:497–503. https://doi.org/10.1080/14756366.2021.1873977
6. Su H.X., Yao S., Zhao W.F., Li M.J., Liu J., Shang W.J., et al. Anti-SARS-CoV-2 activities in vitro of Shuanghuanglian preparations and bioactive ingredients. *Acta Pharmacologica Sinica.* 2020;41:1167–1177. https://doi.org/10.1038/s41401-020-0483-6
7. Pei T., Yan M., Huang Y., Wei Y., Martin C. and Zhao Q. Specific Flavonoids and Their Biosynthetic Pathway in *Scutellaria baicalensis. Frontiers in Plant Science.* 2022;13:866282. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.866282.
8. Martínez-Lüscher J., Torres N., Hilbert G., Richard T., Sánchez-Díaz M., Delrot S., et al. Ultraviolet B radiation modifies the quantitative and qualitative profile of flavonoids and amino acids in grape berries. *Phytochemistry.* 2014;102:106-114. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.03.014
9. Müller V., Albert A., Winkler J. B., Lankes C., Noga G., & Hunsche, M. Ecologically relevant UV-B dose combined with high PAR intensity distinctly affect plant growth and accumulation of secondary metabolites in leaves of *Centella asiatica* L. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology.* 2013;127:161-169. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.08.014
10. Idris A., Cuevas Linatoc A., Fadzelly M., Takai Z. I. and Audu Y. Effect of Light Quality and Quantity on the Accumulation of Flavonoid in Plant Species. *Journal of Science and Technology.* 2018;10(3):32-45. https://doi.org/10.30880/jst.2018.10.03.006
11. Del Valle J.C., Buide M.L., Casimiro-Soriguer I., Whittall J.B. and Narbona E. On flavonoid accumulation in different plant parts: variation patterns among individuals and populations in the shore campion (*Silene littorea*). *Front. Plant Sci.* 2015;6:939. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00939
12. Pei T., Yan M., Huang Y., Wei Y., Martin C. and Zhao Q. Specific Flavonoids and Their Biosynthetic Pathway in *Scutellaria baicalensis. Frontiers in Plant Science.* 2022;13:866282. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.866282
13. Жукова О.Л., Абрамов А.А., Даргаева Т.Д. Маркарян А.А. Изучение фенольного состава подземных органов сабельника болотного. *Вестник МГУ. Сер. Химия.* 2006;47(5):342-345.
14. Антоненко М.С., Зуйкова Е.Ю., Дул В.Н., Маланкина Е.Л. Особенности накопления флавоноидов в сырье кипрея узколистного (*Epilobium angustifolium* L.) в зависимости от происхождения и морфологической группы сырья. *Овощи России.* 2023;1:38-43. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-38-43 https://elibrary.ru/urkpvc
15. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M., et al. Shift in Accumulation of Flavonoids and Phenolic Acids in Lettuce Attributable to Changes in Ultraviolet Radiation and Temperature. *Scientia Horticulturae.* 2018;239:193–204. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.020
16. Mykhailenko O., Gudžinskas Z., Kovalyov V., Desenko V., Ivanauskas L., Bezruk I., et al. Effect of Ecological Factors on the Accumulation of Phenolic Compounds in Iris Species from Latvia, Lithuania and Ukraine. *Phytochemical Analysis.* 2020;31(5):545–563. https://doi.org/10.1002/pca.2918.
17. Leng P., Su, S., Wang, T., Jiang, X., & Wang, S. Effects of light intensity and light quality on photosynthesis, flavonol glycoside and terpene lactone contents of *Ginkgo biloba* L. seedlings. *Journal of Plant Resources and Environment.* 2002;(11):1-4.
18. Su,W., Zhang G., Li X., Gu F., Shi B. Effect of light intensity and light quality on growth and total flavonoid accumulation of *Erigeron breviscapus. Chinese Traditional and Herbal Drugs.* 2006;37:1244.
19. Hectors K., van Oevelen S., Guisez Y., Prinsen E., Jansen M.A. The phytohormone auxin is a component of the regulatory system that controls UV-mediated accumulation of flavonoids and UV-induced morphogenesis. *Physiologia plantarum.* 2012;145:594-603. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01590.x
20. Isah T. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research.* 2019;52(1):39. https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3
21. Маланкина Е.Л., Ткачёва Е.Н., Козловская Л.Н. Лекарственные растения семейства Яснотковые (*Lamiaceae*) как источники флавоноидов. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии.* 2018;21(1):30-35. https://doi.org/10.29296/25877313-2018-01-06.
22. Попов И.В., Чумакова В.В., Попова О.И., Чумаков В.Ф. Биологически активные вещества, проявляющие антиоксидантную активность, некоторых представителей семейства Lamiaceae, культивируемых в Ставропольском крае. *Химия растительного сырья.* 2019;4:163–172. https://doi.org/10.14258/jcprm.2019045200 https://elibrary.ru/ulywbc
23. Grebennikova O.A., Paliy A.Ye., Logvinenko L.A. Biologically active substances of Scutellaria baicalensis Georgi of Nikita Botanical Gardens collection. *Bulletin of the state Nikita botanical gardens.* 2015;117: 60-66
24. Тутельян В.А. Методы анализа минорных биологически активных веществ пищи / под ред. В.А. Тутельяна, К.И. Эллера. М., 2010. 180 с.
25. Воронина Е.П., Горбунов Ю. Н., Горбунова Е.О. Новые ароматические растения для Нечерноземья. М.: Наука, 2001. 172 с.
26. Маланкина, Е. Л. Агробиологическое обоснование повышения продуктивности эфиромасличных растений из семейства ясноткoвые (*Lamiaceae* L.) в Нечерноземной зоне России. Москва, 2007. 343 с. EDN QDXVEH.
27. Ткачёва Е.Н. Особенности накопления биологически активных веществ с антиоксидантной активностью представителями семейства Яснотковые (*Lamiaceae*). 2022. 170 с. EDN KGEXXY.
28. Peshkova V. A. and Mirovich V. M. Flavonoids of Origanum vulgare. *Chemistry of Natural Compounds.* 1984;4:552. https://doi.org/10.1007/BF00574347
29. Kharazian N. Identification of flavonoids in leaves of seven wild growing Salvia L. (Lamiaceae) species from Iran. *Progress in Biological Sciences.* 2013;3(2):81-93.

●References

13. Zhukova O.L., Àbramov A.A., Dargaeva T.D., Markarian A.A. Study on the phenol composition of the *Camarum polustre* soil covered organs. Moscow University Chemistry Bulletin. Chemistry. 2006;47(5):342-345.
14. Antonenko M.S., Zuikova E.Yu., Dul V.N., Malankina E.L. Accumulation of flavonoids in the *Epilobium angustifolium* L. raw material depending on the places of collection and part of the plant. V*egetable crops of Russia.* 2023;(1):38-43. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-38-43. https://elibrary.ru/urkpvc
21. Malankina E.L., Tkacheva E.N., Kozlovskaya L.N. Medicinal plants of the Lamiaceae family as sources of flavonoids. *Bulletin of biological, medical and pharmaceutical chemistry.* 2018;21(1):30-35. (In Russ.) https://doi.org/10.29296/25877313-2018-01-06.
22. Popov I.V., Chumakova V.V., Popova O.I., Chumakov V.F. Biologically active substances exhibiting antioxidant activity of some representatives of the Lamiaceae family cultivated in the Stavropol Territory. *Khimija rastitel'nogo syr'ja.* 2019;4:163–172. (In Russ.) https://doi.org/10.14258/jcprm.2019045200 https://elibrary.ru/ulywbc
24. Tutelyan V.A., Eller K.I. Methods of analysis of minor biologically active substances of food. M., 2010. 180 p. (In Russ.)
25. Voronina E.P., Gorbunov Yu. N., Gorbunova E.O. New aromatic plants for the Non-Black Earth Region.M.: Science, 2001. 172 p. (In Russ.)
26. Malankina E.L. Agrobiological substantiation of increasing the productivity of essential oil plants from the Lamiaceae L. family in the Non-Chernozem zone of Russia. Moscow, 2007. 343 p. (In Russ.) EDN QDXVEH.
27. Tkacheva E.N. Features of accumulation of biologically active substances with antioxidant activity by representatives of the Lamiaceae family. 170 c. (In Russ.) EDN KGEXXY.

Об авторах:

Еремеева Елена Николаевна – кандидат с.-х. наук, преподаватель, Researcher ID: 1186550, SPIN-код: 6127-1220, e.tkacheva@rgau-msha.ru

Елена Львовна Маланкина – доктор с.-х. наук, профессор, Researcher ID: 375217, https://orcid.org/0000-0003-0646-6904, SPIN-код: 5366-8557, gandurina@mail.ru

About the Authors:

Elena N. Eremeeva – Cand. Sci. (Agriculture), Researcher ID: 1186550, SPIN-code: 6127-1220, e.tkacheva@rgau-msha.ru

Elena L. Malankina – Dr. Sci. (Agriculture), Prof., https://orcid.org/0000-0003-0646-6904, SPIN-code: 5366-8557, gandurina@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-61-69
УДК: 633.88:581.19(470.31)

Anna V. Molchanova*,
Elena Yu. Babaeva

Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Scientific Vegetable Center"
14, Selectsionnaya str., VNIISSOK,
Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

All-Russian Scientific Research Institute
of Medicinal and Aromatic Plants
Grina st., 7, Moscow, 117216, Russian Federation

***Correspondence Author:** vovka_ks@rambler.ru

Authors' Contribution: Babaeva E.Yu.: conceived the experiment, provided breeding material for the study and consulting assistance. Molchanova A.V., Babaeva E.Yu.: performed the research, did the data management and analyzed the data, wrote the manuscript. All authors reviewed and approved this submission.

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

For citation: Molchanova A.V., Babaeva E.Yu. Some biochemical parameters of *Scutellaria baicalensis* Georgi herb at introduction into the Non-Chernozem belt of Russia. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):61-69. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-61-69

Received: 23.12.2024
Accepted for publication: 21.04.2025
Published: 07.07.2025

Some biochemical parameters of *Scutellaria baicalensis* Georgi herb at introduction into the Non-Chernozem belt of Russia

ABSTRACT

Relevance. ***Scutellaria baicalensis*** **Georgi is a valuable medicinal plant, its raw material is roots. It is a protected species of the East Asian flora of the Russian Federation. The plant is included in 6 Red Data Books of the Far East and Eastern Siberia. Works on introduction of *Scutellaria baicalensis* carried out in many regions of the Russian Federation. At present, multifaceted biochemical studies of the flowering shoot mass of Baikal skullcap are being carried out everywhere.**

The aim of the investigation is study of some biochemical parameters of flowering shoot mass of Baikal skullcap by structure in different weather conditions in different years.

Materials and methods. The object of the study was the population of Baikal skullcap from the biocollections of All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (Central Region of the Non-Chernozem belt). Studies were conducted in 2018 (optimal weather conditions) and 2020 (stresses weather conditions). The biochemical composition of the shoot of *Scutellaria baicalensis* studied in the Laboratory and Analytical Department of the FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center" according to the following parameters: dry matter, ascorbic acid, total content of water-soluble antioxidants and total antioxidants in the alcoholic extract. The accumulation of these substances done in leaves located on the upper, middle and lower levels of leaves, inflorescences and buds, stems.

Results. Dry matter content of *Scutellaria baicalensis* herb components did not differ significantly by years. The maximum meaning of this indicator was in stems – 38.89-39.51 %, and the minimum – in inflorescences – 21.07 %, regardless of the level of location on the shoot. The total content of water-soluble antioxidants in the shoot mass under optimal precipitation was statistically significantly higher than this factor under dry weather conditions by 1.5-2.7 times. In inflorescences and buds the content of water-soluble antioxidants was lower than on average in leaves by 2.6-3.6 times. Ascorbic acid accumulation in leaves of *S. baicalensis* in a weather-optimal year (2018) exceeded its content in a year (2020) with numerous extremely changes in precipitation and air temperature during the growing season by 1.5 times. The total antioxidant content in the alcoholic extract in the shoot mass in the year with significant fluctuations in weather conditions (2020) was significantly higher than that in the year with stable weather conditions (2018). In both years of the study, the maximum value the total content of antioxidants observed in the leaves. In a weather-optimal year, these were the leaves of the lower level (77.52 mg-eq GA/g d.w.), and in a year with extremely fluctuations in weather parameters (2020), these were upper level (83.05 mg-eq GA/g d.w.).

KEYWORDS:
Baikal skullcap, flowering shoot, desiccation coefficient, dry matter, ascorbic acid, water-soluble antioxidants, total antioxidants content in alcohol extract

А.В. Молчанова*,
Е.Ю. Бабаева

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный
научный центр овощеводства».
143072, Россия, Московская обл.,
Одинцовский р-н, п. ВНИИССОК,
ул. Селекционная, д.14.

Всероссийский научно-исследовательский
институт лекарственных и ароматических растений,
117216, Россия, Москва, ул. Грина, д. 7, стр. 1.

Вклад авторов. Бабаева Е.Ю.: предоставила материал для исследования. Молчанова А.В., Бабаева Е.Ю.: провели исследование, получили и проанализировали результаты, написали статью. Все авторы рассмотрели и одобрили это заключение.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Molchanova A.V., Babaeva E.Yu. Some biochemical parameters of *Scutellaria baicalensis* Georgi herb at introduction into the Non-Chernozem belt of Russia. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):61-69. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-61-69

Поступила в редакцию: 23.12.2024
Принята к печати: 21.04.2025
Опубликована: 07.07.2025

Некоторые биохимические показатели травы шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis* Georgi) при интродукции в Нечерноземную зону РФ

АКТУАЛЬНОСТЬ.
Шлемник байкальский *Scutellaria baicalensis* Georgi – ценное лекарственное растение, сырьём его являются корни. Это охраняемый вид восточно-азиатской флоры РФ. Растение включено в 6 Красных книг регионов Дальнего Востока и Восточной Сибири. Работы по интродукции *Scutellaria baicalensis* ведутся во многих регионах РФ. В настоящее время повсеместно проводятся многоплановые биохимические исследования цветущей надземной части шлемника байкальского.

Цель исследования – изучение некоторых биохимических показателей цветущей надземной массы шлемника байкальского по структуре в разные по погодным условиям годы.

Материалы и методы. Объект исследования – популяция шлемника байкальского биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР (Центральный район Нечерноземной зоны РФ). Исследования проводили в 2018 г. (оптимальные погодные условия) и 2020 г. (неблагоприятные погодные условия). Анализ биохимического состава проведен по показателям: коэффициент усушки, содержание сухого вещества, аскорбиновой кислоты, суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов и антиоксидантов в спиртовом экстракте. Изучали накопление этих веществ в листьях, расположенных на верхнем, среднем и нижнем ярусе побега, соцветиях и бутонах, стеблях.

Результаты. Содержание сухого вещества в компонентах травы *Scutellaria baicalensis* существенно по годам не различалось. Максимальное значение этого показателя было в стеблях – 38,89-39,51 %, а наименьшее – в соцветиях 21,07-23,75 %. Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов в надземной массе при оптимальном количестве осадков статистически достоверно превышало этот показатель при засушливых погодных условиях в 1,5-2,7 раза. В соцветиях и бутонах содержание водорастворимых антиоксидантов было ниже, чем в среднем в листьях в 2,6 – 3,6 раза. Накопление аскорбиновой кислоты в листьях *S. baicalensis* в оптимальный по погодным условиям год (2018 год) превышало её содержание в год с многочисленными резкими перепадами осадков и температуры воздуха в течение вегетационного сезона (2020 год) в 1,5 раза. Суммарное содержание антиоксидантов в спиртовом экстракте в надземной массе в год со значительными колебаниями погодных условий достоверно превышало этот показатель в год со стабильными погодными условиями. По обоим годам исследования его максимальное значение отмечено в листьях. В оптимальный по погодным условиям год это были листья нижнего яруса (77,52 мг-экв ГК/г сух. масс), а в год с резкими колебаниями погодных параметров – верхнего (83,05 мг-экв ГК/г сух. масс.).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
шлемник байкальский, цветущая надземная часть, сухое вещество, коэффициент усушки, аскорбиновая кислота, водорастворимые антиоксиданты, антиоксиданты в спиртовом экстракте.

Introduction

Scutellaria baicalensis Georgi is a plant of the family Lamiaceae Martinov (Labiatae Juss.) [1]. *Scutellaria baicalensis* first described in 1775 [2]. Medicinal properties of extracts from its roots noted in the canons of Chinese and Tibetan medicine [3]. Due to its antioxidant, antiviral, antibacterial, anti-inflammatory, anti-allergic properties, the Baikal skullcap (*Scutellaria baicalensis*) is a subject of intensive study. It is included in the Pharmacopoeia of China [4]. It was shown that preparations from root and shoot parts of Baikal skullcap have a pronounced antiradical activity, lipid peroxidation is inhibited [5].

The history of the study of flavonoids of *Scutellaria baicalensis* began in 1923, when Shibata et al. isolated and characterised baicalin from its roots [6]. In the study conducted by Malikov, Yuldashev [7], more than 200 compounds of phenolic nature were isolated and identified from plants of the genus *Scutellaria.* Of these, 125 compounds of this class founded in *Scutellaria baicalensis* [8]. Flavonoids and their glycosides thought to be distinctive elements of *Scutellaria baicalensis* roots, among the more than 40 compounds that have been identified so far [9; 10]. Korean scientists have isolated 4 different compositions of polyphenols from flowers, leaves, stems and roots of *S. baicalensis*. 46 components were characterized, 7 of which were identified for the first time. This group of researchers showed that the antioxidant activity of polyphenolic compounds from roots was the highest, followed by polyphenols from leaves, flowers and stems [11].

Currently, researchers are studying the biochemical parameters of the shoot and root parts of *S. baicalensis* in a multifaceted way not only in the conditions of their natural growth (Eastern Transbaikalia and Priamurye) [8, 12]. This medicinal plant is widely distributed in China, Russia, Mongolia, North Korea and Japan [13]. Thus, the ecological plasticity of the species can assumed [14]. This study [15] presents a comprehensive review of literature data obtained on the roots of *S. baicalensis*. Recently, the interest of researchers directed to the study of the shoot part of the plant [8; 12].

Antioxidants are compounds that prevent undesirable oxidation processes of vital compounds and form a complex multicomponent system of high and low molecular weight compounds [16; 17]. Nonenzymatic components of antioxidant defence include polyphenols, carotenoids, tocopherols, ascorbate glutathione [18]. Antioxidants can act by destroying the radical reaction chain, trapping free radicals that initiate radical reactions [19]. Antioxidant flavonoids founded in the chloroplast, which suggests a role as scavengers of singlet oxygen and stabilizers of the chloroplast outer envelope membrane. Antioxidant flavonoids may effectively control key steps of cell growth and differentiation, thus acting regulating the development of the whole plant and individual organs [20]. The content of organic acids (caffeic acid, ferulic acid, etc.), in the shoot part of *S. baicalensis* was studied [8].

However, we found no data on ascorbic acid (AA) content in *S. baicalensis* herb in the available literature. Ascorbic acid is an abundant component of plants. It reaches a concentration of over 20 mM in chloroplasts and occurs in all cell compartments, including the cell wall. It has proposed functions in photosynthesis as an enzyme cofactor (including synthesis of ethylene, gibberellins and anthocyanins) and in control of cell growth [21].

Ascorbic acid (AA) is not only an important antioxidant but also appears to link flowering time, senescence, programmed cell death and response to pathogens through a complex signal transduction network [22]. The biosynthesis and metabolism of this compound studied in suspension culture of *S. baicalensis* [23]. It recommended intake of AA for adults is 70-80 mg/day. The proportion of the Russian population with AA deficiency is 70-98% [24].

Dry matter determination carried out for many crops (fodder, fruit, etc.) [25]. The influence of the content of dry matter on the processes of growth, development and yield of large-tonnage crops (soybean, maize) has been shown [26; 27].

S. baicalensis herb is the medicinal raw material of Baikal skullcap, according to FS 42-453-92. However, it is necessary to take into account the fact that this plant is included in 6 regional Red Data Books of the Russian Federation. All of them note its value as a source of medicinal plant raw materials [28]. When harvesting aerial part, the entire plant destroyed, so industrial harvesting of raw materials is problematic in the regions where it grows. Currently, researchers are actively analyzing other possibilities of obtaining biologically active substances of Baikal skullcap. One of the possibilities is to obtain suspension culture [29]. Another option is to use the flowering shoot mass of Baikal skullcap plants, both together with the roots and instead of the shoot part [30, 31].

The aim of our research was to study the content of some biologically active substances in *S. baicalensis* herb grown in the Central region of the Non-Chernozem belt of Russia. Objectives of the study: to determine the desiccation coefficient, the content of dry matter, AA, water-soluble antioxidants and antioxidants in the alcoholic extract in *S. baicalensis* herb and its constituents.

Material and Methods

The research carried out using bio-objects of the Unique Scientific Unit “Biocollection of FSBSI of All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”. The material for the study was the shoot of *S. baicalensis*, located in the biocollection of the botanical garden: Moscow: 55.57°N, 37.55°E. Planting material obtained from Chita region in 2008. Plants located on the territory with illumination of 80–88 thousand lx. Row spacing width was 0.3 m. (Fig. 1).

The experiments carried out in 2017-2020, of which the chemical composition of the raw material analyzed in 2018 and 2020 – years with contrasting weather conditions. We analyzed the weather conditions of the growing season by parameters: precipitation and the sum of active temperatures (SAT) above +5 ºC.

The growing season of 2020 was characterised by an

Рис. 1. Общий вид растений шлемника байкальского (S. baicalensis Georgi). Фотографию предоставил заведующий ботаническим садом ФГБНУ ВИЛАР А.Н. Цицилин
Fig. 1. General view of plants of Baikal skullcap (S. baicalensis Georgi). Photo provided by A.N. Tsitsilin, Head of the Botanical Garden, FSBSI VILAR

extreme phenomenon: from the middle to the end of February, the average daily air temperature was positive. At the same time, negative temperatures observed in all ten-day periods of March and April. Precipitation and SAT fluctuated dramatically during the 2020 growing season. In general, the parameters of air temperature and precipitation in 2020 can be characterised as extremely uneven [32]. While in 2018 (as well as in 2017 and 2019) the beginning of vegetation of the plant was observed at the end of May, in 2020 in the beginning of May. In general, weather conditions in 2018 can characterized as typical for the region, while 2020 had differences in duration of phenological phases [33]. The values of mean temperature and relative humidity during the vegetation period presented in Table 1 and duration of phenological intervals, precipitation, SAT presented in Table 2.

The soil of the site is heavy loamy with content (on absolute dry matter): humus 4.31%, hydrolytic acidity 1.08 mg-eq. /100 g, total nitrogen 0.068–0.072 %, P_2O_5 – 0.1%, K_2O – 2.9-3.5%, Al_2O_3 – 15.0 %, Na_2O – 1.4%, exchangeable MgO – 100.0 mg/kg, exchangeable Ca – 25.9 g/kg, $pHK_{ка}$ 5.5.

The shoot cut at the phenological phase of mass flowering. The study of the shoot of *S. baicalensis* plants from 5 natural cenopopulations showed that the highest content of biologically active substances in the shoot of plants was observed in the flowering phase [12]. The phase of mass flowering was determined according to the "Methods of research in the introduction of medicinal and essential oil plants" [34]. The leaves of the upper level obtained from 3-4 metamers and above, the middle level between 7-8 and 3-4 metamers, the lower – from 7-8 metamers and lower. The repetition was 20-fold.

The effects of the growing phase differed between years, and influenced by climatic conditions [35]. The species is adapted to conditions of unstable, even arid water regime. *S. baicalensis* occupies open forest-steppe and steppe areas and closely related to nitelistnik steppes; by ecology, it belongs to the group of cryomesoxerophytes [33].

Some biochemical parameters of *S. baicalensis* shoot studied in the Laboratory and Analytical Department of FSBSI "Federal Scientific Vegetable Center". The shoot by structure (leaves of upper, middle and lower shoot levels, stems, inflorescences) for AA content and total content of water-soluble antioxidants by visual titration method analyzed in fresh form on the day of harvesting. The total content of water-soluble antioxidants was determined according to the method [36]. The standard was AA. The content of AA was determined according to the method of Sapozhnikova and Dorofeeva [37]. Dry matter content determined by gravimetric method. Samples dried in a LabTech desiccator (DaihanLabTechCo, LTD) at 70 °C to constant weight. The change in the mass of plant material was determined by weighing on analytical scales [38].

The content of the sum of antioxidants in the alcoholic extract determined by the titrimetric method [19]. The standard is gallic acid [39]. The ratio of raw materials and extractant was 1:30. Repetition of all analyses was 5-fold. The desiccation coefficient

Table 1. Monthly temperature and precipitation in 2018 and 2020
Таблица 1. Температура и осадки в 2018 и 2020 гг. по месяцам

Month	Temperature (°C)		Precipitation (mm)	
	2018	2020	2018	2020
February	- 9.6	- 2.1	59.5	21.6
March	- 7.5	3.3	38.0	36.8
April	5.7	4.1	59.6	58.1
May	14.0	11.2	51.5	100.4
June	15.2	17.8	35.1	124.6
July	20.8	17.9	89.8	88.5
August	17.0	16.1	23.8	81.0
September	11.7	12.6	57.9	82.3
October	6.7	8.3	36.8	38.6

Table 2. Duration of phenological intervals (day), amount of precipitation (mm) and SAT (° C)
Таблица 2. Длительность фенологических интервалов (сутки), количество осадков (мм) и САТ (° С)

Phenological intervals	Years			
	2017	2018	2019	2020
spring growth – budding	42 / 617.9 / 118.5	43 / 432.0 / 39.3	43 / 534.3 / 79.5	49 / 425.0 / 215.9
budding – beginning of flowering	10 / 750.8 / 26.1	9 / 555.9 / 31.8	12 / 633.8 / 37.5	7 / 510,7 / 0.7
beginning of flowering – mass flowering	20 / 1041.8 / 40.4	19 / 843.6 / 51.8	21 / 855.8 / 51.1	8 / 613.7 / 3.4

Note. In the numerator duration of phenological intervals; in the denominator SAT / precipitation amount.

of the herb structure depending on the year of research was also determined [34]. The repetition was 20-fold.

Data analyzed for both years to establish normality of the samples according to the State Standard R ISO 5479-2002 [40]. Non-parametric criteria analysis performed for pooled data on water-soluble antioxidant and antioxidant content in alcoholic extract by years separately. The one-sample Kolmogorov-Smirnov criterion used to test for normal distribution in the raw data material "Herba". The normality test analysis on the distribution of the content sum water-soluble antioxidants and antioxidants in the alcoholic extract of *S. baicalensis* for each of the organs of the plant in the raw material "Herba" analyzed using Kruskal – Wallis test and Jonckheer-Terpstra ordered alternatives criterion. The choice of criterion was based on the fact that Kruskal-Wallis test and other non-parametric (or distribution free) tests are useful for testing hypotheses when the assumption of normality of the data is not met. They make no assumptions about the shape of the data distributions, which makes them particularly useful when the dataset is small [41].

According to the result of testing for normality of distribution in the structure of the raw material "Herba", criteria for independent samples were applied, where the null hypothesis was the assumption that the distribution is the same for the categories of data on the content of the sum of water-soluble antioxidants and antioxidants in the alcoholic extract for each element in the structure of the raw material "Herba".

We studied the correlations between the contents of the sum of water-soluble antioxidants and antioxidants in alcoholic extract in 2018 and 2020. The data obtained in 2018 and in 2020 considered as different parts of the statistical population due to significantly different weather conditions. Data on raw material "Herba" in general and on the structure of the raw material "Herba" considered. Spearman correlation coefficient chosen as a measure of conjugate variability of traits. It is less sensitive to the parameters of continuous distributions.

Correlation plots by years of experiment to visualize the correlation relationship between the data of the content of the sum of water-soluble antioxidants and antioxidants in the alcoholic extract in the raw material and its elements constructed.

The data were processed using analysis of variance. The separation of mean done using Duncan's multiple range test (DMRT) considering a probability level of 0.05. It is the test for measuring specific differences between pairs of averages [42]. IBM SPSS Statistics software version 27 used.

Results and Discussing

In the process of the study, we revealed regularities in the distribution of dry matter content and desiccation coefficient by years and in the structure of *S. baicalensis* herb (Tables 3, 4).

In 2020, intensive precipitation at the end of May and in June, i.e. during stemming – beginning of budding caused a high moisture content in leaves, inflorescences+buds. In 2018 precipitation from the beginning of vegetation to herb harvest

Table 3. Dry matter content in the shoot of S. baicalensis, (%)
Таблица 3. Содержание сухого вещества в надземных органах S. baicalensis, (%)

Plant part	2018	2020
Inflorescences+buds	23.75±0.33 c	21.07±0.13 c
Cv, %	2.8	1.3
Leaves, upper level	32.81±0.24 b	28.31±0.84 c
Cv, %	1.5	6.0
Leaves, middle level	33.28±0.18 b	27.09±0.20 c
Cv, %	1.1	1.5
Leaves, lower level	30.73±0.89 b	26.70±0.51 c
Cv, %	5.0	3.8
Stems	39.51±0.18 a	38.89±0.15 a
Cv, %	0.9	0.8

Примечание. Значения с одинаковыми буквами статистически не различаются согласно тесту Дункана при p< 0,05.
Note. Values with the same letters are not statistically different according to Duncan's test at p<0.05.

Table 4. Determination of desiccation coefficient of S. baicalensis herb by structure, 2018-2020
Таблица 4. Определение коэффициента усушки травы S. baicalensis по структуре, 2018-2020 годы

Harvest year	Inflorescences + buds	Stems	Leaves
2018	2.1±0.1 d	2.2±0.1 d	2.5±0.1 c
2020	4.8±0.2 a	2.4±0.2 cd	3.1±0.1 b
Average	3.5±0.2	2.3±0.2	2.8±0.1

Примечание. Значения с одинаковыми буквами статистически не различаются согласно тесту Дункана при p< 0,05.
Note. Values with the same letters are not statistically different according to Duncan's test at p<0.05.

was uniform and the desiccation coefficient of the most watered parts of herb was significantly lower (Table 4). The desiccation coefficient of stems and their dry matter content did not change significantly by years. The initial low water content in stems and, accordingly, high dry matter content prevail over the influence of weather conditions in the years of the experiment. However, in terms of the effect of weather factors on other parts of the herb, it was shown for inflorescences+buds that dry matter accumulation did not differ significantly between years, but the desiccation coefficient in 2018 was lower by a factor of 2.3 compared to 2020.

Dry matter accumulation in inflorescences was minimal compared to other herb components. The dry matter content in leaf mass (regardless of level) was slightly higher. The leaves analyzed in 2018 had significantly more dry matter than in 2020 (1.2 times on average across all levels). As a result, it can assumed that the control of dry matter content in the shoot of *S. baicalensis* occurs at the genetic level, whereas the desiccation coefficient is more variable and dependent on the conditions of a particular growing season. Our data on the drying coefficient in *S. baicalensis* herb are somewhat higher than in the work of G.V. Chudnovskaya [43]. This is due to the difference in the hydrothermal coefficient in the Central region of the Non-Chernozem zone (1.50-1.54) compared to Eastern Transbaikalia (1.22-1.26; extremely continental climate, insufficient precipitation) [44, 45].

Water-soluble antioxidants are glycosides of phenolic compounds, polysaccharides and monosaccharides, organic acids and other water-soluble substances [19]. It was noted that the total content of water-soluble antioxidants in the shoots in 2018 was statistically significantly higher than in 2020 except for the inflorescences and buds (Table 5). It was shown that the total content of water-soluble antioxidants in the shoot mass of *S. baicalensis* in 2018 was statistically significantly higher than that in 2020, except for inflorescences and buds.

Low duration and precipitation during phenological interval “budding – beginning of flowering” in 2020 (Table 5) resulted in drought conditions. The ecological plasticity of *S. baicalensis* does not indicate that under drought conditions the accumulation of biologically active substances will be the same as under conditions of optimal moisture. Lack of moisture in 2020 reduced the content of the studied substances, represented, among others, by glycosides.

In the leaves of the upper and middle levels, the increase in water-soluble antioxidants in 2018 compared to 2020 averaged 1.6 times, in stems 2.8 times. In 2018, a significantly higher content of water-soluble antioxidants observed in the leaves of the upper and middle levels compared to the leaves of the lower level (1.5 times). In inflorescences and buds the content of water-soluble antioxidants was significantly lower than on average in leaves. The decrease was by years: in 2018 – 3.0 times, in 2020 – 2.3 times. The total content of water-soluble antioxidants under the conditions of favorable 2018 exceeded this parameter in the drought period of 2020 by 1.5 times in the leaves of the middle level and by 2 times in the leaves of the upper level and in the stem. The sum of antioxidants in inflorescences and lower level leaves was comparable in both years of the study.

The minimum accumulation of these substances detected in both years in stems, where cellulose predominates.

The coefficient of variation in the total content of water-soluble antioxidants in inflorescences and buds, stems, leaves of the lower and upper levels was higher in 2018 than in 2020. The variability of this indicator in 2018 in inflorescences, middle level leaves and stems was insignificant, in upper level leaves medium.

A different pattern of variability of water-soluble antioxidants in the herb structure observed in 2020: low in the leaves of the lower part of the shoot and stems; average in the leaves of the upper and middle levels. Especially noteworthy is the significant variability in the leaves of the lower level in 2018 and average in the leaves of the middle and upper levels in 2020.

Although the cross-supronate arrangement of leaves of plants of the Lamiaceae family provides all leaf plates with optimal insolation, in an herbage the illumination of leaves of the lower level may vary greatly. Therefore, the accumulation of BAS will also vary. Thus, the content of water-soluble antioxidants in leaves of *S. baicalensis* with reduced/different illumination varies more strongly than in leaves with stable illumination. In 2020, the plants were under less favourable weather conditions and the coefficient of variation of accumulation of water-soluble antioxidants in the studied organs had a smaller amplitude of variability than in 2018.

The composition of water-soluble antioxidants includes AA. Its content in the shoot mass of *S. baicalensis* varied depending on the plant part (Table 6). The content of AA in the leaf part of the herb is associated with the participation of this compound in photosynthesis and respiration.

The highest concentration of AA in 2018 was found in inflorescences+buds, it was significantly higher than in leaves of the three levels on average 2.7 times and in stems 5.4 times. The level of AA

Table 5. Total content of water-soluble antioxidants (mg AAE/g f. w.) in inflorescences, leaves of different levels and stems of S. baicalensis, 2018, 2020
Таблица 5. Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов (мг-экв АК /г сырой массы) в соцветиях, листьях разных ярусов и стеблях S. baicalensis, 2018, 2020 годы

Plant part	2018	2020
Inflorescences+buds	42.20±1.35 e	35.86±0.66 e
Cv, %	6.4	3.7
Leaves, upper level	152.63±11.84 a	74.55±5.22 d
Cv, %	15.5	14.0
Leaves, middle level	128.97±4.32 b	82.66±5.67 cd
Cv, %	6.7	13.7
Leaves, lower level	93.77±16.64 c	93.30±2.95 c
Cv, %	35.5	6.3
Stems	29.76 ±1.48 f	10.83±0.49 g
Cv, %	10.0	9.1

Примечание. Значения с одинаковыми буквами статистически не различаются согласно тесту Дункана при p< 0,05.
Note. Values with the same letters are not statistically different according to Duncan's test at p<0.05.

Table 6. Ascorbic acid content in inflorescences, stems and leaves of different levels of S. baicalensis, mg% (fresh weight)
Таблица 6. Содержание аскорбиновой кислоты в соцветиях, стеблях и листьях разных ярусов S. baicalensis, мг% (на сырую массу)

Plant part	2018	2020
Inflorescences+buds	38.13±2.12 a	9.68±0.88 d
Cv, %	9.6	18.2
Leaves, upper level	12.32±1.6 c	9.90±0.66 d
Cv, %	1.5	13.3
Leaves, middle level	15.84±1.3 b	9.46±0.42 d
Cv, %	1.0	8.9
Leaves, lower level	14.08±2.3 bc	8.58±0.22 d
Cv, %	1.1	5.1
Stems	7.04±0.6 e	5.94±0.42 f
Cv, %	1.6	14.2

Примечание. Значения с одинаковыми буквами статистически не различаются согласно тесту Дункана при p< 0,05.
Note. Values with the same letters are not statistically different according to Duncan's test at p<0.05.

increases more at the beginning of flower differentiation. It has shown that treatment of plants with AA increased the number of male and female flowers, as well as accelerated ovary formation and reduced ovary drop [46].

In 2018 and 2020 no significant changes in the AA content in leaves by levels were observed.

In general, the accumulation of AA in leaves of *S. baicalensis* in 2018 exceeded its content in 2020 by 1.5 times. The minimum AA content in both years of the experiment was observed in stems. In comparison with the rest of the herb (inflorescences+buds, leaves), on average, the accumulation of AA in stems in 2018 was lower by 3.7 times, and in 2020 by 1.6 times. The coefficient of variation for AA content across the whole structure of *S. baicalensis* herb in 2018 was insignificant. In 2020, the variability was the same in the leaves of the middle and lower levels. Inflorescences, upper level leaves and stems characterized by variability of medium degree.

The data obtained by us on the distribution of AA in the organs of the shoot confirm the previously revealed regularity, that AA accumulated into phloem and transported to root tips, shoots, and floral organs [47]. Our data show the influence of weather conditions on this pattern.

Comparing the accumulation of AA in herb *S. baicalensis* by years with its presence in vegetables, we can note a low amount of this vitamin. On average in 2018, its content is closer to that in tomato fruits, garlic bulbs, onion leaves. In 2020, its content is approximately the same as in courgette fruit and celery root [46].

The antioxidants in the alcoholic extract include carotenoids, chlorophylls, gallic acid derivatives, aglycones of flavonoids and triterpene compounds, essential oil components and others. The total content of these compounds in the shoot mass in 2020 was statistically significantly (1.3 times) higher than in 2018 (Table 7).

Thus, we see a different pattern comparing the content of water-soluble antioxidants by year. In 2018, the maximum accumulation of antioxidants in the alcohol extract founded in the leaves of the lower level. It exceeded the content of these substances in the leaves of the middle and upper part of the shoot by an average of 12.8%. In 2020, the highest concentration of antioxidants in the alcoholic extract detected in the leaves of the upper level, which exceeded their concentration in the leaves of the middle and lower levels by an average of 20.6 %. Also in 2020, *S. baicalensis* inflorescences+buds accumulated 16.7 % more antioxidants in the alcoholic extract than in 2018. Inflorescences+buds contained significantly less antioxidants in the alcoholic extract in 2018 (by 33.1 % on average) than in leaves of all levels. In 2020, these substances in inflorescences+buds were as much as in the leaves of the lower and middle levels and less than in the leaves of the upper parts of the shoot by an average of 19.47 %. The variability of indi-

Table 7. Total of antioxidant content in the alcoholic extract in the shoot of S. baicalensis, mg GAE/g d.w.
Таблица 7. Содержание суммы антиоксидантов в спиртовом экстракте надземной массы S. baicalensis, мг-экв ГК/г сух. масс.

Plant part	Total antioxidant content in the alcohol extract	
	2018	2020
Inflorescences+buds	53.84±3.44 c	62.85±2.97 b
Cv, %	12.76	9.5
Leaves, upper level	71.47±1.10 b	83.05±3.58 a
Cv, %	3.08	8.6
Leaves, middle level	66.03±1.71 b	71.43±4.80 b
Cv, %	5.18	13.4
Leaves, lower level	77.52±0.10 a	66.35±5.39 b
Cv, %	0.01	16.3
Stems	29.28±0.41 d	20.57±0.87 e
Cv, %	2.82	8.5

Примечание. Значения с одинаковыми буквами статистически не различаются согласно тесту Дункана при p< 0,05.
Note. Values with the same letters are not statistically different according to Duncan's test at p<0.05.

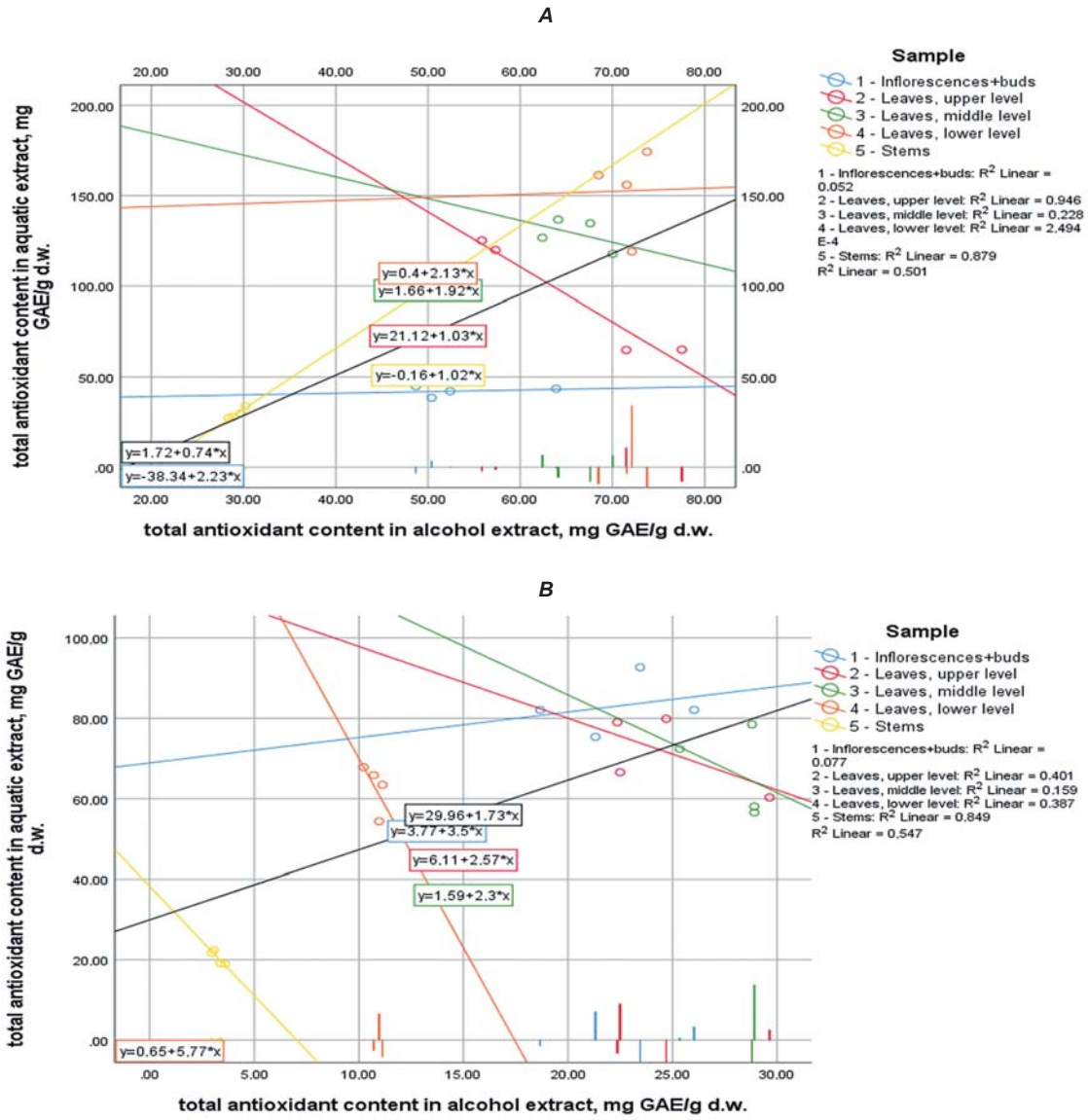


Рис. 2. Корреляционная зависимость между содержанием антиоксидантов в спиртовом экстракте и суммарным содержанием водорастворимых антиоксидантов в надземной части S. baicalensis за 2018 (A) и 2020 (B) годы исследований
Примечание: прямая черного цвета – общая зависимость по сырью трава
Fig. 2. Correlation relationship between antioxidant content in alcoholic extract and total water-soluble antioxidant content in the shoot of S. baicalensis for 2018 (A) and 2020 (B)
Note: Straight black is a general dependence on medicinal raw material Herba

cators in 2018 was mostly insignificant, and only for inflorescences+buds - medium.

The analysis of testing for normality of distribution of the content of sum water soluble antioxidants and antioxidants in alcoholic extract in S. baicalensis herb using Kruskal – Wallis test showed that the null hypothesis was rejected. Jonckheer-Terpstra ordered alternatives criterion showed that the null hypothesis is accepted.

Correlation plots between the data of the contents of the sum of water-soluble antioxidants and antioxidants in the alcoholic extract in *S. baicalensis* herb showed a similar relationship across years. It shown that the value of water-soluble antioxidant content varied similarly to the antioxidant content in alcohol extract. Correlation between the antioxidant content of the alcoholic extract and the content of water-soluble antioxidants for medicinal raw material "*S. baicalensis* herba" founded. Spearman's coefficient in 2018 was 0.708 and in 2020 it was 0.461. Further study needed to identify the regularities in the content of both water-soluble antioxidants and antioxidants in the alcoholic extract in the structure of *S. baicalensis* herb depending on the weather conditions of the growing season. The correlations for each raw material element showed a variety of dependencies in 2018 and 2020 (Fig. 2 A, B).

Conclusions

The dry matter content of *S. baicalensis* herb did not differ significantly between years with different weather conditions. The maximum dry matter content observed in stems - 38.89-39.51%, and the minimum – in inflorescences – 21.07-23.75 %, regardless of the level of location on the shoot.

The content of water-soluble antioxidants, including AA, in the shoot mass under uniform precipitation and optimal air temperature was significantly higher than this indicator under conditions of sharp fluctuations in CAT and precipitation by 1.5-2.7 times. The maximum value of the total antioxidant content in the alcoholic extract in the shoot in both years of the study observed in leaves.

Correlation plots between the data of the contents of the sum of water-soluble antioxidants and antioxidants in the alcoholic extract in *S. baicalensis* herb showed a similar relationship across years. The research will continue.

● **Литература**

1. Plants of the World Online, 2017. March 2021. http://www.plantsoftheworldonline.org/
2. Georgi J.G. Bemerkungeneiner Reiseim Russischen Reich. St. Petersburg. 1775;(1):223.
3. «Чжуд-ши»: Канон тибетской медицины / пер. с тиб. Д.Б. Дашиева; отв. ред. С.М. Николаев. М.: Изд. фирма «Восточная литература» РАН. 2001:766.
4. Song J.W., Long J.Y., Xie L., Zhang L.L., Xie Q.X., Chen H. J., Deng M., Li X. F. Applications, phytochemistry, pharmacological effects, pharmacokinetics, toxicity of *Scutellaria baicalensis* Georgi. and its probably potential therapeutic effects on COVID-19: a review. *Chinese Medicine.* 2020;(15):102 https://doi.org/10.1186/s13020-020-00384-0
5. Wang Z.-L., Wang S., Kuang Y., Hu Z.-M., Qiao X., Ye M. A comprehensive review on phytochemistry, pharmacology, and flavonoid biosynthesis of *Scutellaria baicalensis*. *Pharmaceutical biology.* 2018;56(1):465-484. https://doi.org/10/1080/13880209.2018.1492620.
6. Shibata K., Hattoris S. Uber den ort der glucuronsaureverbindung in baikalin. *Acta Phytochimica* (Tokyo). 1930;(5):117-118.
7. Malikov V., Yuldashev M. Phenolic compounds of plants of the *Scutellaria* L. genus. Distribution, structure, and properties. *Chem. Nat. Compd.* 2002;(38):358-406.
8. Оленников Д.Н, Чирикова Н.К., Танхаева Л.М., Фенольные соединения шлемника (*Scutellaria baicalensis* Georgi). *Химия растительного сырья.* 2009;(4):89–98. https://www.elibrary.ru/kyncel
9. Li H.B, Jiang Y., Chen F. Separation methods used for *Scutellaria baicalensis* active components. J. Chromatogr. *B Anal. Technol. Biomed. Life Sci.* 2004;(812):277–290. https://doi.org/10.1016/J.JCHROMB.2004.06.045,1-2SPEC.ISS
10. Lin W., Liu S., Wu B. Structural identification of chemical constituents from *Scutellaria baicalensis* by HPLC-ESI-MS/MS and NMR spectroscopy. *Asian J. Chem.* 2013;25(7):3799–3805. https://doi.org/10.14233/AJCHEM.2013.13788
11. Park H.S., Park K.I., Hong G.E., Nagappan A., Lee H.J., Kim E.H., Lee W.S., Shin S.C., Seo O.N., Won C.K., Cho J.H., Kim G.S. Korean *Scutellaria baicalensis* Georgi methanol extracts inhibits metastasis via the Forkhead Box M1 activity in hepatocellular carcinoma cells. *Journal of Ethnopharmacology.* 2014;(155):847-851.
12. Оленников Д.Н., Чирикова Н.К., Танхаева Л.М. Химический состав шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis* Georgi). *Химия растительного сырья.* 2010;(2):77–84. https://www.elibrary.ru/mtcsdz
13. Zhao T., Tang H., Xie L., Zheng Y., Ma Z., Sun Q., Li X. *Scutellaria baicalensis* Georgi. (Lamiaceae): a review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology. *Journal of Pharmacy and Pharmacology.* 2019;71(9):1353–1369, https://doi.org/10.1111/jphp.13129.
14. Snell-Rood E.C., Ehlman S.M. Phenotypic Plasticity and Evolution. 2021;22.
15. Chancha D. K., Singh K., Bhushan B., Chaudhary J. S., Kumar S., Varma A. K., Agnihotri N., Garg A. An updated review of Chinese skullcap (*Scutellaria baicalensis*): Emphasis on phytochemical constituents and pharmacological attributes. *Pharmacological Research – Modern Chinese Medicine.* 2023;(9):100326 https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100326.
16. Kasote D.M., Katuare S.S., Hegde M.V., Bae H. Significance of antioxidant potential of plants and its relevance to therapeutic applications. *Int. J. Biol. Sci.* 2015;(11):982-991.
17. Wu Z., Liu S., Wang F., Du Y., Zou S. Comparative responses to silicon and selenium in relation to antioxidant enzyme system and the glutathione ascorbate cycle in flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis* var. utilis) under cadmium stress. *Environ. Exp. Bot.* 2017;(133):1-11.
18. Kim Y.-H., Khan A.L., Waqas M., Lee I.-J. Silicon Regulates Antioxidant Activities of Crop Plants under Abiotic-Induced Oxidative Stress: A Review. *Frontiers Plant Science.* 2017;(8):510.
19. Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Молчанова А.В., Антошкина М.С., Надеждкин С.М., Солдатенко А.В. Антиоксиданты растений и методы их определения: монография. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М». 2020. 181 с. (Научная мысль). ISBN 978-5-16-015666-8. https://doi.org/10.12737/1045420. https://www.elibrary.ru/vtgigm
20. Agati G., Azzarello E., Pollastri S., Tattini M. Flavonoids as antioxidants in plants: Location and functional significance. *Plant Science.* 2012;(196):67-76. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.07.014
21. Smirnoff N., Wheeler G. L. Ascorbic Acid in Plants: Biosynthesis and Function. Critical Reviews in *Plant Sciences.* 2000;19(4):267-290. https://doi.org/10.1080/07352680091139231
22. Barth C., De Tullio M., Conklin P.L. The role of ascorbic acid in the control of flowering time and the onset of senescence. *Journal of Experimental Botany.* 2006;57(8):1657–1665.
23. Ahn Y.-O., Kwon S.-Y., Lee H.-S., Park I.-H., Kwak S.-S. Biosynthesis and Metabolism of Vitamin C in Suspension Cultures of *Scutellaria baicalensis*. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology.* 1999;32(5):451-455.
24. Голубкина Н.А., Пивоваров В.Ф., Надеждкин С.М., Лосева Т.А., Соколова А.Я. Глобальный экологический кризис. Проблемы и решения. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур, 2013. 212 с. ISBN 978-5-901695-58-6. https://www.elibrary.ru/vkjtev
25. ГОСТ 31-640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. М.: Стандартинформ. 2012. 12 с.
26. Cai F., Mi N., Ming H., Zhang Y., Zhang H., Zhang S., Zhao X., Zhang B. Responses of dry matter accumulation and partitioning to drought and subsequent rewatering at different growth stages of maize in Northeast China. *Frontiers in Plant Science.* 2023;14:1110727. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1110727
27. Kumudini S., Hume D. J., Chu G. Genetic Improvement in Short Season Soybeans: I. Dry Matter Accumulation, Partitioning, and Leaf Area Duration. *Crop science.* 2001;41(2):391-398.
28. Информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России» (ИАС «ООПТ РФ»). ФГБУ "ААНИИ", Лаборатория геоинформационных технологий. 06.12.2012. URL: http://oopt.aari.ru/ (дата обращения: 07.10.2024).
29. Шмарова А.А., Пивоварова Н.С. Стратегия оценки рисков при получении суспензионной культуры *Scutellaria baicalensis* Georgi. Биомика. 2022;14(2):111-119. https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2022-8 https://www.elibrary.ru/loqcyo
30. Chirikova N.K., Olennikov D.N. Composition of the aerial part of *Scutellaria baicalensis*. *Chemistry of natural compounds.* 2008;44(3):361-362. https://doi.org/10.1007/s10600-008-9062-7 https://www.elibrary.ru/llndkl
31. Шевчук О.М., Логвиненко Л.А., Голубкина Н.А., Молчанова А.В. Особенности развития и антиоксидантные свойства *Scutellaria baicalensis* Georgi при интродукции на Южный берег Крыма. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада.* 2018;146:128-134. https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.146.2018.19 https://www.elibrary.ru/tqasjg
32. http://www.pogodaiklimat.ru/ Дата обращения 20.02.2021.
33. Бабаева Е.Ю., Минязева Ю.М., Логвиненко Л.А., Молчанова А.В. Сравнительная характеристика ритма сезонного развития *Scutellaria baicalensis* Georgi в Нечерноземной зоне и на южном берегу Крыма. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.* 2023;15:(1):208-228. https://www.elibrary.ru/mqlbkn
34. Groenbaek M., Tybirk E., Neugart S., Sundekilde U. K., Schreiner M., Kristensen H. L. Flavonoid Glycosides and Hydroxycinnamic Acid Derivatives in Baby Leaf Rapeseed From White and Yellow Flowering Cultivars With Repeated Harvest in a 2-Years Field Study. *Frontiers in Plant Sciences.* 2019;10:355. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00355
35. Методика исследований при интродукции лекарственных и эфирномасличных растений / А.Н. Цицилин, Н.И. Ковалев, И.Н. Коротких [и др.]. 2-е издание, переработанное и дополненное. Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений", 2022. 64 с. ISBN 978-5-87019-103-4. https://www.elibrary.ru/elwoos
36. Максимова Т.В., Никулина И.Н., Пахомов В.П., Шкарина Е.И., Чумакова З.В., Арзамасцев А.П. Способ определения антиокислительной активности. Описание изобретения к патенту Российской Федерации. М. 2001. Пат. РФ 2170930 С1.
37. Сапожникова Е.В., Дорофеева Л.С. Определение содержания аскор-

биновой кислоты в окрашенных растительных экстрактах йодометрическим методом. Консервная и овощеводческая промышленность. 1966;(5):29-31.
38. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин, И.П. Дерюгин, В.И. Кобзаренко и др., Под ред. В.В. Кидина. М.: КолосС. 2008. С. 139-142.
39. Мисин В.М., Клименко И.В., Журавлева Т.С. О пригодности галловой кислоты в качестве стандартного образца состава антиоксиданта. *Компетентность.* 2014;7(118):46-51. https://www.elibrary.ru/snhhyf
40. ГОСТ Р ИСО 5479-2002. «Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения» Statistical methods. Tests for departure of the probability distribution from the normal distribution М.: Стандартинформ, 2020
41. https://www.technologynetworks.com/informatics/articles/the-kruskal-wallis-test-370025
42. Glen S. "Duncan's Multiple Range Test (MRT)" From Statistics How To. 2023 com: Elementary Statistics for the rest of us https://www.statisticshowto.com/duncans-multiple-range-test/
43. Чудновская Г.В. Изучение биологических особенностей *Scutellaria baicalensis* Georgi в Восточном Забайкалье с целью интродукции. *Достижения науки и техники АПК.* 2013;9:43-46. https://www.elibrary.ru/rcltrn
44. Егорова Е.В. Типология регионов Нечерноземной зоны России по агроклиматическим ресурсам. *Известия Международной академии аграрного образования.* 2013;18:15-19. https://www.elibrary.ru/rcmccj
45. Голубцов В.А., Вантеева Ю.В., Воропай Н.Н. Влияние влагообеспеченности на состав стабильных изотопов углерода органического вещества почв Байкальского региона. *Почвоведение.* 2021;10:1182–1194. https://doi.org/10.31857/S0032180X21100063 https://www.elibrary.ru/yiovqn
46. Чупахина Г.Н. Система аскорбиновой кислоты растений: Монография. Калинингр. ун-т. Калининград, 1997. 120 с.
47. Franceschi V. R., Tarlyn N. M. L-Ascorbic Acid Is Accumulated in Source Leaf Phloem and Transported to Sink Tissues in Plants. *Plant Physiology.* 2002;130:649–656.
48. Голубкина Н.А., Сирота С.М., Пивоваров В.Ф., Яшин А.Я., Яшин Я.И. Биологически активные соединения овощей. М.: ВНИИССОК. 2010. 200 с.

•References

3. "Chzhud-shi": Canon of Tibetan Medicine. .Moscow: Izd. "Oriental Literature", RAS, 2001:766. (in Russ.)
8. Olennikov D.N., Chirikova N.K., Tankhaeva L.M., Phenolic compounds of Baikal skullcap (*Scutellaria baicalensis* Georgi). *Khimija rastitel'nogo syr'ja.* 2009;(4):89–98. (in Russ.) https://www.elibrary.ru/kyncel
12. Olennikov D.N., Chirikova N.K., Tankhaeva L.M. Chemical composition of Baikal skullcap (*Scutellaria baicalensis* Georgi). *Khimija rastitel'nogo syr'ja.* 2010;(2):77–84. (in Russ.) https://www.elibrary.ru/mtcsdz
19. Golubkina N.A., Kekina E.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Antioxidants of plants and methods for their determination. 2020. Infra-M, Moscow. Russia. 181 p. ISBN 978-5-16-015666-8. (in Russ.) https://doi.org/10.12737/1045420. https://www.elibrary.ru/vtgigm
24. Golubkina N.A., Pivovarov V.F., Nadezhkin S.M., Loseva T.A., Sokolova A.Ya. Global environmental crisis. Problems and Solutions. Moscow, VNIISSOK, 2013: 208. (in Russ.) ISBN 978-5-901695-58-6. https://www.elibrary.ru/vkjtev
25. GOST 31-640-2012. Feed. Methods of determination of dry matter content. Moscow: Standardinform. 2012. 12 p. (in Russ.)
28. Information-analytical system 'Specially Protected Natural Areas of Russia' (IAS 'SPNA RF') / FGBU 'AARI', Laboratory of geoinformation technologies. 06.12.2012. URL: http: //oopt.aari.ru/ (date of reference: 07.10.2024). (in Russ.)
29. Shmarova A.A., Pivovarova N.S. Risk assessment strategy for obtaining suspension culture of *Scutellaria baicalensis* Georgi. *Biomics.* 2022;14(2):111-119. (In Russ.) https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2022-8 https://www.elibrary.ru/loqcyo
31. Shevchuk O.M., Logvinenko L.A., Golubkina N.A., Molchanova A.V. Peculiaritires of development and antioxidant properties *Scutellaria baicalensis* Georgi. at introduction to the Southern Coast of Crimea. *Woks of the State Nikit. Botan. Gard.* 2018;146:128-134. (in Russ.) https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.146.2018.19 https://www.elibrary.ru/tqasjg
33. Babaeva E.Y., Minyazeva Y.M., Logvinenko L.A., Molchanova A.V. Comparative characterization of the rhythm of seasonal development of *Scutellaria baicalensis* Georgi in the Non-Black Earth Zone and on the southern coast of Crimea. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.* 2023;15:(1):208-228. (in Russ.) https://www.elibrary.ru/mqlbkn
35. Research methods for the introduction of medicinal and essential oil plants / A. N. Tsitsilin, N. I. Kovalev, I. N. Korotkikh [et al.]. 2nd edition, revised and supplemented. - Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution 'All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants', 2022. - 64 c. - ISBN 978-5-87019-103-4. (in Russ.) https://www.elibrary.ru/elwoos
36. Maximova T.V., Nikulina I.N., Pakhomov V.P., Shkarina E.I., Chumakova Z.V., Arzamastsev A.P. Method for determination of antioxidant activity. Description of the invention for the patent of the Russian Federation. M. 2001. RU2170930 C1. (in Russ.)
37. Sapozhnikova E.V., Dorofeeva L.S. Determination of ascorbic acid content in colored plant extracts by iodometric method. *Canning and vegetable industry.* 1966;(5):29-31. (in Russ.)
38. Determination of sugars in vegetables, berries and fruits. Cyanide method of determination of sugars in plants. Practicum on agrochemistry, ed. by V.V. Kidin. Moscow, publishing house "Kolos". 2008;236-240. (in Russ.)
39. Misin V.M., Klimenko I.V., Zhuravleva T.S. On the suitability of gallic acid as a standard for an antioxidant formulation. *Competence.* 2014;7(118):46-51. (in Russ.) https://www.elibrary.ru/snhhyf
40. GOST R ISO 5479-2002 Statistical methods. Tests for departure of the probability distribution from the normal distribution M.: Standartinform. 2020. (in Russ.)
43. Chudnovskaya G. V. Study of biological features of *Scutellaria baicalensis* Georgi in Eastern Transbaikalia for the purpose of introduction. *Achievements of science and technology AIC.* 2013;9:43-46. (in Russ.) https://www.elibrary.ru/rcltrn
44. Egorova E.V. Typology of regions of the Non-Chernozem belt of Russia by agroclimatic resources. *Proceedings of the International Academy of Agrarian Education.* 2013;18:15-19. (in Russ.) https://www.elibrary.ru/rcmccj
45. Golubtsov V.A., Vanteeva Y.V., Voropay N.N. Effect of humidity on the stable carbon isotopic composition of soil organic matter in the Baikal region. *Pochvovedenie.* 2021;10:1182–1194. (in Russ.) https://doi.org/10.31857/S0032180X21100063 https://www.elibrary.ru/yiovqn
46. Chupakhina G.N. Ascorbic acid system of plants: Monograph. Kaliningr. un. Kaliningrad, 1997:120. (in Russ.)
48. Golubkina N.A., Sirota S.M., Pivovarov V.F., Yashin A.Y., Yashin Y.I. Biologically active compounds of vegetables. MOSCOW: VNIISSOK. 2010: 200. (in Russ.)

About the Authors:
Anna V. Molchanova – Cand. Sci. (Agriculture),
Senior Researcher of Analytical Department,
https://orcid.org/0000-0002-7795-7463,
SPIN-code: 4682-5853, Corresponding Author, vovka_ks@rambler.ru
Elena Yu. Babaeva – Cand. Sci. (Biology),
Leading Researcher Botanical Garden Laboratory All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants
https://orcid.org/0000-0002-4992-6926,
SPIN-code: 4230-0443, babaevaelena@mail.ru

Об авторах:
Анна Владимировна Молчанова – кандидат с.-х. наук,
старший научный сотрудник Лабораторно-аналитического отдела ФГБНУ ФНЦО,
https://orcid.org/0000-0002-7795-7463, SPIN-код: 4682-5853,
автор для переписки, vovka_ks@rambler.ru
Елена Юрьевна Бабаева – кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Ботанический сад ФГБНУ ВИЛАР,
https://orcid.org/0000-0002-4992-6926,
SPIN-код: 4230-0443, babaevaelena@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-70-76
УДК: 635.64:631.544:632.4

Э.М. Гайсина[1], Э.М. Очирова[1], Д.А. Никитинский[2], Е.В. Никитинская[2], О.Ю. Словарева[2], А.Н. Игнатов[1]*

[1] ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы» (РУДН)
117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

[2] ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ВНИИКР)
140150, Московская область, г. Раменский, р.п. Быково

***Автор для переписки:** ignatov_an@pfur.ru

При поддержке: Минобрнауки России (проект FSSF-2024-0063).

Вклад авторов: Гайсина Э.М.: подготовка рукописи, анализ результатов; Очирова Э.М. выполнение исследования; Никитинский Д.А.: выполнение исследования, анализ результатов; Никитинская Е.В.: выполнение исследования; Словарева О.Ю.: анализ результатов; Игнатов А.Н.: научное руководство исследованием.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гайсина Э.М., Очирова Э.М., Никитинский Д.А., Никитинская Е.В., Словарева О.Ю., Игнатов А.Н. Оценка встречаемости условно-патогенных бактерии в пасленовых растениях в защищенном грунте методом секвенирования нового поколения (NGS). *Овощи России.* 2025;(3):70-76. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-70-76

Поступила в редакцию: 18.04.2025
Принята к печати: 28.04.2025
Опубликована: 07.07.2025

Оценка встречаемости условно-патогенных бактерии в пасленовых растениях в защищенном грунте методом секвенирования нового поколения (NGS)

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В последние годы отмечается резкий рост числа случаев заболеваний человека и животных, вызываемых условно-патогенными микроорганизмами. Сельскохозяйственные растения служат одним из естественных резервуаров таких патогенов. Механизмы поражения растений схожи с механизмами патогенности бактерий человека и животных. По мере изучения экологии патогенных бактерий, были получены данные, однозначно показывающие возможность их длительного выживания и размножения, без признаков потери признаков вирулентности к организму основного хозяина.

Методология. Образцы растений томата и картофеля (39 шт.) были получены из 12 тепличных комбинатов и селекционных теплиц Московской области. Геномную ДНК и РНК выделяли с использованием соответствующих наборов. Для амплификации гипервариабельного V3-V4 участка гена 16S рибосомальной РНК использовались стандартные праймеры. Секвенирование проводили на платформе Illumina. Полученные данные секвенирования обрабатывались программой, написанной с использованием алгоритма QIIME 1.9.1. Был использован алгоритм классификации операционных таксономических единиц (OTE) с открытым референсом (Open-reference OTU), порог отсечения при классификации - 97%.

Результаты. В данной работе мы рассматриваем экспериментальные подтверждения латентного выживания условно-патогенных бактерий, используя как анализ метагенома бактериального сообщества на растениях в защищенном грунте и анализ популяции бактериофагов, что применяется в качестве индикатора присутствия целевых видов в окружающей среде.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
эндофитные бактерии, секвенирование нового поколения, метагеном, томаты, картофель

Elvira M. Gaisina[1], Evelina M. Ochirova[1], Denis A. Nikitinsky[2], Ekaterina V. Nikitinskaya[2], Olga Y. Slovareva[2], Alexander N. Ignatov[1]*

[1] Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University)
Miklukho-Maklaya St., 6, 17198, Moscow, Russia

[2] All-Russian Plant Quarantine Center (VNIIKR)
140150, Moscow reg. Bykovo, Russia

***Correspondence Author:** Ignatov-an@pfur.ru

Funding. Ministry of Science and Education of Russia (project FSSF-2024-0063)

Authors' Contribution: Gaisina E.M. was responsible for the preparation of the manuscript and analysis of the results; Ochirova E.M. carried out the research; Nikitinsky D.A. executed the research and analyzed the results; Nikitinskaya E.V. carried out the research; Slovareva O.Yu. analyzed the results; Ignatov A.N. provided scientific management for the research.

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

For citation: Gaisina E.M., Ochirova E.M., Nikitinsky D.A., Nikitinskaya E.V., Slovareva O.Y., Ignatov A.N. Opportunistic bacteria in greenhouse Solanaceous plants – assessment by new generation sequencing methods. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):70-76. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-70-76

Received: 18.04.2025
Accepted for publication: 28.04.2025
Published: 07.07.2025

Opportunistic bacteria in greenhouse Solanaceous plants – assessment by new generation sequencing methods

ABSTRACT

Relevance. In recent years, there has been an alarming increase in the number of human and animal disease cases caused by opportunistic microorganisms. These pathogens are often found in agricultural plants, which serve as natural reservoirs for them. The mechanisms of plant damage caused by these pathogens are similar to those of human and animal pathogenic bacteria.As the ecology of these pathogenic bacteria has been studied, data has been obtained that clearly shows the possibility of their long-term survival and reproduction in plants, without any signs of loss of their virulence towards the main host organism.

Methodology. Tomato and potato plant samples (39 in total) were collected from 12 different greenhouses in the Moscow region. Genomic DNA and RNA were isolated using appropriate kits. Standard primers were used to amplify the hypervariable V3-V4 region of the 16S ribosomal RNA gene. Sequencing was performed on the Illumina platform. The obtained sequencing data was processed by a program written using the QIIME 1.9.1 algorithm. An open-reference Opec classification algorithm (OTU) was used, with a classification threshold of 97%.

Results. In this paper, we consider experimental evidence for the latent survival of opportunistic bacteria using both metagenome analysis of the bacterial community on protected plants and bacteriophage population analysis, which is used as an indicator of the presence of target species in the environment.

KEYWORDS:
endophytic bacteria, next-generation sequencing, metagenome, tomatoes, potato

Введение

Эндофитные бактерии в растениях потенциально могут способствовать росту растений, улучшать азотное питание, но, в некоторых случаях, являются патогенами для человека. Недавние исследования, убедительно показали, что условно-патогенные энтеробактерии являются частью обычной микробиоты растений [1]. Степень эндофитной колонизации бактериальными штаммами регулируется защитными свойствами растений, и в последние годы было идентифицировано много генетических детерминант, необходимых для такой колонизации, причем. близких к генам, важным для патогенеза на основных хозяевах этих бактерий. Способность бактерий различных таксонов поражать как растения, так и животные была давно отмечена для *Pseudomonas aeruginosa, Burkholderia cepacia* и *Erwinia* sp. [2, 16], и была предметом многочисленных исследований, рассмотренных в ряде подробных обзоров [4, 9].

Обширная группа гамма-протеобактерий Enterobacteriaceae, генетически близких к *Escherichia coli,* включает в себя как типичных патогенов человека и животных (виды родов *Salmonella, Shigella, Yersinia*), так и патогенов растений (*Erwinia, Pectobacterium, Pantoea*). Патогенные энтеробактерии, включая *Salmonella enterica* и *Escherichia coli* O157:H7, длительное время выживают на поверхности растений [6, 8].

Из растительных тканей неоднократно выделяли такие виды, как Klebsiella pneumoniae [12], *Enterobacter cloacae, Enterobacter* aerogenes [21], Serratia *marcescens* [10], *Burkholderia cepacian* [16], других бактерий семейства Enterobacteriaceae, обладающих потенциальной вирулентностью для животных и устойчивостью к широкому кругу антибиотиков [1]. Патогенные энтеробактерии в значительном числе выделяли из листьев салата (от 400 до 9000 КОЕ/г) [8] проростков редиса, моркови, люцерны, бобов, и молодого картофеля [13], используемых в качестве салатов, не подвергаемых термической обработке.

Потенциальными источниками бактерий в растениях являются ирригационные воды, почва, насекомые и нематоды – вредители, и главный источник – животные и человек [9, 20].

Очевидно, что механизмы бактериального симбиоза/патогенеза для животных и растений в обоих случаях должны иметь немало общих черт как со стороны патогена, так и хозяина. Но, несмотря на значительные достижения в идентификации общих факторов вирулентности для животных и растений у *Pseudomonas aeruginosa* [20, 22], остаются сомнения в том, является ли эта многохозяинность частью обычного биологического цикла патогенов, или развитием при особых условиях среды и отсутствии эффективной защитной реакции неспецифичного хозяина - т.н. оппортунистический патогенез.

По мере изучения экологии патогенных бактерий, были получены данные, однозначно показывающие возможность их выживания и размножения в альтернативной экологической нише в течение длительного времени без потери вирулентности для первоначального хозяина-животного [4]. Кроме всего прочего, патогенные бактерии, находящиеся как эндосимбионты в фитопатогенных грибах, играют важную роль в вирулентности последних, выделяя фитотоксины [20]. Видимо, альтернативное существование патогенных бактерий не имеет принципиального значения для их жизненного цикла и эволюции.

В то же время, неспециализированные фитопатогены Pectobacterium carotovorum и *Pantoea agglomerans*, *Bulkholderia* sp., *Ralstonia* sp. вызывают различные поражения внутренних органов при травмах и сниженном иммунитете животных и человека [7]. Размножение фитопатогенов происходит во взаимодействии с простейшими (*Erwinia* sp.), внутри насекомых (*Erwinia chrisantemi=Dickeya dadantii*), нематод (*Rathayibacter tritici, Rathayibacter* spp.) и других животных, а патогены человека и животных регулярно обнаруживают как эпифитные, эндофитные, ризосферные или паразитические (фитопатогенные) бактерии растений и водорослей [6].

Очевидно, что обладание общими механизмами патогенеза и симбиоза [20, 22] позволяет бактериям сосуществовать и паразитировать на разных одноклеточных и многоклеточных растениях и животных. Однако, несмотря на достижения в изучении генетики вирулентности этих патогенов, остается открытым вопрос, является ли их способность заражать различные организмы неотъемлемой частью биологии патогена, или же результатом адаптации в связи с недостаточной степенью устойчивости нетипичного хозяина.

Исследования показывают, что данные бактерии могут длительное время существовать и размножаться при изменении условий окружающей среды в качестве сапрофитов или даже фитопатогенов, не теряя при этом своей патогенности для исходного хозяина [14]. По-видимому, сапрофитная фаза жизни не играет значительной роли в эволюции и жизненном цикле условно-патогенных/патогенных бактерий. Сравнительная простота изучения взаимодействия растений с условно-патогенными бактериями делает их удобной моделью для исследования инфекционных процессов у животных и человека, а также позволяет осуществлять поиск новых методов борьбы с бактериальными инфекциями [17, 18].

Целью данного исследования является анализ применения NGS для изучения микробиома пасленовых растений, выращенных в теплицах на территории РФ. Томат (*Solanum lycopersicum* L.) и картофель (*S/tuberosum* L.) принадлежат к роду, который включает такие продовольственные культуры, как картофель, томат, перец, физалис и баклажан. Благодаря быстрому росту пасленовые растения часто используется в качестве модельного объекта при изучении физиологии и биохимии растений. В данной работе был проведен анализ метагенома бактериальных сообществ растений томатов и семенного картофеля, выращиваемых в гидропонной культуре, а также анализ популяций бактериофагов, ассоциированных с патогенами. Бактериофаги все чаще используются в качестве индикаторов присутствия исследуемых видов бактерий в пробах, взятых из окружающей среды [11].

Методы секвенирования нового поколения (NGS) успешно применяются для оценки разнообразия микробиомов различных растений. Эти технологии позволяют не только обнаруживать и количественно оценивать клинически значимые бактерии, но и выявлять скрытые патогены, взаимодействующие с другими организмами в сложных инфекционных процессах.

Материалы и методы

Образцы растений томата и картофеля (39 шт.) были получены из 12 тепличных комбинатов, выращивающих томат, и селекционных теплиц Московской области, использующих гидропонную технологию выращивания семенных клубней картофеля в течение вегетационных сезонов 2023–24 гг. Образы были получены в рамках рутинного мониторинга фитосанитарной ситуации в теплицах, в соответствии с плановым проведением анализа присутствия возбудителей болезней растений, доставлены и подготовлены для анализа в соответствии с лабораторным регламентом лаборатории ВНИИКР.

Методы выделения ДНК и РНК и синтез библиотек для секвенирования

ДНК выделяли с использованием набора QIAamp DNA Microbiome Kit (QIAGEN, США) [23] в соответствии с рекомендациями производителя. РНК выделяли с использованием набора QIAamp Viral Kit (QIAGEN, США) [24] в соответствии с рекомендациями производителя QIAamp. Выделение происходит колоночным методом с использованием микроцентрифуги. Для ПЦР-амплификации области V3-V4 гена 16S рРНК использовали мастер-смесь для Taq полимеразы [25] и специфические праймеры 16sF и 16sR [21]. В реакции использовали 40 нг тотальной ДНК и 10 мкм каждого праймера, при этом условия ПЦР включали начальную денатурацию при температуре 95°C, за которой следуют 25 циклов при температуре 95°C в течение 15 секунд, 60°C в течение 15 секунд и 72°C в течение 2 минут, завершающихся досинтезом при температуре 72°C в течение 10 минут. Синтез кДНК на матрице выделенной РНК осуществлялся с помощью набора реактивов Mint (Евроген, Россия) [26] в соответствии с рекомендациями производителя с использованием Random праймера (dN)10 (Евроген, Россия).

Синтез библиотек для секвенирования осуществлялся по стандартной методике [27], с применением KAPA HyperPlus Kit (F. Hoffmann-La Roche Ltd, Швейцария), с адаптацией по рекомендации производителя Illumina (Illumina, Inc., США) [28].

Секвенирование

Для секвенирования на платформе Illumina полученные библиотеки смешивались между собой и доводились до общей концентрации 2nM. Анализ библиотек проводился на секвенаторе нового поколения Illumina методом парно-концевого чтения генерацией не менее 500 000 парных прочтений на каждый образец с использованием следующих реактивов: MiSeq Reagent Kit v3 (Illumina, Inc., США) [28].

Обработка данных

Полученные «сырые» данные секвенирования собирались в контиги с применением программы SPAdes [3]. Качество полученных контигов анализировали программой Qiime [5]. Дальнейшее распределение последовательностей по таксономическим единицам – с использованием алгоритма KRAKEN [21]. Отдельные образцы верифицировались сравнением с базой данных NCBI при помощи программы BLAST [29].

Результаты и обсуждение

Метагеномный анализ бактериальной популяции в растениях

Для того, чтобы оценить встречаемость условно-патогенных бактерий в пробах растений, полученные из 12 тепличных комбинатов, полученные данные (всего 39 образцов) были сведены в табл. 1.

В результате метагеномного анализа 16S рРНК было выявлено до 1650 отдельных таксономических единиц (OTE), с индексом энтропии Шеннона от 5,8 до 8,9, что демонстрирует высокое генетическое разнообразие популяций. Количество OTE для образцов томата было существенно выше (различия достоверны на 95% уровне вероятности), чем для картофеля, но это может быть вызвано большим числом образцов и сортов томата, по сравнению с картофелем. Индекс Шеннона имеет максимальное значение, когда имеет место полная выравненность распределения видов, что соответствует наибольшему разнообразию системы, а минимальное значение равно 0 (отсутствие разнообразия).

Наиболее распространёнными видами в изученных растениях были *Mycobacterium canettii, Klebsiella pneumoniae, Escherichia coli, Proteus mirabilis, Pasteurella multocida subsp. multocida* и *Pseudomonas putida.*

Частота прочтений последовательностей 16S рРНК, определенных как *Mycobacterium canettii*, составляла от 3,4 до 10,3%. Ранее, Loukil A. с коллегами [15], нашли, что естественная ниша обитания *M. canettii* связана с растениями, синтезирующим рамнозу. Рамноза (6-дезоксиманноза), дезоксисахарид из группы альдогексоз с общей формулой $C_6H_{12}O_5$, является одним из углеводных компонентов внешней мембраны бактерий рода *Mycobacterium*, которые включает в себя возбудителей туберкулёза. В пасленовых растениях рамноза входит в состав гликоалкалоидов, в частности соланина и томатина [31]. Loukil A. и др. полагают, что распространение M. canettii в Авфрике и Азии связано с распространенной практикой употребления алколоид-содержащего растения *Catha edulis* (Кат съедобный) [15].

Давно отмечено присутствие в растениях других обнаруженных нами видов, в частности *Klebsiella pneumoniae* [12], *Escherichia coli* [1, 6, 8], *Proteus mirabilis, Pasteurella multocida subsp. multocida* [1, 12, 13] и *Pseudomonas putida* [2, 16].

Анализ РНК и бактериофагов

Данные о бактериофагах, выделенных из 39 образцов растений из 12 тепличных комплексов, представлены в табл. 2.

Наиболее часто встречались бактериофаги, поражающие энтеробактерии. В частности, *Salmonella phage TS13* был обнаружен с частотой от 3.1 до 36%,

Таблица 1. Частота встречаемости условно-патогенных и схожих бактериальных видов на пасленовых растениях, выращиваемых в тепличных комплексах
Table 1. Frequency of occurrence of opportunistic and similar bacterial species on solanaceous plants in greenhouses

Номера образцов растений*	Частота встречаемости, %		Вид бактерий (только для видов, определенных до уровня вида или штамма)
	От	До	
1-39	3,40	10,29	*Mycobacterium canettii*
4, 10-39	0	0,04	*Corynebacterium sanguinis*
3, 8, 19	0	0,05	*Cutibacterium acnes*
1, 3, 7	0	0,04	*Cutibacterium granulosum*
3, 6, 23, 29, 30, 34	0,02	0,08	*Cylindrospermum stagnale*
1-10, 14-39	0,01	0,09	*Cylindrospermum stagnale*
1-39	0,02	0,06	*Nodularia spumigena*
1-39	0,04	0,14	*Oxynema aestuarii*
2, 7-19, 30-39	0,01	0,05	*Bacillus mycoides*
34-36	0,04	0,04	*Bacillus atrophaeus*
32-38	0	0,05	*Gracilibacillus salitolerans*
1-39	0,04	0,24	*Staphylococcus cohnii*
35-39	0,04	0,05	*Listeria ivanovii*
13, 27	0,04	0,06	*Weissella koreensis*
23, 25, 29	0,04	0,07	*Limosilactobacillus reuteri*
30	0,04	0,04	*Fructilactobacillus lindneri*
30-34	0,04	0,09	*Jeotgalibaca ciconiae*
30-39	0,01	0,04	*Natranaerobius thermophilus*
28-34	0,02	0,04	*Metamycoplasma cloacale*
1-39	0,1	0,90	*Klebsiella pneumoniae*
1-39	0,04	0,24	*Escherichia coli*
36-39	0,04	0,04	*Candidatus Blochmannia vicinus*
1-39	0,08	0,18	*Proteus mirabilis*
1-39	0,04	0,1	*Providencia rettgeri*
1-39	0,4	0,69	*Pasteurella multocida subsp. multocida*
10-29	0,04	0,07	*Vibrio panuliri*
23-29	0,02	0,04	*Photobacterium damselae*
1-18	0,01	0,04	*Methylomonas denitrificans*
1-39	0,04	0,14	*Pseudomonas putida*
1-39	0,04	0,05	*Methyloceanibacter caenitepidi*
29-32	0	0,04	*Candidatus Hodgkinia cicadicola*
1-39	0	0,04	*Cereibacter sphaeroides*
2-12	0	0,04	*Nitrosomonas ureae*
1-39	0,04	0,1	*Burkholderia cenocepacia*
1-39	0,04	0,05	*Blattabacterium cuenoti*
1-39	0,04	0,05	*Cyclobacterium marinum*
1-39	0,01	0,04	*Algoriphagus sanaruensis*
1-12	0,01	0,04	*Cetobacterium somerae*
2, 5, 6	0,01	0,04	*Paludibaculum fermentans*
1-12	0,01	0,04	*Thermanaerovibrio velox*
Среднее	0,13	0,39	
Ст. откл.	0,54	1,62	

**Образцы 1-25 – томат, образцы 26-39 – картофель.*

Таблица 2. Частота встречаемости бактериофагов в пасленовых растениях в теплицах
Table 2. Frequency of occurrence of bacteriophages in greenhouse solanaceous plants

Номера образцов растений*	Частота встречаемости, %		Бактериофаг
	От	До	
1-39	3,10	36,00	*Chivirus iEPS5 (Salmonella phage TS13)*
1, 3-7	0,04	0,04	*Zhonglingvirus Salmonella phage SAP012*
1-39	0,23	0,31	*Rosenblumvirus Staphylococcus phage CSA13*
1-39	3,75	7,50	*Valbvirus Vibrio phage ValB1MD-2*
21, 29	0,08	0,08	*Haifavirus Prochlorococcus phage P-TIM68*
1-8	0,04	0,05	*Ahtivirus Synechococcus phage S-ShM2*
1, 3, 5	0,04	0,05	*Bacillus phage SIOphi*
2, 6, 7	0,02	0,04	*Siminovitchvirus Bacillus phage CP-51*
26-35	0,01	0,04	*Teubervirus Lactococcus phage P087*
23, 25, 30	0,01	0,04	*Sulfitobacter phage phiCB2047-B*
27, 34, 37	0,03	0,04	*Claudivirus Goe4*
12, 23, 25	0,03	0,04	*Bacillus phage vB_BthP-Goe4*
23, 24, 27	0,01	0,04	*Saclayvirus Aci022*
2-9	0,01	0,04	*Acinetobacter phage vB_AbaM_B09_Aci02-2*
3-7	0,03	0,04	*Shewanella phage SppYZU05*
11, 17, 23-29	0,03	0,04	*Pseudomonas phage Lana*
1-39	0,02	0,06	*Lactococcus phage P335*
1-39	0,04	0,06	*Enterobacteria phage phiP27*
1-39	0,04	0,06	*Muldoonvirus PS2*
1-39	0,04	0,06	*Serratia phage PS2*
1-39	0,04	0,05	*Marienburgvirus JLK2012*
1-39	0,04	0,05	*Escherichia phage JLK-2012*
1-39	0,04	0,05	*Stenotrophomonas phage IME13*
1-39	0,04	0,05	*Stenotrophomonas phage Mendera*
1-25	0,21	0,26	*Klebsiella phage ST147-VIM1phi7.1*
1-39	0,20	0,27	*Klebsiella phage 3LV2017*
1-25	0,04	0,05	*Erwinia phage EtG*
1-25	0,03	0,05	*Salmonella phage PSP3*
1-25	0,02	0,05	*Escherichia phage 186*
1-25	0,01	0,03	*Salmonella phage SEN1*
1-25	0,02	0,04	*Peduovirus P2*
1-25	0,01	0,04	*Escherichia phage Wphi*
1-25	0,01	0,04	*Escherichia phage vB_EcoM-12474III*
1-25	0,01	0,04	*Yersinia phage vB_YpM_46*
1-39	0,08	0,12	*Escherichia phage 500465-1*
1-39	0,03	0,04	*Klebsiella phage ST437-OXA245phi4.1*
26-39	0,02	0,04	*Salmonella phage RE2010*
26-39	0,01	0,04	*Salmonella phage SEN8*
26-39	0,02	0,04	*Erwinia phage ENT90*
26-39	0,02	0,05	*Klebsiella phage 4LV2017*
26-39	0,02	0,05	*Klebsiella phage ST13-OXA48phi12.1*
26-39	0,01	0,03	*Burkholderia phage phiE202*
26-39	0,01	0,03	*Haemophilus phage HP2*
23, 30	0,06	0,07	*Salmonella phage SAP012*
1-39	0,08	0,09	*Staphylococcus phage CSA13*
25-30	0,03	0,06	*Staphylococcus phage Andhra*
1-39	0,12	0,19	*Escherichia phage HK639*
1-39	0,04	0,05	*Klebsiella phage phiKO2*
1-39	0,03	0,05	*Cronobacter phage ENT47670*
1-39	0,03	0,05	*Enterobacteria phage ES18*
1-39	0,03	0,05	*Salmonella phage vB_SosS_Oslo*
1-39	0,02	0,04	*Cronobacter phage phiES15*
26-39	0,01	0,04	*Vibrio phage SIO-2*
26-39	0,01	0,04	*Croceibacter phage P2559Y*
26-39	0,01	0,04	*Streptomyces phage mu1/6*
26-39	0,01	0,04	*Stenotrophomonas phage S1*
26-39	0,01	0,05	*Psychrobacter phage Psymv2*
26-39	0,01	0,06	*Nocardia phage NBR1*
26-39	0,01	0,06	*Brucella phage BiPBO1*
1-39	0,30	0,38	*Klebsiella phage Marfa*
1-39	0,09	0,18	*Escherichia phage RCS47*
1-39	0,07	0,17	*Enterobacteria phage P7*
1-39	0,02	0,22	*Salmonella phage SJ46*
1-39	0,05	0,15	*Escherichia phage D6*
1-39	0,04	0,24	*Shigella phage SfIV*
1-39	0,02	0,12	*Enterobacteria phage phiP27*
1-39	0,02	0,22	*Pseudomonas phage 201phi2-1*
1-39	0,02	0,12	*Salmonella phage ST64B*
23, 24, 27	0,01	0,02	*Pectobacterium phage ZF40*
23, 34	0,01	0,02	*Thermus phage phi OH2*
1-39	0,07	0,09	*Enterobacteria phage phi80*
1-39	0,06	0,09	*Enterobacteria phage HK225*
Среднее	0,13	0,39	
Ст. откл.	0,49	0,57	

**Образцы 1-25 – томат, образцы 26-39 – картофель.*

Vibrio phage ValB1MD-2 – от 3,75 до 7,5%, что более чем на 2 порядка превосходило встречаемость последовательностей других фагов.

Хорошо известно об ассоциации бактерий рода *Salmonella* с культурными растениями, а *Vibrio* – с водными растениями, также из растительных тканей неоднократно выделяли *Enterobacter cloacae, Enterobacter aerogenes* [22], *Serratia marcescens* [10] и другие бактерии семейства *Enterobacteriaceae*, обладающие потенциальной вирулентностью для животных. Патогенные энтеробактерии ранее выделяли из листьев салата, проростков редиса, моркови, люцерны, бобов, и молодого картофеля [8, 13], используемых в качестве салатов, не подвергаемых термической обработке. Поэтом, наличие в качестве доминирующей фракции фагов, поражающих энтеробактерии, выглядит логичным и ожидаемым.

Как уже отмечено выше, бактериофаги, ассоциированные с бактериями других таксономических групп, в частности грамположительными видами (*Staphylococcus, Bacillus, Streptomyces,* etc.) и бета-протеобактериями, встречались значительно реже.

Заключение

Большее количество последовательностей, принадлежащих видам, считающимся условно-патогенными бактериями и наличие специфичных к ним бактериофагов конечно не может быть принято в качестве доказательства наличия живых и опасных для человека и животных форм в растениях тепличных комбинатов. Но, многократно подтвержденное другим исследованиями [1, 2, 6, 8-10, 12-14, 16, 19, 22], получение подобных результатов указывает на необходимость проведения более подробных исследований с применением как современных и традиционных микробиологических исследований микробиоты тепличных растений.

Определенная проблема возникает из-за факта того, что доступные базы последовательностей, которые были использованы для определения таксономической принадлежности бактерий и бактериофагов содержат множество последовательностей, в которых отсутствует адекватная проверка присвоенного таксономического статуса, или она не доходит до уровня штаммов [16, 17], поэтому требуются другие, более консервативные подтверждающие методы анализа.

Наиболее часто встречающимися в тепличных образцах были образцы, отнесенные по 16S рРНК к виду *Mycobacterium canettii,* а наиболее часто представленными видами бактериофагов - *Salmonella phage TS13* и *Vibrio phage ValB1MD-2*, которые более чем на 1-2 порядка превосходили максимальную встречаемость последовательностей других фагов. Мы можем констатировать факт наличия, распространения и циркуляции условно патогенных бактерий микроорганизмов в пасленовых культурах в условиях закрытого грунта. Таким образом, метод NGS будет полезным этапом анализа материала для выявления среди микробиоты растений не только фитопатогенных [30], но и условно-патогенных бактерий.

• Литература

1. Маркова Ю.А., Романенко А.С. Выделение условно-патогенных микроорганизмов из растений. *Гигиена и санитария.* 2006;(1):60-62. https://elibrary.ru/hstbdb

2. Худоярова Г.Н., Баротов И., Журакулов А.Г. Растения как возможные резервуары патогенных для человека бактерий. *Евразийский журнал медицинских и естественных наук.* 2023;(3):38–41.

3. Bankevich A., et al. SPAdes: A New Genome Assembly Algorithm and Its Applications to Single-Cell Sequencing. *Journal of Computational Biology.* 2012;5(19):455–477. https://doi.org/10.1089/cmb.2012.0021

4. Barbaree J.M., et al. Isolation of protozoa from water associated with a legionellosis outbreak and demonstration of intracellular multiplication of Legionella pneumophila. *Applied and Environmental Microbiology.* 1986;2(51):422–424. https://doi.org/10.1128/aem.51.2.422-424.1986

5. Bolyen E., et al. Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. *Nat Biotechnol.* 2019;(37):852–857. https://doi.org/10.1038/s41587-019-0209-9

6. Brandl M.T. Fitness of Human Enteric Pathogens on Plants and Implications for Food Safety. *Annual Review of Phytopathology.* 2006;1(44):367–392. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143359

7. Cruz A.T., Cazacu A.C., Allen C.H. Pantoea agglomerans, a Plant Pathogen Causing Human Disease. *Journal of Clinical Microbiology.* 2007;6(45):1989–1992.

8. Franz E., et al. Quantification of contamination of lettuce by GFP-expressing Escherichia coli O157:H7 and Salmonella enterica serovar Typhimurium. *Food Microbiology.* 2007;1(24):106–112. https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.03.002

9. Guo X., et al. Survival of Salmonellae on and in Tomato Plants from the Time of Inoculation at Flowering and Early Stages of Fruit Development through Fruit Ripening. *Applied and Environmental Microbiology.* 2001;10(67):4760–4764. https://doi.org/10.1128/AEM.67.10.4760-4764.2001

10. Gyaneshwar P., et al. Endophytic Colonization of Rice by a Diazotrophic Strain of Serratia marcescens. *Journal of Bacteriology.* 2001;8(183):2634–2645. https://doi.org/10.1128/jb.183.8.2634-2645.2001

11. Hussain W., et al. Bacteriophage-based advanced bacterial detection: Concept, mechanisms, and applications. *Biosensors and Bioelectronics.* 2021;(177):112973.

12. Islam M., et al. Fate of Salmonella enterica Serovar Typhimurium on Carrots and Radishes Grown in Fields Treated with Contaminated Manure Composts or Irrigation Water. *Applied and Environmental Microbiology.* 2004;4(70):2497–2502. https://doi.org/10.1128/AEM.70.4.2497-2502.2004

13. Itoh Y., et al. Enterohemorrhagic Escherichia coli O157:H7 Present in Radish Sprouts. *Applied and Environmental Microbiology.* 1998;4(64):1532–1535. https://doi.org/10.1128/AEM.64.4.1532-1535.1998

14. King C.H., et al. Survival of coliforms and bacterial pathogens within protozoa during chlorination. *Applied and Environmental Microbiology.* 1988;12(54):3023–3033. https://doi.org/10.1128/aem.54.12.3023-3033.1988

15. Loukil A., et al. Decrypting the environmental sources of Mycobacterium

canettii by high-throughput biochemical profiling. *PLoS ONE.* 2019;14(9):e0222078. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222078

16. Parke J.L., Gurian-Sherman D. Diversity of the Burkholderia Cepacia Complex and Implications for Risk Assessment of BIological Control Strains. *Annual review of phytopathology.* 2001;1(39):225–258. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.225

17. Parson W., et al. Evaluation of next generation mtGenome sequencing using the Ion Torrent Personal Genome Machine (PGM). *Forensic Science International: Genetics.* 2013;5(7):543–549. https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2013.06.003

18. Roossinck M.J., Martin D.P., Roumagnac P. Plant Virus Metagenomics: Advances in Virus Discovery. *Phytopathology®.* 2015;6(105):716–727. https://doi.org/10.1094/phyto-12-14-0356-rvw

19. Starr M.P., Chatterjee A.K. The Genus Erwinia: Enterobacteria Pathogenic to Plants and Animals. *Annual Review of Microbiology.* 1972;1(26):389–426.

20. Valdivia R.H., Heitman J. Endosymbiosis: The Evil within. *Current Biology.* 2007;11(17):R408–R410. https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.04.001

21. Wood D.E., Salzberg S.L. Kraken: ultrafast metagenomic sequence classification using exact alignments. *Genome Biology.* 2014;3(15):R46. http://genomebiology.com/2014/15/3/R46

22. Zinniel D.K., et al. Isolation and Characterization of Endophytic Colonizing Bacteria from Agronomic Crops and Prairie Plants. *Applied and Environmental Microbiology.* 2002;5(68):2198–2208. https://doi.org/10.1128/AEM.68.5.2198-2208.2002

23. QIAGEN. QIAamp DNA Microbiome Kit [Электронный ресурс]. URL: https://www.qiagen.com/us/products/discovery-and-translational-research/dna-rna-purification/dna-purification/microbial-dna/qiaamp-dna-microbiome-kit.

24. QIAGEN. QIAamp Viral RNA Mini Kit [Электронный ресурс]. URL: https://www.qiagen.com/us/products/diagnostics-and-clinical-research/sample-processing/qiaamp-viral-rna-kits.

25. New England Biolabs. Taq 2X Master Mix [Электронный ресурс]. URL: https://www.neb.com/en-us/products/m0270-taq-2x-master-mix.

26. ЕвроГен. Набор для синтеза кДНК MINT [Электронный ресурс]. URL: https://evrogen.com/products/Mint/Mint.shtml.

27. Roche. KAPA HyperPlus Kit [Электронный ресурс]. URL: https://sequencing.roche.com/us/en/products/group/kapa-hyperplus-kits.html.

28. Illumina. MiSeq Reagent Kit v3 (600 cycles) [Электронный ресурс]. URL: https://www.illumina.com/products/by-type/sequencing-kits/cluster-gen-sequencing-reagents/miseq-reagent-kit-v3.html.

29. NCBI. BLAST: Basic Local Alignment Search Tool [Электронный ресурс]. URL: https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/.

30. Никитинский Д.А., Никитинская Е.В., Игнатов А.Н. Метагеномный анализ фитопатогенных бактерий в растениях защищенного грунта. Фитосанитария. Карантин растений. 2024;S4-2(20):67.

31. Waugh W.F. Solanin. *Journal of the American Medical Association.* 1906;47(18):1479-82.

● References

1. Markova Yu.A., Romanenko A.S. Isolation of opportunistic pathogenic microorganisms from plants. *Hygiene and sanitation.* 2006. 1, C. 60-62.

2. Khudoyarova G.N., Baratov I., Dzhurakulov A.G. Plants as possible reservoirs of pathogenic bacteria for humans. *EJMNS.* 2023;(3):38–41.

30. Nikitinsky D.A., Nikitinskaya E.V., Ignatov A.N. Metagenomic analysis of phytopathogenic bacteria in plants of protected soil. *Phytosanitary. Quarantine of plants.* 2024;S4-2(20):67.

Об авторах:

Эльвира Марсовна Гайсина – магистрант агробиотехнологического департамента ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», SPIN-код: 6446-2047, https://orcid.org/0000-0001-5433-4928, gaysina-em@rudn.ru

Эвелина Мергеновна Очирова – магистрант агробиотехнологического департамента ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», https://orcid.org/0009-0009-6414-6125, ochirova-em@rudn.ru

Денис Александрович Никитинский – исполняющий обязанности руководителя лаборатории ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений», SPIN-код: 6245-2717, https://orcid.org/0009-0009-1679-9893, denpreffect@yandex.ru

Екатерина Вадимовна Никитинская – научный сотрудник лаборатории ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений», SPIN-код: 8233-1331, https://orcid.org/0009-0002-0991-9841, NikitinskajaCat@yandex.ru

Ольга Юрьевна Словарева – кандидат биологических наук, старший научныйсотрудник – и.о. начальника научно-методического отдела бактериологии ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений», SPIN-код: 4396-9436, https://orcid.org/0000-0001-6022-5955, slovareva.olga@gmail.com

Александр Николаевич Игнатов – доктор биологических наук, профессор агробиотехнологического департамента ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им.Патриса Лумумбы», SPIN-код: 3324-4985, https://orcid.org/0000-0003-2948-753X, ignatov_an@pfur.ru

About the Authors:

Elvira M. Gaisina – Master's student in the Department of Agrobiotechnology, SPIN-code: 6446-2047, https://orcid.org/0000-0001-5433-4928, gaysina-em@rudn.ru

Evelina M. Ochirova – Master's student in the Department of Agrobiotechnology, https://orcid.org/0009-0009-6414-6125, ochirova-em@rudn.ru

Denis A. Nikitinsky – Acting Head of the Laboratory, SPIN-code: 6245-2717, https://orcid.org/0009-0009-1679-9893, denpreffect@yandex.ru

Ekaterina V. Nikitinskaya – Researcher, Laboratory, SPIN-code: 8233-1331, https://orcid.org/0009-0002-0991-9841, NikitinskajaCat@yandex.ru

Olga Y. Slovareva – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher – Acting Head of the Scientific and Methodological Department of Bacteriology, SPIN-code: 4396-9436, https://orcid.org/0000-0001-6022-5955, slovareva.olga@gmail.com

Alexander N. Ignatov – Dr. Sci. (Biology), Professor of the Agrobiotechnology Department, SPIN-code: 3324-4985, https://orcid.org/0000-0003-2948-753X, ignatov_an@pfur.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-2-3-77-82
УДК:632.38

Ol'ga A. Sobko*,
Marina V. Ermak

Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki" 692539 Russia, Primorsky kray, Ussuriysk, Timiryazevsky stl., Volozhenina st., 30B

***Correspondence Author:** o.eyvazova@gmail.com

Authors' Contribution: O.A. Sobko: conceptualization, methodology, data verification, application of statistical methods to analyze the study data, conducting the study, writing-reviewing and editing the manuscript. M.V. Ermak: conceptualization, methodology, data verification, application of statistical methods to analyze the study data, conducting the study, writing-reviewing and editing the manuscript.

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

For citation: Sobko O.A., Ermak M.V. Role of plant viral infection in the inhibition of potato immune responses to the damage caused by leaf-eating pests. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):77-82. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-77-82

Received: 26.09.2024
Accepted for publication: 18.12.2024
Published: 07.07.2025

Role of plant viral infection in the inhibition of potato immune responses to the damage caused by leaf-eating pests

ABSTRACT

Relevance. **There are very few studies on the role of plant viral infection in inhibiting the immune response of potato plants to the damage caused by leaf-eating pests; the available data has a fragmental character.**

Materials and Methods. **The research was carried out in an experimental field of FSBSI "FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki" in 2020-2023. The following potato varieties of Russian and foreign breeding origin were used in the experiment: Belmonda, Sante, Dachnyi, Yantar', Avgustin, Yubilyar, Kazachok, Red Lady, Labella, Queen Anne, Laperla, Smak, Lilly, Arktika, Svitanok Kievskii, Nakra, Dal'nevostochnyi, and Severnyi. The progression of plant viral infection and the degree of the damage caused by *Henosepilachna vigintioctomaculata* were assessed on a point scale.**

Results. **The research established a direct correlation between a decrease in the immune response of potato plants to leaf-eating insects and the accumulation of viral infection without the renewal of planting material. Potato varieties Svitanok Kievskii, Nakra, Dal'nevostochnyi, and Severnyi were observed to have latent viral infection (from 0 to 0.5 points) in the first year of the experiment (2022) and were not susceptible to the potato ladybird beetle. Mixed plant viral infection manifested itself on potato plants in 2023 decreasing the immunity of the plants to phytophagous insects, particularly to the potato ladybird beetle. The progression of plant viral infection on variety Svitanok Kievskii reached four points while the degree of the damage caused by the potato ladybird beetle to potato plants was 1.2 points. The progression of plant viral infection scored about two points on varieties Nakra and Severnyi with a damage degree of one point. Variety Dal'nevostochnyi was the least susceptible to plant viral infection and the degree of damage was minimum as well.**

KEYWORDS:
plant virus, phytophage, immunity, potato

О.А. Собко*,
М.В. Ермак

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки» 692539, Россия, Приморский край, г. Уссурийск, п. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30б

***Автор для переписки:** o.eyvazova@gmail.com

Вклад авторов: О.А. Собко: концептуализация, методология, верификация данных, применение статистических методов для анализа данных исследования, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи. М.В. Ермак: концептуализация, методология, верификация данных, применение статистических методов для анализа данных исследования, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Sobko O.A., Ermak M.V. Role of plant viral infection in the inhibition of potato immune responses to the damage caused by leaf-eating pests. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):77-82. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-77-82

Поступила в редакцию: 26.09.2024
Принята к печати: 18.12.2024
Опубликована: 07.07.2025

Роль фитовирусной инфекции в ингибировании иммунного ответа картофеля на повреждения листогрызущими вредителями

РЕЗЮМЕ

Актуальность. **Исследований, посвященных роли фитовирусной инфекции в ингибировании иммунного ответа растений картофеля на повреждения, вызванные листогрызущими вредителями, крайне мало; имеющиеся данные носят фрагментарный характер.**

Материал и методы. **Исследования проводили на опытном поле ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» в 2020–2023 годах, в эксперименте использовали сорта отечественной и зарубежной селекции: Belmonda, Sante, Дачный, Янтарь, Августин, Юбиляр, Казачок, Red Lady, Labella, Queen Anne, Laperla, Смак, Lilly, Арктика, Свитанок Киевский, Накра, Дальневосточный, Северный. Проявление фитовирусной инфекции на растениях картофеля и балл повреждения растений картофеля *Henosepilachna vigintioctomaculata* оценивали в баллах.**

Результаты. **Нами обнаружен факт уменьшения иммунного ответа картофеля по отношению к листогрызущим насекомым от накопления вирусной инфекции в условиях отсутствия обновления посадочного материала картофеля. Так сорта Свитанок Киевский, Накра, Дальневосточный, Северный в первый год изучения (2022 год), имели латентное протекание фитовирусной инфекции (от 0 до 0,5 баллов проявления фитовирусов на растениях) и не поедались картофельной коровкой. В 2023 году смешанная фитовирусная инфекция проявилась на растениях, вследствие чего снизился иммунитет картофеля к фитофагам, и в частности к картофельной коровке. На сорте Свитанок Киевский проявление фитовирусной инфекции составила 4 балла, соответсвенно и повреждения от картофельной коровки на этом сорте составили 1,2 балла, сорта Накра и Северный имели около 2-х баллов проявления фитовирусной инфекции и по 1 баллу поражения картофельной коровкой, сорт Дальневосточный минимально поразился фитовирусной инфекцией и повреждения от фитофага тоже били минимальные**

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
фитовирус, фитофаг, иммунитет, картофель

Introduction

The ecosystemic functions performed by the immunogenetic system of plants in agricultural landscapes are a complex and poorly studied aspect of plant immunology. Consequently, both strategies for creating plant genotypes with certain traits and the strategies of their use under the conditions of sustainably functioning agroecosystem are understudied as well. Plants constitute the basis of any ecosystem and have unique ecological relations with their environment. This determines their specific biogeochemical activity and ability to transform the environment making it suitable for heterotrophs such as phytophagous and entomophagous insects, microorganisms, and others populating a given ecosystem [1]. The immunogenetic features of both autotrophs and consumers of all trophic levels are among the key mechanisms preserving the stability in ecosystems [2]. According to the general principles of immunology, the immunity of a particular species manifests itself only in the process of interaction between members of specific ecological systems in the form of interaction among phenotypes [2]. The balanced management of the phytosanitary state of agroecosystems facilitates the stable production of high-quality and environmentally safe products [3]. Any agroecosystem is a totally new environment, which changes the species composition and structure of animal communities, and most of all it influences insects [4]. The predominance of a single plant species over a large area creates favorable conditions for the multiplication of phytophagous insects and determines their feeding specialization [5]. Besides causing direct damage to agricultural plants while feeding on them, phytophagous insects can be vectors of viral infections. A high number of insect vectors in combination with optimal weather conditions for the overwintering and further development of imagines are the main causes of the damage inflicted by plant viruses on agricultural crops [6]. The potato ladybird beetle is the most dangerous pest of potato in the Russian Far East. The insects appear on plants at the germination stage and remain in the fields until harvesting [7]. H. vigintioctomaculata is a vector of the potato viruses that might lead up to a 60% yield loss. Viral infection accumulates over time and can be transmitted to the next generation of plants via tubers. This results in the degeneration of a given potato variety and might decrease its yield by 30-80% [8, 9]. Moreover, it has been discovered that phytophagous insects prefer to feed on diseased plants more often than on non-infected ones [10-13]. However, there are very few studies on the role of plant viral infection in inhibiting the immune response of potato plants to the damage caused by leaf-eating pests; the available data has a fragmental character. This determined the goal of our research.

Materials and methods

The research was conducted in an experimental field of FSBSI "FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki" in 2020-2023. The following varieties of Russian and foreign breeding origin was used in the experiment: Belmonda, Sante, Dachnyi, Yantar', Avgustin, Yubilyar, Kazachok, Red Lady, Labella, Queen Anne, Laperla, Smak, Lilly, Arktika, Svitanok Kievskii, Nakra, Dal'nevostochnyi, and Severnyi. Over the four years of our research, the potato varieties were planted in the same experimental field and the planting material was not renewed but harvested from that location. The research assessed the progression of plant viral infection and the degree of the damage caused by the potato ladybird beetle to potato plants. The progression degree of plant viral infection was evaluated by the number of plants with symptoms from the total number of the studied plants (%) at the end of the germination stage, at the stages of bud development and flowering, and before harvesting. The 10-point scale established by the International COMECON List of Descriptors for *Tuberarium* (Dun.) Buk. species of the genus *Solanum* L. for evaluating virus resistance was used to assess the disease progression on particular plants [14]. The degree of the damage caused by *Henosepilachna vigintioctomaculata* to potato plants was evaluated according to Vilkova (2023) [15]. Potato variety Arktika was used as the standard because phytophagous insects preferred to feed on it.

RT-PCR was employed to check all the plants in the samples for viral infection. The presence of certain plant viruses in the samples was analyzed by one-step RT-PCR with fluorescent detection in real time using a QuantStudio 5 amplifier (Applied Biosystems) and commercial kits "Potato Virus X. Y. M. L. S. A – PB" (Syntol Llc), the Phytoscreen series, designed for the identification of PVX, PVY, PVM, PLRV, PVS, PVA, and PSTVd [16, 17]. The statistical processing of the research results was performed with Past v.4.03 [18, 19]. The experimental data were visualized using MS Exel.

Results

Mixed viral infection (viruses from mosaic group: PVY, PVX, PVA, PVS, PVM; potato leaf roll virus, and potato spindle tuber viroid) was found in an agroecosystem of the potato field in Primorsky kray [20].

Our research established that the amount of plant viral infection increased in potato plants with each subsequent generation when potato was planted in the same field and the harvest of the preceding year was used as planting material. The epidemiological significance of the spread of plant viruses via tubers is determined by the fact that even a low initial amount of infection in seeds can increase through the multiplication of plant viruses in tubers and seeds with the successive transfer of those viruses to other plant parts. The transmission of plant viruses via potato tubers is important for the environment as well because it allows viruses to survive in the time between growing seasons [21]. According to our data, viral infection accumulated in potato tubers with each growing season – the average degree of the damage caused to the studied potato varieties was 1.1 in 2020 and 3.6 in 2022. Over the three years of our research, the influence of infected plant material on the manifestation of plant viral infection was the highest in potato varieties Belmonda, Sante, Dachnyi, Yantar', Avgustin, Yubilyar, Kazachok, Red Lady, Labella, and Queen Anne. The degree of damage increased with every growing season. The progression of plant viral infection decreased slightly on varieties Laperla, Smak, and Lilli in the second year of the research compared to 2020 and then increased drastically in 2022. Variety Belmonda displayed very few visual symptoms of plant viral infection in 2020; however, the performed PCR discovered latent viral infection in the tubers and other plant parts of this variety.

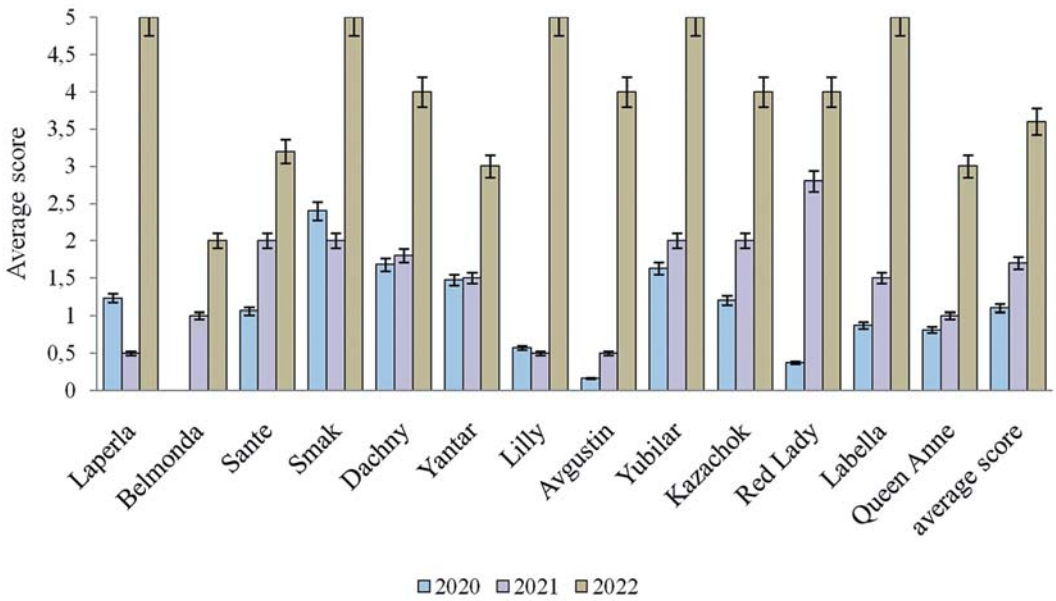


Fig.1. Progression of plant viral infection on the studied potato varieties (on a point scale) [22]
Рис.1 Повреждение сортов картофеля фитовирусной инфекцией (оценка в баллах) [22]

The same results were obtained for varieties Avgustin and Red Lady. Thus, the plant viral infection accumulated in tubers and led to an increase in the number of plants with visual symptoms in every subsequent growing season [22] (Figure 1). Our data are in agreement with the findings of Lapshinov N.A. (2010), whose field experiments demonstrated that viral infection accumulated in subsequent plant generations in most cases. For example, the degree of the damage caused by PVY, PVX, and PVM to potato plants in his research increased by 0.4-3.8% compared to the preceding year [23].

The manifestation of viral infection on potato leaves depends on the resistance of a particular variety. Susceptible varieties develop localized and systemic symptoms due to the multiplication and spread of viruses inside plants. Tolerant genotypes show very weak or no visual symptoms. The result of an interaction between a plant virus and a plant depends on the potato genotype, the environment, and the strain of the virus. Potato varieties have different genetic bases, which produce different responses to viral infection [24].

It is well known that viruses are transmitted from diseased plants to healthy ones mainly by insect vectors [23, 21]. Infected plants are able to affect the behavior of insect vectors and make pests to feed on their diseased tissues more actively. The behavior of viral vectors and their choice of fodder plants depend both on the visual and attraction signals of plants [21]. According to our data, the potato ladybird beetle is the main vector of potato viruses in Primorsky kray [25]. It should be noted that that potato ladybird beetles did not choose potato plants of variety Belmonda for feeding in the first year of our experiment. The lesions caused by the pest were rarely found on plant tissues and the symptoms of plant viral infection were observed only around the bites. The degree of the damage was 4.5 points on varieties Smak, Yubilyar, and Yantar', and 3.2 points on variety Laperla. These varieties had the most advanced progression of viral infection as well (Figure 2).

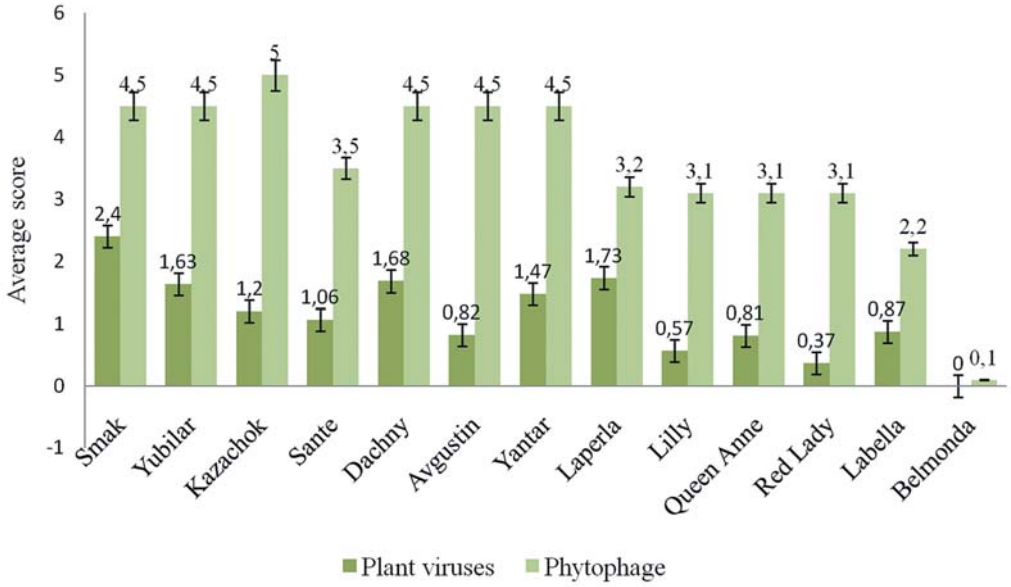


Fig. 2. Manifestation of plant viral infection on the studied potato varieties and the degree of insect damage (2020)
Рис. 2 Проявление симптомов вирусной инфекции и балл повреждения насекомыми на сортах картофеля (2020 год)

Plant viral infection accumulated in potato tubers over the second and third year of the experiment (2021 and 2022). As a result, the number of plants with visual symptoms of viral infection increased and the immunity of plants reduced. Thus, the inhibition of the immune response of potato plants to the damage caused by the potato ladybird beetle was observed. Even those potato varieties that initially had not been preferred by the pest became more attractive for the phytophagous insect in successive years. For example, variety Belmonda did not display any symptoms of plant viral infection in 2020 and was not preferred by the pest in 2021. However, the potato ladybird beetle was observed to actively feed on variety Belmonda after the progression of mixed viral infection reached two points during the growing season of 2022. The potato ladybird beetle did not feed on varieties Svitanok Kievskii, Nakra, Dal'nevostochnyi, and Severnyi in 2022 and these varieties were found to have only latent viral infection. The control variety Arktika had a damage degree of three points (Figure 3). In 2023, there were visual symptoms of mixed viral infection on plants and their immunity to phytophagous insects, particularly to the potato ladybird beetle, reduced. The progression of plant viral infection on variety Svitanok Kievskii reached four points and the degree of the damage caused by the potato ladybird beetle was 1.2 points. Viral infection progressed to about two point in varieties Nakra and Severnyi and the damage degree was about one point. Variety Dal'nevostochnyi was the least susceptible to plant viral infection and the degree of the damage caused by the phytophagous insect was minimum as well (Figure 3).

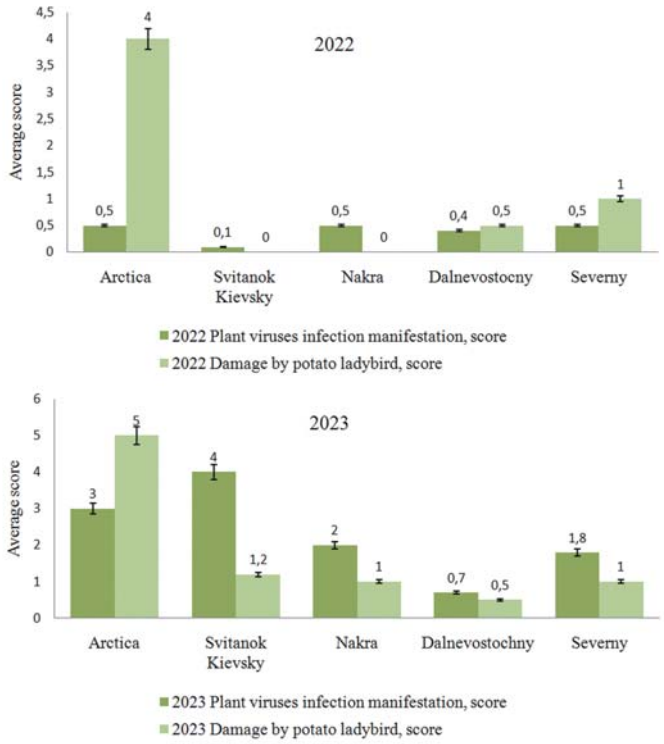


Fig. 3. Progression of plant viral infection and the degree of the damage caused by phytophagous insects in 2022 and 2023
Рис. 3. Повреждения сортов картофеля фитовирусной инфекцией и фитофагами в 2022 и 2023 годах

To verify the correlation between a decrease in the immune response of potato plants to the damage caused by leaf eating insects and an increase in the amount of the plant viral infection accumulated in those plants, we performed a correlation analysis according to Pearson. The Pearson correlation coefficient was 0.6873 demonstrating a high positive correlation, which revealed a tendency for the degree of the damage caused by phytophagous insects to increase depending on the amount of viral infection in potato plants. This was confirmed by a high coefficient of determination (0.4724). This might be connected to the activation of specific protective mechanisms, which in their turn affect the concentration of a virus in the organs of a host plant [26]. Viral infection significantly changes the metabolism of plants and reduces their photosynthetic activity suppressing the carbohydrate metabolism and other metabolic processes. Chloroplasts degrade, change, or are aggregated due to viral infection; this leads to the destruction of chlorophyll or its non-involvement in the synthesis. The degree to which photosynthesis is suppressed depends largely on the disease progression and the characteristics of a virus strain and a host plant as well as the environmental conditions [27]. When a plant is infected, a coordinated interaction of regulatory signal pathways can be observed. This results in the expression of resistance genes and the strengthening of plant protection against pathogens. Studying the mechanisms of antiviral protection in plants has shown that when an infection is present these mechanisms activate the genes that produce PR proteins, which are the proteins related to pathogenesis. The accumulation rate of PR proteins depends on the character and degree of the damage caused to plants. Some PR-proteins such as proteinases and β-1.3-glucanases facilitate the infection of plants by viruses. Other PR-proteins such as the inhibitors of proteinases, ribonucleases, and peroxidases, effectively protect plants against viruses [28]. The properties of viruses, their response to the presence of resistance genes in plants, and the interactions among vectors as well as the combination of the abovementioned factors in the epidemiological structure form the conception of plant viral infection management [26].

Thus, our research discovered a decrease in the immune response of potato to leaf-eating insects due to the accumulation of plant viral infection without the renewal of planting material. The planting material was not renewed in our experiment and the concentration of plant viruses rose in an agroecosystem increasing the amount of additional plant viral infection and facilitating the secondary infection of potato plants. The plant viral infection inhibited the immune response of potato plants to the damage caused by leaf-eating insects. As a consequence, the varieties that had not been susceptible to pests became less resistant to phytophagous insects. All these factors might be counted among the causes of the development of epiphytotic situations.

• References

1. Vilkova N.A., Nefedova L.I., Frolov A.N. Immunity of seed plants and its phytosanitary value in agroecosystems. *Plant protection and quarantine. 0*15;(8):3-9. https://www.elibrary.ru/uarjwv (In Russ.)

2. Vilkova N.A., Nefedova L.I. Structure of seed plants immunogenotypic system and its functions in agroecosystems. *Subtropical and ornamental horticulture.* 2012;(46):192-199. (In Russ.) https://www.elibrary.ru/phyesv

3. Gribust I.R., Belitskaya M.N. Diversity of insect populations to the gradient of the forest-agrarian landscape. *Environment and Human: Ecological Studies.* 2020;10(3):265-289. (In Russ.) https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-3-265-289 https://www.elibrary.ru/qfiths

4. Ivantsova E.A., Vostrikova Yu.V. Characterizing the formation of entomofauna in agroforest landscapes. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education.* 2015;1(37):34-37. (In Russ.) https://www.elibrary.ru/tomqpx

5. Pavlyushin V.A., Vilkova N.A., Sukhoruchenko G.I., Nefedova L.I. Formation of agroecosystems and pest communities. *Plant protection news.* 2016;2(28):5-15. (In Russ.)

6. Markelova T.S., Chekmareva L.I., Baukenova E.A. Role insect vectors play in the transmission and development of the Russian winter wheat mosaic virus. *Plant protection and quarantine.* 2012;(8):42-44. (In Russ.) https://elibrary.ru/palewh

7. Ermak M.V., Matsishina N.V. The potato ladybird beetle *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motsch.): classification, morphology and harmfulness (review). *Vegetable crops of Russia.* 2022;(6):97-103. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-97-103 https://elibrary.ru/rvrljd

8. Zamalieva F.F. Control of virus diseases of potato. *Plant protection and quarantine.* 2013;(3):17-21. (In Russ.) https://elibrary.ru/pvqmmn

9. Mal'ko A.M., Zhivyh A.V., Nikitin M.M., Frantsuzov P.A., Statsyuk N.V., Dzhavakhiya V.G., Golikov A.G. Monitoring of potato viral diseases in different regions of russia using real-time pcr matrix-based technology. *Potato and vegetables.* 2017;(12):26-29. (In Russ.) https://elibrary.ru/zwqdwl

10. Eigenbrode S.D., Ding H., Shiel P., Berger P.H. Volatiles from potato plants infected with potato leafroll virus attract and arrest the virus vector, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Proc. R. Soc. London. Ser. B Biol. Sci.* 2002;(269):455-460.

11. Rajabaskar D., Ding H., Wu Y., Eigenbrode S.D. Different reactions of potato varieties to infection by potato leafroll virus, and associated responses by its vector, *Myzus persicae (Sulzer). J. Chem. Ecol.* 2013;(39):1027-1035.

12. Rajabaskar D., Bosque-Pérez N.A., Eigenbrode S.D. Preference by a virus vector for infected plants is reversed after virus acquisition. *Virus Res.* 2014;(186):32-37. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2013.11.005

13. Lacroix C., Jolles A., Seabloom E.W., Power A.G., Mitchell C.E., Borer E.T. Non-random biodiversity loss underlies predictable increases in viral disease prevalence. *J. R. Soc. Interface.* 2014;(11):20130947. https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0947

14. Zadina N., Bukasov S. Mezhdunarodnyi klassifikator SEHV vidov kartofelya sektsii *Tuberarium* (Dun.) Buk. roda *Solanum* L. [The International COMECON List of Descriptors for *Tuberarium* (Dun.) Buk. species of the genus *Solanum* L.]. Leningrad: VIR, 1984. 41p. (In Russ.)

15. Vilkova N.A., Asyakin B.P., Nefedova L.I., Vereshchagina A.B., Ivanova O.V., Razdoburdin V.A., Fasulati S.R., Yusupov T.M. Methods for evaluating agricultural crops for group resistance to pests. Saint Petersburg, 2003. 112 p. (In Russ.)

16. Ryazantsev D.Yu., Zavriev S.K. An efficient diagnostic method for the identification of potato viral pathogens. *Molekulyarnaya biologiya.* 2009;43(3):558-567. (In Russ.) https://elibrary.ru/kfpeov

17. Ryabushkina N.A., Omasheva M.E., Galiakparov N.N. Specifics of DNA extraction from plant objects. *Biotekhnologiya. Teoriya i praktika = Eurasian Journal of Applied Biotechnology.* 2012;(2):9-26. (In Russ.) https://elibrary.ru/vkufwv

18. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica.* 2001;4(1):article 4.

19. Murtagh F., Legendre P. Ward's hierarchical clustering method: Clustering criterion and agglomerative algorithm. *Journal of Classification.* 2014;31(3):274-295. https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z

20. Sobko O.A., Fisenko P.V., Kim I.V., Matsishina N.V. Potato viruses of 7 commercial cultivars grown in field Primorsky Krai of Russia. *Vegetable crops of Russia.* 2022;(1):79-85. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-79-85 https://elibrary.ru/dinlhg

21. Jeger M.J. The Epidemiology of Plant Virus Disease: Towards a New Synthesis. *Plants.* 2020;9(12):1768. https://doi.org/10.3390/plants9121768

22. Sobko O.A., Fisenko P.V., Kim I.V. Plant viruses in the system of seed potato production. *Vegetable crops of Russia.* 2024;(1):74-80. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-1-74-80 https://elibrary.ru/jvmbfa

23. Lapshinov N.A. Influence of virus infection on the productivity of potatoes under the conditions of the northern wooded plain of West Siberia. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex.* 2010;(09):27-29. (In Russ.) https://elibrary.ru/mvusmv

24. Baebler Š., Coll A., Gruden K. Plant Molecular Responses to Potato Virus Y: A Continuum of Outcomes from Sensitivity and Tolerance to Resistance. *Viruses.* 2020;12(217):1-17. https://doi.org/10.3390/v12020217

25. Sobko O.A., Matsishina N.V. Role of *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky, 1858 (Coleoptera: Coccinellidae) in the transmission of potato viruses. *Amurian Zoological Journal.* 2023;15(4):772-780. (In Russ.) https://doi.org/10.33910/2686-9519-2023-15-4-772-780 https://elibrary.ru/drrfpa

26. Jones R.A.C. Global Plant Virus Disease Pandemics and Epidemics. *Plants (Basel).* 2021;10(2):233. https://doi.org/10.3390/plants10020233

27. Chen S., Li W., Huang X., Chen B., Zhang T., Zhou G.. Symptoms and yield loss caused by rice stripe mosaic virus. *Virology Journal.* 2019;16(1):145. https://doi.org/10.1186/s12985-019-1240-7

28. Anikina I., Kamarova A., Issayeva K., Issakhanova S., Mustafayeva N., Insebayeva M., Mukhamedzhanova A., Khan S.M., Ahmad Z., Lho L.H., Han H., Raposo A. Plant protection from virus: a review of different approaches. *Frontiers in Plant Science.* 2023;14:1163270. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1163270

• Литература

1. Вилкова Н.А., Нефедова Л.И., Фролов А.Н. Иммунитет семенных растений и его фитосанитарное значение в агроэкосистемах. *Защита и карантин растений.* 2015;(8):3-9. https://www.elibrary.ru/uarjwv

2. Вилкова Н.А., Нефедова Л.И. Структура иммуногенетической системы семенных растений и ее функции в агроэкосистемах. *Субтропическое и декоративное садоводство.* 2012;(46):192-199. https://www.elibrary.ru/phyesv

3. Грибуст И.Р., Белицкая М.Н. Разнообразие населения насекомых в градиенте лесоаграрного ландшафта. *Социально-экологические технологии.* 2020;10(3):265-289. https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-3-265-289 https://www.elibrary.ru/qfiths

4. Иванцова Е.А., Вострикова Ю.В. Особенности формирования энтомофауны в лесоаграрных ландшафтах. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.* 2015;1(37):34-37. https://www.elibrary.ru/tomqpx

5. Павлюшин В.А., Вилкова Н.А., Сухорученко Г.И., Нефедова Л.И. Формиррование агроэкосистем и становление сообществ вредных видов биотрофов. *Вестник защиты растений.* 2016;2(28):5-15.

6. Маркелова Т.С., Чекмарева Л.И., Баукенова Э.А. Роль насекомых-переносчиков в распространении и развитии вируса русской мозаики озимой пшеницы. *Защита и карантин растений.* 2012;(8):42-44. https://elibrary.ru/palewh

7. Ермак М.В., Мацишина Н.В. Картофельная коровка *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motsch.): систематика, морфология и её вредоносность (литературный обзор). *Овощи России.* 2022;(6):97-103. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-97-103 https://elibrary.ru/rvrljd

8. Замалиева Ф.Ф. Борьба с вирусными болезнями картофеля. *Защита и карантин растений.* 2013;(3):17-21. https://elibrary.ru/pvqmmn

9. Малько А.М., Живых А.В., Никитин М.М., Французов П.А., Стацюк Н.В.,. Джавахия В.Г, Голиков А.Г. Мониторинг вирусных инфекций картофеля с использованием матричной ПЦР-диагностики. *Картофель и овощи.* 2017;(12):26-29. https://elibrary.ru/zwqdwl

10. Eigenbrode S.D., Ding H., Shiel P., Berger P.H. Volatiles from potato plants infected with potato leafroll virus attract and arrest the virus vector, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Proc. R. Soc. London. Ser. B Biol. Sci.* 2002;(269):455-460.

11. Rajabaskar D., Ding H., Wu Y., Eigenbrode S.D. Different reactions of potato varieties to infection by potato leafroll virus, and associated responses by its vector, Myzus persicae (Sulzer). J. Chem. Ecol. 2013;(39):1027-1035.

12. Rajabaskar D., Bosque-Pérez N.A., Eigenbrode S.D. Preference by a virus vector for infected plants is reversed after virus acquisition. *Virus Res.* 2014;(186):32-37. https://doi.org/10.1016/j.virusres.2013.11.005

13. Lacroix C., Jolles A., Seabloom E.W., Power A.G., Mitchell C.E., Borer E.T. Non-random biodiversity loss underlies predictable increases in viral disease prevalence. *J. R. Soc. Interface.* 2014;(11):20130947. https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0947

14. Задина Н., Букасов С. Международный классификатор СЭВ видов картофеля секции *Tuberarium* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L. Л.: ВИР, 1984. 41с.

15. Вилкова Н.А., Асякин Б.П., Нефедова Л.И., Верещагина А.Б., Иванова О.В., Раздобурдин В.А., Фасулати С.Р., Юсупов Т.М. Методы оценки сельскохозяйственных культур на групповую устойчивость к вредителям. ВИЗР: СПб, 2003. 112 с.

16. Рязанцев Д.Ю., Завриев С.К. Эффективный метод диагностики и идентификации вирусных патогенов картофеля. *Молекулярная биология.* 2009;43(3):558-567. https://elibrary.ru/kfpeov

17. Рябушкина Н.А., Омашева М.Е., Галиакпаров Н.Н. Специфика выделения ДНК из растительных объектов. *Биотехнология. Теория и практика.* 2012;(2):9-26. https://elibrary.ru/vkufwv

18. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica.* 2001;4(1):article 4.

19. Murtagh F., Legendre P. Ward's hierarchical clustering method: Clustering criterion and agglomerative algorithm. *Journal of Classification.* 2014;31(3):274-295. https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z

20. Sobko O.A., Fisenko P.V., Kim I.V., Matsishina N.V. Potato viruses of 7 commercial cultivars grown in field Primorsky Krai of Russia. *Vegetable crops of Russia.* 2022;(1):79-85. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-79-85 https://elibrary.ru/dinlhg

21. Jeger M.J. The Epidemiology of Plant Virus Disease: Towards a New Synthesis. *Plants.* 2020;9(12):1768. https://doi.org/10.3390/plants9121768

22. Sobko O.A., Fisenko P.V., Kim I.V. Plant viruses in the system of seed potato production. *Vegetable crops of Russia.* 2024;(1):74-80. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-1-74-80 https://elibrary.ru/jvmbfa

23. Лапшинов Н.А. Влияние вирусной инфекции на урожайность картофеля в условиях северной лесостепи Западной Сибири. *Достижения науки и техники АПК.* 2010;(09):27-29. https://elibrary.ru/mvusmv

24. Baebler Š., Coll A., Gruden K. Plant Molecular Responses to Potato Virus Y: A Continuum of Outcomes from Sensitivity and Tolerance to Resistance. *Viruses.* 2020;12(217):1-17. https://doi.org/10.3390/v12020217

25. Собко О.А., Мацишина Н.В. Роль *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky, 1858 (Coleoptera:Coccinellidae) в переносе фитовирусов картофеля. *Амурский зоологический журнал.* 2023;15(4):772-780. https://doi.org/10.33910/2686-9519-2023-15-4-772-780 https://elibrary.ru/drrfpa

26. Jones R.A.C. Global Plant Virus Disease Pandemics and Epidemics. *Plants (Basel).* 2021;10(2):233. https://doi.org/10.3390/plants10020233

27. Chen S., Li W., Huang X., Chen B., Zhang T., Zhou G.. Symptoms and yield loss caused by rice stripe mosaic virus. *Virology Journal.* 2019;16(1):145. https://doi.org/10.1186/s12985-019-1240-7

28. Anikina I., Kamarova A., Issayeva K., Issakhanova S., Mustafayeva N., Insebayeva M., Mukhamedzhanova A., Khan S.M., Ahmad Z., Lho L.H., Han H., Raposo A. Plant protection from virus: a review of different approaches. *Frontiers in Plant Science.* 2023;14:1163270. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1163270

Об авторах:

Ольга Абдулалиевна Собко – аспирант, научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, https://orcid.org/0000-0002-4383-3390, Scopus Author ID: 57218617568. SPIN-код: 8082-5318, автор для переписки, o.eyvazova@gmail.com

Марина Владимировна Ермак – младший научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, https://orcid.org/0000-0002-3727-8634, Scopus Author ID: 57488489200, SPIN-код: 1508-8155, ermackmarine@yandex.ru

About the Authors:

Ol'ga A. Sobko – researcher, laboratory of Breeding and Genetic Research on Field Crops, https://orcid.org/0000-0002-4383-3390, Scopus Author ID: 57218617568, SPIN-code: 8082-5318, Correspondence Author, o.eyvazova@gmail.com

Marina V. Ermak – Junior Researcher, Laboratory of Breeding and Genetic Research on Field Crops, https://orcid.org/0000-0002-3727-8634, SPIN-code: 1508-8155, Scopus Author ID: 57488489200, ermackmarine@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-83-89
УДК: 635.21:632.952:631.559

А.Ю. Уколова*,
М.А. Кузнецова

Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050, Россия, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, владение 5

Автор для переписки: anukolova@mail.ru

Вклад авторов: Кузнецова М.А.: концептуализация, научное руководство исследованием, выполнение исследования, анализ результатов, написание-рецензирование и редактирование рукописи. Уколова А.Ю.: выполнение исследования, анализ результатов, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Уколова А.Ю., Кузнецова М.А. Совместное применение биостимуляторов с биологическими и химическими фунгицидами для контроля фитофтороза и альтернариоза на картофеле. *Овощи России.* 2025;(3):83-89. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-83-89

Поступила в редакцию: 10.03.2025
Принята к печати: 28.03.2025
Опубликована: 07.07.2025

Совместное применение биостимуляторов с биологическими и химическими фунгицидами для контроля фитофтороза и альтернариоза на картофеле

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Ежегодно Европейскими странами пересматривается список разрешенных к применению пестицидов и вводится запрет на использование многих из них. Вместе с тем повышение интенсификации сельского хозяйства приводит к загрязнению почвы остатками пестицидов, что несет вред как окружающей среде, так и здоровью человека. В этой связи растет актуальность применения биопрепаратов и биостимуляторов в рамках комплексной борьбы с болезнями и вредителями для обеспечения экологической безопасности.

Методология. В 2023 году был заложен полевой опыт для оценки эффективности совместного применения фунгицида Манфил (манкоцеб 800 г/кг) и биофунгицида Агат-25К (метаболиты штамма *Pseudomonas aureofaciens*) с биостимулятором ЭкселГроу (экстракт водорослей *Ascophyllum nodosum*) в борьбе с фитофторозом и альтернариозом на восприимчивом к фитофторозу сорте картофеля Аризона и восприимчивом к альтернариозу сорте картофеля Алуэтт.

Результаты. В вариантах совместного применения фунгицидов с биостимулятором ЭкселГроу, отмечалось достоверное снижение интегрального показателя развития болезни, достоверное снижения развития заболеваний по сравнению с вариантами применения только фунгицидов соло, о чем свидетельствуют данные биологической эффективности. В опыте было впервые показано, что применение биостимулятора ЭкселГроу с препаратами Манфил и Агат-25К повышает их биологическую эффективность на устойчивых к фитофторозу и восприимчивых к альтернариозу сортах до 12%, дополнительно повышает урожайность на 1,5-3,5% и демонстрирует рост товарности клубней на 1-3%, что свидетельствует о том, ЭкселГроу повышает иммунный статус растений, предотвращая их заражение альтернариозом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
картофель, фитофтороз, альтернариоз, биопрепараты, биостимуляторы, фунгициды, водоросли

Anastasia Yu. Ukolova*,
Maria A. Kuznetsova

All-Russian Research Institute of Phytopathology
5, Institute street, Bolshie Vyazemy, Odintsovo district, Moscow region, Russia

Correspondence Author: anukolova@mail.ru

Authors' Contribution: Kuznetsova M.A. was responsible for conceptualization, scientific supervision of the study, implementation of the study, analysis of the results, writing, reviewing and editing the manuscript. Ukolova A.Yu. carried out implementation of the study, analysis of the results, writing, reviewing and editing the manuscript.

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

For citation: Ukolova A.Yu., Kuznetsova M.A. Use of biological and chemical fungicides and biostimulators for potato protection against early and late blights. Vegetable crops of Russia. 2025;(3):83-89. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-83-89

Received: 10.03.2025
Accepted for publication: 28.03.2025
Published: 07.07.2025

Use of biological and chemical fungicides and biostimulators for potato protection against early and late blights

ABSTRACT

Relevance. Every year, European countries review the list of approved pesticides and ban many of them. At the same time, increased agricultural intensification leads to soil contamination with pesticide residues, which is harmful to environment and human health. In this regard, using of biological solutions and biostimulants in the framework of comprehensive disease and pest control to ensure environmental safety is growing.

Methodology. In 2023, field experience was established to evaluate the effectiveness of combined use of fungicide Manfil (mankozeb 800 g/kg) and biofungicide Agat-25K (metabolites of the Pseudomonas aureofaciens strain) with the biostimulator ExcelGrow (Ascophyllum nodosum algae extract) in the control of *Phytophthora* and *Alternaria* on susceptible to late blight potato cultivar Arizona and susceptible to early blight potato cultivar Aluett.

Results. In the variants of combined use of fungicides with the ExcelGrow biostimulator, there was a significant decrease in the integral indicator of disease development, a significant decrease in the development of diseases compared with the variants of using only fungicides solo, as evidenced by the data of biological efficacy. In the experiment, it was shown for the first time that the use of the ExcelGrow biostimulator with Manfil and Agat-25K preparations increases their biological effectiveness on late blight resistant and susceptible to early blight varieties by up to 12%, additionally increases yields by 1.5-3.5% and demonstrates an increase in the marketability of tubers by 1-3%, which indicates that ExcelGrow increases the immune status plants, preventing their infection with *Alternaria*.

KEYWORDS:
potatoes, Late Blight, *Alternaria*, biopreparations, biostimulants, fungicides, algae

Введение

Картофель занимает третье место среди продовольственных культур в мире, поэтому его потенциал играет такую важную роль в продовольственной безопасности многих стран [1]. Однако, большое количество фитопатогенов способны существенно повлиять на продуктивность и урожайность этой культуры. Наиболее важными болезнями картофеля, на которые приходится подавляющее большинство затрат и усилий по борьбе с ними в зонах умеренного климата, являются фитофтороз и альтернариоз. Заболевания поражают как надземную часть растений, снижая активность фотосинтеза, так и оказывают негативное влияние на качество и лежкость клубней. Альтернариоз картофеля, вызываемый *Alternaria solani Sorauer*, способен снизить урожайность до 30 % [2]. Затраты на борьбу с фитофторозом картофеля , вызываемого оомицетом *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, порой способны достигать 3–10 миллиардов долларов в год, включая прямые потери урожая и затраты на борьбу с болезнями [3]. В последние годы фитофтороз стал проявляться необычайно рано – уже на фазе появления всходов в некоторых регионах России, с последующим бурным развитием в период вегетации. Фитофтороз стал более устойчивым и поэтому привычные ранее меры борьбы с ним сегодня теряют свою актуальность и эффективность - нужны новые решения.

Сегодня рынок средств защиты растений представлен широким ассортиментом химических препаратов, однако, расы возбудителей заболеваний стали более агрессивными и устойчивыми к химическим обработкам, из-за чего сельхозпроизводителям приходится проводить большее количество обработок в сезон, сокращая интервалы между ними, либо увеличивать дозировки фунгицидов. Также аграрии борются с данной проблемой, выстраивая систему защиты картофеля таким образом, чтобы в ней чередовались фунгицидные препараты разного механизма действия. Но, к сожалению, повышение интенсификации приводит к загрязнению почвы остатками пестицидов, растет вред как для окружающей среды, так и для здоровья человека. Ежегодно Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов пересматривает допустимые максимальные остаточные количества для пестицидов в почве и готовой продукции в сторону снижения из-за проблем со здоровьем, возникающих в результате оценки риска пестицидов [4,5] и жалоб со стороны потребителей сельскохозяйственной продукции, которые считают пестициды угрозой для своего здоровья. В ближайшее десятилетие ожидается серьезный пересмотр списка разрешенных к применению пестицидов и запрет на использование многих из них в странах Европы [6]. В связи с этим растет актуальность применения биопрепаратов и биостимуляторов в рамках комплексной борьбы с вредителями для обеспечения экологической безопасности. Однако, эффективность биологических средств чаще всего ниже в борьбе с фитофторозом, чем химических средств защиты. Такая тенденция определила направление исследований по изучению сравнительной эффективности применения фунгицидных препаратов совместно с биопрепаратами.

Материалы и методы:

Опыт проводился на двух сортах картофеля, отличающихся по устойчивости к фитофторозу и альтернариозу: сорт Аризона (восприимчив к фитофторозу, умеренно восприимчив к альтернариозу) и Алуэтт (устойчив к фитофторозу, восприимчив к альтернариозу).

Химические и биологические средства, применяемые в опыте: контактный фунгицид Манфил 80 СП (д.в. манкоцеб, 800 г/кг) от производителя Indofil Industries Ltd (Индия) для защиты картофеля от фитофтороза и альтернариоза, а также биопрепарат Агат 25К на основе метаболитов штамма *Pseudomonas aureofaciens* H16 (ВКМ В-2433 Д) для защиты картофеля от фитофтороза и альтернариоза.(ООО «Эдна», Москва, Россия). В состав препарата также входит комплекс стимуляторов роста, таких как индол-3-уксусная кислота (ИУК), α-аланин, α-глутаминовая кислота, а также сбалансированная смесь микро- и макроэлементов, автолизат проростков сои, экстракт хвои, и хлорофилл-каротиновая паста хвои. В качестве биостимулятора растений для активации собственного иммунитета растений использовали препарат ЭкселГроу (от компании «Адама», Израиль) на основе экстракта водоросли *Ascophyllum nodosum*.Всего было проведено 6 защитных обработок с интервалом 7-10 дней , первая обработка состоялась 29 июня 2023 г – в фазу формирования почек, далее проводились еще две – с интервалом 7 дней.

Опыт заложен в 2023 году на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (ВНИИФ, Московская область, Россия). Почва опытного участка -дерново-подзолистая, среднесуглинистая, pH=5,35 с содержанием гумуса 4,3%. Содержание биогенных элементов: P_2O_5 = 1062 мг/100 г почвы); K_2O = 503 мг/100 г почвы); Mg = 2,17 мг/100 г почвы); CaO = 10,1 мг/100 г почвы. Обработка почвы соответствовала общепринятой в практике выращивания картофеля и включала: зяблевую вспашку, дискование, глубокую обработку почвы, предпосадочное формирование борозд и окучивание. Осенью в почву вносили органическое удобрение в виде перепревшего куриного органического компоста в количестве 70 т/га, а перед посадкой картофеля вносили неорганическое удобрение NPK (нитроаммофоску) 16/16/16 в норме 60 кг/га. Расчет количества вносимых удобрений осуществлялся на основе данных о содержании элементов питания в почве опытного поля ВНИИФ, полученных в агрохимической лаборатории, а также на основе информации о планируемом и фактическом урожае за последние несколько лет. Расчёт доз удобрений проводился балансовым методом, разработанным Шатиловым И.С. (1987 г.) [7] и Каюмовым М.К. (1989 г.) [8] В конце мая и июне проводились фоновые обработки против сорной растительности препаратом Зенкор (д.в. метрибузин) в норме расхода 0,6 л/га и препаратом Боксер (д.в. просульфокарб) в норме расхода 2 л/га. Также была проведена одна инсектицидная обработка поля препаратом Актара (д.в. тиаметоксам) в норме расхода 0,06 кг/га.

Посадка картофеля проведена 5 мая, уборка урожая – 20 августа вручную. Опытные делянки площадью по 42 $м^2$ были размещены рандомизированно. Схема опыта состояла из 5 различных вариантов защиты, каждый вариант был сделан в 4 повторностях (табл. 1). Нормы применения препаратов, используемые для обработок: Манфил 1,6 л/га; Агат-25 140 г/га; ЭкселГроу 1 л/га.

Для оценки динамики развития фитофтороза и альтернариоза проводились регулярные полевые обследования, начиная с 29 июня по 15 августа. Оценку динамики развития заболевания проводили по шкале Британского микологического общества [9]; на основании полученных данных по методу математических моделей [10] рассчитывали площадь под кривой - показатель AUDPC [11]. Урожайность

Таблица 1. Схема проведения защитных обработок
Table 1. Scheme of protective treatments

Вариант	1	2	3	4	5 (Контроль)
1-ая обработка (29.06.2023)	Манфил	Манфил	Агат-25	Агат-25	–
2-ая обработка (05.07.2023)	Манфил	Манфил + ЭкселГроу	Агат-25	Агат-25+ ЭкселГроу	–
3-я обработка (12.07.2023)	Манфил	Манфил + ЭкселГроу	Агат-25	Агат-25+ ЭкселГроу	–
4-ая обработка (20.07.2023)	Манфил	Манфил + ЭкселГроу	Агат-25	Агат-25+ ЭкселГроу	–
5-ая обработка (27.07.2023)	Манфил	Манфил	Агат-25	Агат-25	–
6-ая обработка (07.08.2023)	Манфил	Манфил	Агат-25	Агат-25	–

Погодные условия сезона 2023 отражены в табл. 2.

Таблица 2. Метеорологические данные периода вегетации 2023г. (по данным метеостанции ВНИИФ, Московская область)
Table 2. Meteorological data for the vegetation period of 2023. (according to the weather station of RRIP, Moscow region)

показатели	Месяц/декада														
	Апрель			Май			Июнь			Июль			Август		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Температура воздуха, °С														
Средне-многолетняя	3,2	5,2	8,1	11,2	12,2	13,9	15,3	16,4	17,4	17,7	18,5	18,4	17,9	16,4	15,0
Среднее	5,5			12,6			16,3			18,2			16,4		
Текущего года	7,9	9,2	11,4	6,7	13,9	14,3	13,8	17,5	17,0	19,7	16,1	17,8	22,5	20,2	14,9
Среднее	9,5			11,7			16,1			17,9			19,0		
	Относительная влажность воздуха, %														
Средне-многолетняя	72	70	67	65	67	68	69	72	72	74	74	74	74	77	78
Среднее	69			66			71			74			76		
Текущего года	75	52	44	54	57	73	65	51	72	67	76	77	68	79	81
	63			62			63			73			76		
	Осадки, мм														
Средне-многолетняя	10,8	12,7	11,7	13,6	18,6	21,7	22,6	22,1	24,6	26,0	27,2	23,4	19,6	24,6	23,7
Сумма	∑35,1			∑53,9			∑69,3			∑76,6			∑67,9		
Текущего года	17,3	3,7	1,0	11,7	2,7	31,8	18,2	0,1	59,3	18,0	49,8	49,8	0,3	27,7	26,7
Сумма	22,0			46,2			72,6			117,6			54,7		

культуры определяли сразу после ручной уборки делянок. Статистический анализ полученных данных проводился методом дисперсионного анализа ANOVA по Доспехову [12] с доверительным интервалом 95%. Все данные (кроме динамики развития фитофтороза) приведены с соответствующими значениями наименьшей существенной разности (НСР 0,95). Биологическую эффективность испытанных схем защиты оценивали по формуле Эбботта [13].

Результаты и обсуждение

Погодные условия сезона 2023 года (табл. 2) были благоприятными для развития фитофтороза и характеризовались резкими перепадами температуры и влажности в начале вегетационного периода, а также обильными осадками в июне и июле, все это способствовало раннему и активному развитию болезни.

Все это привело к ранним проявлениям фитофтороза на восприимчивом к нему сорте картофеля Аризона (первые проявления болезни были отмечены уже 29 июня в контроле). В первой декаде июля уровень заражения контрольных растений составил 20%, а к третьей декаде уже 85%, в первой декаде августа этот показатель достиг 100% (рис. 1). В

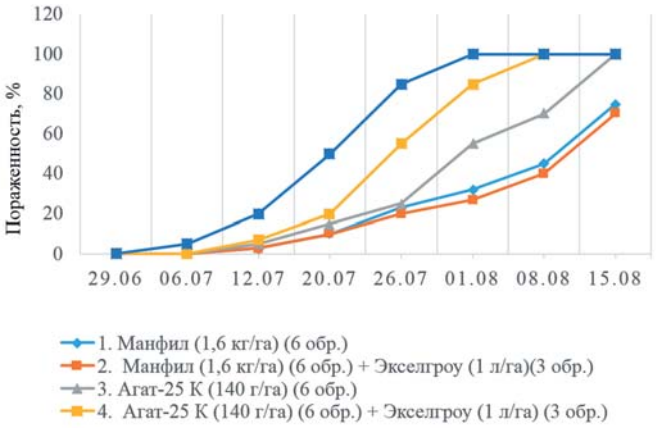


Рис. 1. Динамика развития фитофтороза на опытных делянках сорта Аризона
Fig. 1. Dynamics of Late Blight development on experimental plots of the Arizona variety

связи с этим динамика развития листовой пятнистости на сорте Аризона обеспечивалась только патогеном Phytophthora infestans.

В случае сорта Алуэтт, устойчивого к фитофторозу, но восприимчивого к альтернариозу, за весь период наблюдений не было зафиксировано заражения листьев фитофторой, в то время как наблюдалось активное развитие альтернарии. Первые проявления альтернариоза в контрольном варианте наблюдались 20 июля (рис.2). Таким образом, патоген Alternaria solani был единственным фактором, способствовавшим поражению листьев данного сорта пятнистостью.

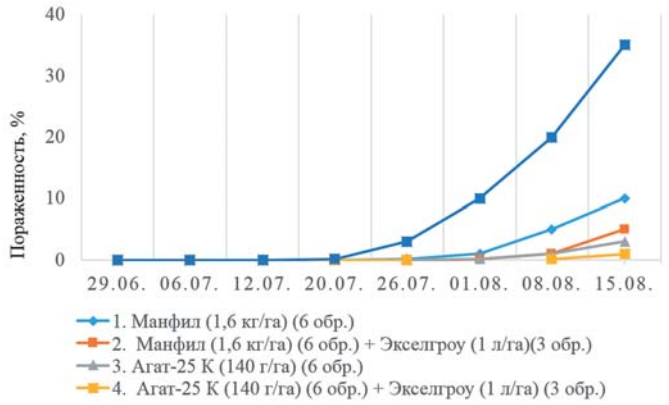


Рис. 2. Динамика развития альтернариоза на опытных делянках сорта Алуэтт
Fig. 2. Dynamics of Early Blight development on experimental plots of the Aluett variety

Анализ полученных результатов показал, что применение фунгицида Манфил (д.в. манкоцеб) не только задержало появление первых симптомов фитофтороза на восприимчивом сорте Аризона, но и сдержало его дальнейшее развитие. Использование смеси препаратов Манфил и ЭкселГроу не оказало существенного влияния на развитие болезни по сравнению с применением фунгицида Манфил соло. Эффективность биопрепарата Агат-25К уступала Манфилу. Более того, применение Агат-25К в смеси с биостимулятором ЭкселГроу было менее эффективным, чем применение Агат-25К соло. По расчетам AUDPC наивысшая биологическая эффективность для сорта Аризона была получена в вариантах применения Манфил соло и Манфил+ЭкселГроу (БЭ = 62% и БЭ = 66% соответственно), что можно увидеть из табл. 3.

Как отмечалось выше, устойчивый к фитофторозу и восприимчивый к альтернариозу сорт Алуэтт показал первые проявления альтернариоза в контрольном варианте уже 20 июля. Для варианта, защищенного Манфилом, первые проявления болезни были зафиксированы 1 августа, тогда как применение Агат-25К сдвинуло эту дату на 8 августа. Сочетание обоих препаратов с биостимулятором ЭкселГроу обеспечило значительную задержку проявления заболевания по сравнению с их применением без ЭкселГроу. Так, заболевание проявилось на 6 дней позднее в варианте Манфил + ЭкселГроу, чем в варианте сольного применения Манфила и на 7 дней позднее в варианте Агат-25К + ЭкселГроу по сравнению с вариантом сольного применения Агат-25К. Таким образом, Агат-25К обеспечил лучший уровень защиты картофеля от альтернариоза (96% биологической эффективности), а добавление к схемам защиты ЭкселГроу привело к дополнительному повышению их эффективности (с 83% до 95% для Манфила и с 95 до 99% для Агат-25К).

Данные по урожайности и товарности собранных клубней представлены на рис. 3. Для сорта Аризона, максимальная прибавка (по сравнению с контролем) была в вариантах Манфил и Манфил + ЭкселГроу (92,7 и 95,62% соответственно). Прирост товарности клубней составил 28 и 29% соответственно (рис. 3). Менее эффективной защита была в варианте применения Агат-25К, что также отразилось и на показателях урожайности и товарности. По сравнению с контролем прибавка урожайности в варианте Агат-25К составила 57,7%, в варианте Агат-25К + ЭкселГроу – 22,3% соответственно, товарная доля клубней увеличилась лишь на 13% для варианта Агат-25К в сольном применении и всего лишь на 3% для варианта Агат-25К + ЭкселГроу.

Таким образом, на восприимчивом к фитофторозу сорте Аризона данные биологической эффективности, урожайности и товарности клубней, полученные в варианте с применением фунгицида Манфил, демонстрируют его высокую защитную эффективность в условиях эпифитотийного раз-

Таблица 3. Значения AUDPC и биологической эффективности вариантов обработок против пятнистостей на различных по устойчивости сортах картофеля
Table 3. AUDPC values and biological efficacy data in treatments with different products on cultivars with different susceptibility to Early and Late blight

Вариант	Сорт Аризона		Сорт Алуэтт	
	AUDPC, ед.	БЭ, %	AUDPC, ед.	БЭ, %
Манфил	1015	62	62	83
Манфил + ЭкселГроу	912	66	19	95
Агат-25К	1625	39	15	96
Агат-25К + ЭкселГроу	2127	21	2	99
(Контроль)	2685	–	363	–
$НСР_{0.95}$*	130		8	

** НСР посчитана с помощью статистического метода ANOVA.*

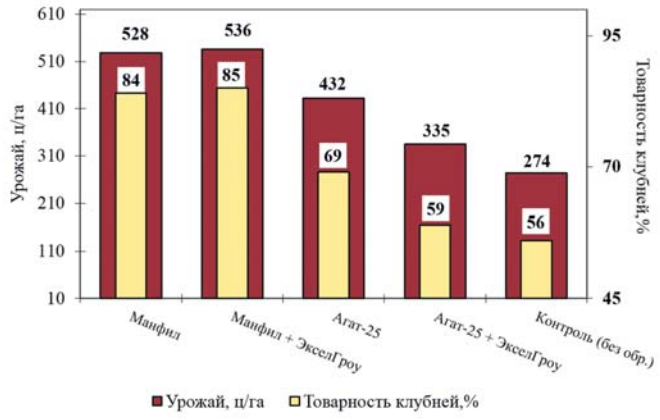


Рис. 3. Хозяйственная эффективность сравниваемых схем применения фунгицидов против фитофтороза картофеля; Урожайность (НСР0,95=30) и товарность (НСР0,95=3) клубней картофеля (сорт Аризона, ВНИИФ, 2023г.).
Fig. 3. Economic efficiency of compared fungicide application schemes against potato late blight; Yield (LSD0.95=30) and marketability (LSD0.95=3) of potato tubers (Arizona variety, RRIP, 2023).

вития болезни. Биопрепарат Агат-25К также сдерживал развитие фитофтороза, хотя и уступал химическому фунгициду по эффективности. Использование биостимулятора ЭкселГроу совместно с фунгицидом Манфил существенно не улучшило защитную эффективность фунгицида, но обеспечило прибавку урожайности (+0,8 т/га); в то же время добавление ЭкселГроу к биофунгициду Агат-25К ухудшало результаты по сравнению с вариантом сольного применения Агат-25К.

Применение фунгицида Манфил на сорте Алуэтт, резистентном к фитофторозу и восприимчивом к альтернариозу, привело к незначительному увеличению урожайности по сравнению с контролем (+ 1,4 т/га или + 2,5 %), в то же время применение Агат-25К обеспечило достоверную прибавку урожайности (+ 4,5 т/га или + 8,1 %). Сочетание Манфил + ЭкселГроу обеспечило прибавку урожайности + 5,0%, а сочетание Агат-25К + ЭкселГроу увеличило урожайность на 11,9% по сравнению с контролем. Процент товарной фракции клубней в контроле был 93%, прирост же этого показателя за счет применения различных схем защиты был не слишком большим (2–6%), но достоверным во всех случаях, за исключением однократной обработки Манфилом; достоверной разницы по этому показателю между вариантами Манфил + ЭкселГроу, Агат-25К и Агат-25К + ЭкселГроу не наблюдалось.

Прибавка урожайности (8,1–57%) в вариантах обработки препаратом Агат-25К, на изучаемых сортах картофеля соответствует данным более ранних исследований, в которых при применении Агат-25К на различных сортах картофеля средняя прибавка урожайности варьировала от 10-22% (Стацюк и др., 2015) [14]; (Семенчук, 2018) [15] до 20–30% (Шляхов, Григорян, 2017) [16]. Такое увеличение можно объяснить несколькими причинами. Первая причина – рострегулирующая активность этого биопрепарата, подтвержденная на ряде культур, таких как, например, соя [17], топинамбур, подсолнечник [18], картофель [19] и др. Обработка Агатом-25К стимулирует более активное развитие культуры, а значит может приводить к более раннему прохождению растениями стадий развития, являющихся уязвимыми в отношении поражения возбудителями инфекций и поражения вредителями, а также к более раннему прохождению периодов, характеризующихся повышенным риском заражения, все это снижает степень развития болезней на культуре и повышает ее урожайность [20]. Другая причина – способность Агат-25К стимулировать собственный иммунитет растений, повышая их устойчивость к ряду заболеваний, являющихся причиной снижения урожайности клубней. Наконец, определенный вклад в повышение урожайности внесло прямое противогрибковое действие Агат-25К. Этот эффект был подтвержден в ряде публикаций. Например, Марьяновский и ряд других авторов в своих исследованиях от 2015 года сообщили, что Агат-25К обеспечивает мощное подавление некоторых грибковых заболеваний посевов томата и перца, вызываемых такими патогенами, как: *Phytophthora infestans, P. capsici, Alternaria solani, Botrytis cinerea* и др. Предпосевная обработка ячменя и пшеницы этим биопрепаратом снижала развитие септориоза и поражений растений корневыми гнилями на 40 и 56–64% соответственно. Николаева и Лукина (2022) [21] сообщили, что обработка Агат-25К значительно снизила восприимчивость картофеля к заболеваниям (с 19 до 6–7%). Уромова и др. (2016) [22] отмечают, что обработка Агат-25К позволила снизить заболеваемость и скорость развития фитофтороза в 3 раза на двух сортах картофеля – Удача и Ред Скарлетт. В наших исследованиях выявленное снижение показателя AUDPC, обеспечиваемое данным биопрепаратом, варьировало от 40 до 96% пропорционально уровню устойчивости сорта. Имеющаяся противогрибковая активность Агат-25К должна обеспечивать больший вклад в формирование урожая и качества клубней у восприимчивых сортов, что подтвердили наши результаты (прибавка урожайности на 57% у чувствительного к фитофторозу сорта Аризона и прибавка урожайности на 8,1% у устойчивого к фитофторозу сорта Алуэтт).

Недавно в опытах было доказано, что биостимулятор ЭкселГроу обеспечивает увеличение урожайности (~7%) при его использовании отдельно для защиты картофеля от альтернариоза; в сочетании с некоторыми химическими фунгицидами (Миравис, Ревус Топ, Сигнум) ЭкселГроу улучшал урожайность картофеля примерно в такой же степени (7,7–8,1%) [23]. При этом в опыте впервые было показано, что сочетание биостимулятора ЭкселГроу с фунгицидами, имеющими эффективность в борьбе с альтернариозом, обеспечивает достоверное снижение заболеваемости картофеля альтернариозом (на 18% в варианте Миравис + ЭкселГроу, на 11% в варианте Ревус Топ + ЭкселГроу и на 12% в варианте Сигнум + ЭкселГроу) по сравнению с теми же фунгицидами, применяемыми без биостимулятора. Средняя прибавка урожайности от применения биостимулятора ЭкселГроу составила 20–22%. Эти результаты, а также результаты, полученные в настоящем исследовании, указывают на хорошие перспективы использования ЭкселГроу для повышения эффективности защиты биологическими и химическими фунгицидами от альтернариоза. В этих двух исследованиях мы впервые оценили влияние обработок биостимулятором ЭкселГроу в сочетании с фунгицидным препаратом на подавление болезней растений. Работы, проведенные ранее другими исследователями, также подтверждают полученные нами результаты, так, например, применение препарата на основе экстракта бурых водорослей A. nodosum, обеспечивало лучшую защиту огурца от патогена Phytopthora melonis. [24], применение препарата на основе экстракта водорослей в чередовании с фунгицидом на основе металаксила на томатах позволяло сформировать индуцированную системную устойчивость (ИСР) против *Phytophthora capsica* — грибно-

го заболевания томатов [25], а обработка моркови по вегетации биопрепаратами на основе экстракта водоросли *Ascophyllum nodosum* растений, позволила значительно снизить развитие альтернариоза и серой гнили [26].

Полученные результаты позволяют рекомендовать использовать Агат-25К в регионах, характеризующихся спорадическими эпифитотиями фитофтороза, а также на среднеустойчивых сортах. Также Агат-25К показал достаточно хорошую защитную эффективность в условиях активного развития альтернариоза и может быть рекомендован к использованию для борьбы с этим заболеванием на восприимчивых сортах. Применение биостимулятора ЭкселГроу повысило эффективность защиты как Манфила, так и Агат-25К против фитофтороза, а также обеспечило прибавку урожайности (+ 1,8 т/га в обоих случаях), а также небольшое увеличение товарной фракции клубней.

Заключение

Проведенное исследование позволило получить новые экспериментальные данные о биологической и экономической эффективности испытанных средств защиты растений на различных сортах картофеля, различающихся по восприимчивости к фитофторозу и альтернариозу.

Было установлено, что биопрепарат Агат-25К сдерживает развитие фитофтороза в условиях эпифитотийного развития болезни на восприимчивом сорте Аризона, но уступает по эффективности контактному химическому фунгициду Манфил. На устойчивом к фитофторозу и восприимчивом к альтернариозу сорте Алуэтт, использование биопрепарата Агат-25К обеспечило более высокую урожайность по сравнению с вариантами, обработанными фунгицидом Манфил. Так, в варианте с сортом Алуэтт также было отмечено существенное подавление альтернариоза. Очевидно, что Агат-25К оказывает двойное действие: уменьшает выраженность фитофтороза и активизирует рост и развитие растений. Учитывая это обстоятельство, Агат-25К может быть рекомендован для использования на среднеустойчивых сортах в условиях спорадических эпифитотий фитофтороза, а также для борьбы с альтернариозом.

В вариантах совместного применения фунгицидов с биостимулятором ЭкселГроу, отмечалось достоверное снижение интегрального показателя развития болезни (AUDPC). Применение биостимулятора ЭкселГроу в комплексе с фунгицидами позволило добиться достоверного снижения развития болезни, по сравнению с вариантами применения только фунгицидов соло, о чем свидетельствуют данные биологической эффективности. В опыте было впервые показано, что применение биостимулятора ЭкселГроу с препаратами Манфил и Агат-25К повышает их биологическую эффективность на устойчивых к фитофторозу и восприимчивых к альтернариозу сортах до 12%, дополнительно повышает урожайность на 1,5–3,5% и демонстрирует рост товарности клубней на 1–3%, что свидетельствует о том, ЭкселГроу повышает иммунный статус растений, предотвращая их заражение альтернариозом.

• References

1. Beumer K., Stemerding D. A breeding consortium to realize the potential of hybrid diploid potato for food security. *Nat. Plants.* 2021; 7:1530–1532. https://doi.org/10.1038/s41477-021-01035-4
2. Leiminger J.H., Hausladen H. Early Blight Control in Potato Using Disease-Orientated Threshold Values. *Plant Disease.*2012;96:124-130. https://doi.org/10.1094/PDIS-05-11-0431
3. Dong S., Zhou S. Potato late blight caused by Phytophthora infestans: from molecular interactions to integrated management strategies. *Journal of Integrative Agriculture.* 2022;21(12):3456-3466. https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.060
4. Markantonis M., Velde-Koerts T., Graven C., Biesebeek J.D., Zeilmaker M., Rietveld A.G., Ossendorp B.C. Assessment of occupational and dietary exposure to pesticide residues. *EFSA Journal.* 2018;16(S1). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.e16087
5. Chatzidimitriou E., Mienne A., Pierlot S., Noel L., Sarda X. Assessment of combined risk to pesticide residues throughdietary exposure. *EFSA Journal.* 2019;17(S2). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.e170910
6. Ерохова М.Д., Кузнецова М.А. Опыт Великобритании в защите картофеля от бактериозов. *Достижения науки и техники АПК.* 2022;36(2):8-13. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_2_8
7. Шатилов И.С. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур.М.: *Агропромиздат,*1987.358с
8. Каюмов М.К. Справочник по программированию урожаев. М.: *Россельхозиздат,* 1987. 368 с.
9. James W.C. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. Can, *Plant Dis. Surv.* 1971;51:39-65.
10. Contreras-Medina L.M., Torres-Pacheco I. , Guevara-González R.G., RomeroTroncoso R.J., Terol-Villalobos I.R., Osornio-Rios R.A. Mathematical modeling tendencies in plant pathology. *African Journal of Biotechnology.* 2009;8(25):7399-7408.
11. Jeger M., Viljanen-Rollinson S. The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theor Appl Genet.* 2001;(102):32–40. https://doi.org/10.1007/s001220051615
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: *Агропромиздат.*1985. 125 с.
13. Abbott W.S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology.* 1925;(18):265-267.
14. Стацюк Н.В. Повышение ресурсного потенциала картофеля путем обработки семенного материала импульсным низкочастотным электрическим полем. 2015.
15. Semenchuk V. Potato productivity depending on the use of plant growth regulator Agate-25K. Interdepartmental thematic scientific collection on the use of plant protection and quarantine. 2018. https://doi.org/10.36495/1606-9773.2018.64.162-165
16. Шляхов В.А., Григорян Л.Н. Изучение эффективности нового средства биоконтроля за численностью саранчовых вредителей по результатам полевых испытаний в 2016 году // Вопросы науки и образования. 2017;7(8). http://scientificpublication.ru/images/PDF/2017/8/izuchenie-effektivnosti-novogo.pdf (Дата обращения: 06.03.2025).
17. Романова Е.В., Гинс М.С. Влияние биостимуляторов на рост и продуктивность растений сои. *Вестник РУДН, сер. Агрономия и Животноводство.* 2006;1:82-88.
18. Фетюхин И.В., Авдеенко И.А. Эффективность применения регуляторов роста при выращивании подсолнечника по системе Clearfield в условиях Ростовской области. *Вестник Донского государственного аграрного университета.* 2004;1(51):13-19.
19. Уромова И.П. Биологизированная система защиты картофеля от болезней. *Агрохимический вестник.* 2008;6:38-40. https://elibrary.ru/kvjjjv
20. Кузнецова М.А. Обоснование применения некоторых биологически активных препаратов и средств для защиты картофеля от фитофтороза. 2000.
21. Николаева Ф.В., Лукина Ф.А. Использование биологических

препаратов при возделывании картофеля в Якутии. *Аграрная наука.* 2020;(7-8):124-126. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-124-126
22. Уромова И.П., Козлов А.В., Лобина В.С. Влияние регулятора роста с биофунгицидной активностью на урожай и качество картофеля. *Современные проблемы науки и образования.* 2015;(2-3). URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=23852 (дата обращения: 07.03.2025).
23. Уколова А.Ю., Кузнецова М.А., Сметанина Т.И., Демидова В.Н., Ерохова М.Д., Рогожин А.Н. Эффективность применения биостимулятора-антистрессанта «ЭкселГроу» в сочетании с фунгицидами для снижения вредоносности ранней пятнистости, вызванной грибами рода *Alternaria* и повышения урожайности картофеля. *Аграрная наука.* 2024;(11):92-98. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-92-98.
24. Abkhoo J., Sabbag S.K. Control of *Phytophthora melonis* damping-off, induction of defense responses, and gene expression of cucumber treated with commercial extract from *Ascophyllum nodosum. J. Appl. Phycol.* 2016;(28):1333–1342. https://doi.org/10.1007/s10811-015-0693-3.
25. Panjehkeh N., and Abkhoo J. Influence of marine brown alga extract (Dalgin) on damping-off tolerance of tomato. *JMES.* 2016;(7):2369–2374.
26. Jayaraj, J., Wan, A., Rahman, M., and Punja, Z. K. Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot. *Crop Prot.* 2008;(27):1360–1366. https://doi.org/10.1016/j.cropro. 2008.05.005.

● Литература

1. Beumer K., Stemerding D. A breeding consortium to realize the potential of hybrid diploid potato for food security. *Nat. Plants.* 2021; 7:1530–1532. https://doi.org/10.1038/s41477-021-01035-4
2. Leiminger J.H., Hausladen H. Early Blight Control in Potato Using Disease-Orientated Threshold Values. *Plant Disease.*2012;96:124-130. https://doi.org/10.1094/PDIS-05-11-0431
3. Dong S., Zhou S. Potato late blight caused by *Phytophthora infestans*: from molecular interactions to integrated management strategies. *Journal of Integrative Agriculture.* 2022;21(12):3456-3466. https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.060
4. Markantonis M., Velde-Koerts T., Graven C., Biesebeek J.D., Zeilmaker M., Rietveld A.G., Ossendorp B.C. Assessment of occupational and dietary exposure to pesticide residues. *EFSA Journal.* 2018;16(S1). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.e16087
5. Chatzidimitriou E., Mienne A., Pierlot S., Noel L., Sarda X. Assessment of combined risk to pesticide residues throughdietary exposure. *EFSA Journal.* 2019;17(S2). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.e170910
6. Erokhova M.D., Kuznetsova M.A. UK experience in protecting potatoes from bacterial diseases. *Achievements of Science and Technology of AIC.* 2022;36(2):8-13. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_2_8 (In Russ.)
7. Shatilov I.S. Fundamentals of programming agricultural crop yields. M.: Agropromizdat,1987. 358 p. (In Russ.)
8. Kayumov M.K. Harvest Programming Handbook. M.: Rossel'khozizdat, 1987. 368 p. (In Russ.)
9. James W.C. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. Can, *Plant Dis. Surv.* 1971; 51:39-65.
10. Contreras-Medina L.M., Torres-Pacheco I. , Guevara-González R.G., RomeroTroncoso R.J., Terol-Villalobos I.R., Osornio-Rios R.A. Mathematical modeling tendencies in plant pathology. *African Journal of Biotechnology.* 2009;8(25):7399-7408.
11. Jeger M., Viljanen-Rollinson S. The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theor Appl Genet.* 2001;(102):32–40. https://doi.org/10.1007/s001220051615
12. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: 1985. 125 p. (In Russ.)
13. Abbott W.S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology.* 1925;(18):265-267.
14. Statsyuk N.V. Increasing the resource potential of potatoes by treating seed material with a pulsed low-frequency electric field. 2015.
15. Semenchuk V. Potato productivity depending on the use of plant growth regulator Agate-25K. Interdepartmental thematic scientific collection on the use of plant protection and quarantine. 2018. https://doi.org/10.36495/1606-9773.2018.64.162-165
16. Shlyakhov V.A., Grigoryan L.N.Study of the effectiveness of a new biocontrol agent for the number of locust pests based on the results of field trials in 2016. Issues of Science and Education 2017;7(8). http://scientificpublication.ru/images/PDF/2017/8/izuchenie-effektivnosti-novogo.pdf (Date of access: 06.03.2025) (In Russ.)
17. Romanova E.V., Gins M.S. The influence of biostimulants on the growth and productivity of soybean plants. Bulletin of RUDN, series Agronomy and Animal Breeding, 2006; 1:82-88. (In Russ.)
18. Fetyukhin I.V., Avdeenko I.A. Efficiency of application of growth regulators in cultivation of sunflower according to Clearfield system in conditions of Rostov region. Bulletin of Don State Agrarian University.2004;1(51):13-19. (In Russ.)
19. Uromova I.P. Biological system of potato protection from diseases. Agrochemical Bulletin. 2008;6:38-40. (In Russ.) https://elibrary.ru/kvjjjv
20. Kuznetsova M.A. Justification of using biological products for protecting potatoes from late blight. 2000. (In Russ.)
21. Nikolaeva F.V., Lukina F.A. Use of biological preparations in potato cultivation in Yakutia. *Agrarian science.* 2020;(7-8):124-126. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-124-126: (In Russ.)
22. Uromova I.P., Kozlov A.V., Lobina V.S. The influence of a growth regulator with biofungicidal activity on the yield and quality of potatoes // Modern problems of science and education. 2015;(2-3). URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=23852 (date of access: 07.03.2025) (In Russ.)
23. Ukolova A.YU., Kuznetsova M.A., Smetanina T.I., Demidova V.N., Erokhova M.D., Rogozhin A.N. Efficiency of using ExcelGrow in combination with fungicides to reduce the severity of early blight caused by fungi Alternaria and to increase potato yield. *Agrarian science.* 2024;(11):92-98. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-92-98 (In Russ.)
24. Abkhoo J., Sabbag S.K. Control of *Phytophthora melonis* damping-off, induction of defense responses, and gene expression of cucumber treated with commercial extract from *Ascophyllum nodosum. J. Appl. Phycol.* 2016;(28):1333–1342. https://doi.org/10.1007/s10811-015-0693-3.
25. Panjehkeh N., and Abkhoo J. Influence of marine brown alga extract (Dalgin) on damping-off tolerance of tomato. *JMES.* 2016;(7):2369–2374.
26. Jayaraj, J., Wan, A., Rahman, M., and Punja, Z. K. Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot. *Crop Prot.* 2008;(27):1360–1366. https://doi.org/10.1016/j.cropro. 2008.05.005.

Об авторах:
Анастасия Юрьевна Уколова – аспирант ВНИИФ, https://orcid.org/0009-0007-2308-9641, anukolova@mail.ru
Мария Алексеевна Кузнецова – кандидат биол. наук, заведующая отделом болезней картофеля и овощных культур ВНИИФ, SPIN-код: 2596-0070, https://orcid.org/0000-0002-9880-5995, mari.kuznetsova@gmail.com

About the Authors:
Anastasia Yu. Ukolova – Graduate Student at All-Russian Research Institute of Phytopathology, https://orcid.org/0009-0007-2308-9641 anukolova@mail.ru.
Maria A. Kuznetsova – Cand. Sci. (Biology), Head of Potato and Vegetable's Diseases Department of All-Russian Research Institute of Phytopathology, SPIN-code: 2596-0070, https://orcid.org/0000-0002-9880-5995, mari.kuznetsova@gmail.com.

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-90-94
УДК: 631.8:635.611:631.526.32-02

Е.А. Галичкина*

Быковская бахчевая селекционная опытная станция – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
"Федеральный научный центр овощеводства"
404067, Россия, Волгоградская обл.,
Быковский район, п. Зелёный, ул. Сиреневая, д. 11

Автор для переписки: BBSOS34@yandex.ru

Вклад автора: Автор участвовала в планировании и постановке эксперимента, а также в анализе экспериментальных данных и написании статьи.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Галичкина Е.А. Влияние водорастворимых удобрений на урожайность и химический состав плодов нового сорта дыни Баллада. *Овощи России.* 2025;(3):90-94.
https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-90-94

Поступила в редакцию: 17.03.2025
Принята к печати: 23.04.2025
Опубликована: 07.07.2025

Влияние водорастворимых удобрений на урожайность и химический состав плодов нового сорта дыни Баллада

РЕЗЮМЕ
Актуальность. В связи с частыми колебаниями температуры воздуха и отсутствием необходимого объёма осадков для повышения продуктивности и сохранения качества местных сортов дыни необходимо разрабатывать и внедрять в производство новые элементы технологии выращивания.
Материал и методика. Материалом для исследований являлись новый сорт дыни Баллада и водорастворимые удобрения Энерген Экстра, Акварин овощной, Агрикола. Перечисленные удобрения в эксперименте применяются для двукратной некорневой обработки в периоды плетеобразования и перед смыканием плетей (через две недели).
Результаты. В процессе эксперимента проведен сравнительный анализ урожайности и биохимического состава выращенной продукции. В исследуемый период 2022-2024 года в результате обработки растений водорастворимыми удобрениями наблюдается рост урожайности во всех вариантах на 11,5%-42,6% выше чистого контроля. Однако самый максимальный урожай был получен в 2022 году. Этому способствовало равномерное распределение количества осадков в период вегетации и не высокие температуры в начале развития растений. Самая большая урожайность в данном году получилась после обработки растений препаратом Агрикола на 42,6% выше контрольного варианта. При этом самые крупные плоды (средняя масса плода 2 кг) выращены также в 2022 году в результате применения препаратов Акварин овощной и Агрикола. Минимальная прибавка урожая получилась в 2024 году и составила 11,5-24,6% выше контроля из-за неблагоприятных погодных условий. В мае не выпало ни одного дождя. В июле температура превышала среднемноголетние данные на + 2,8 С°. В результате сравнительной оценки биохимических показателей самые сладкие плоды были выращены в 2024 году. Содержание сухого вещества во всех вариантах варьировалось от 15,2 до 15,6% с самым высоким показателем в варианте Энерген Экстра. Минимальные значения сухого вещества были зафиксированы в 2022 году в вариантах Энерген Экстра и Агрикола. Максимальные значения общего сахара получены в 2024 году в варианте Энерген Экстра 13,3%, а минимальные в варианте Акварин овощной 12,2%. Снижение показателей общего сахара также отмечается в 2022 году с максимальными значениями в варианте Акварин овощной 12,2%, минимальными в варианте Энерген Экстра. Наибольшее накопление аскорбиновой кислоты 45,5 мг% отмечено в 2022 году в варианте Акварин овощной, а минимальное в варианте Агрикола 40,4 мг%. Наименьшие показатели аскорбиновой кислоты получились в 2024 году. Максимальные значения данного показателя отметили в варианте Энерген Экстра 33,6 мг%, а минимальные в контрольном варианте 26 мг%. Показатели нитратного азота в исследуемый период во всех вариантах не превышал ПДК-90 мг/кг.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
дыня, водорастворимые удобрения, урожайность, биохимический состав.

Elena A. Galichkina*

Bykovskaya melon breeding experimental station - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Scientific Center for Vegetable Growing"
st. Sirenevaya, 11, Zeleny settlement, Bykovsky district, Volgograd region, 404067, Russia

Correspondence Author: BBSOS34@yandex.ru

Author's Contribution: Galichkina E.A.: methodology, conceptualization, data verification, writing and editing the manuscript.

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

For citation: Galichkina E.A. The effect of water-soluble fertilizers on the yield and chemical composition of fruits of a new variety of melon Ballada. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):90-94. (In Russ.)
https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-90-94

Received:17.03.2025
Accepted for publication: 23.04.2025
Published: 07.07.2025

The effect of water-soluble fertilizers on the yield and chemical composition of fruits of new variety of melon Ballada

ABSTRACT
Relevance. Due to the frequent fluctuations in air temperature and the lack of the necessary precipitation to increase productivity and preserve the quality of local melon varieties, it is necessary to develop and introduce new elements of cultivation technology into production.
Material and methodology. The objects of research are a new variety of melon Ballada and water–soluble fertilizers Energen Extra, Aquarin vegetable, Agricola. The listed fertilizers in the experiment are used for two-fold foliar treatment during the periods of lash formation and before the closure of the lashes (after two weeks).
Results. During the experiment, a comparative analysis of the yield and biochemical composition of the grown products was carried out. In the study period of 2022-2024, as a result of plant treatment with water-soluble fertilizers, yields in all variants increased by 11.5%-42.6% above the net control. However, the maximum harvest was achieved in 2022. This was facilitated by the uniform distribution of precipitation during the growing season and low temperatures at the beginning of plant development. The highest yield this year was obtained after treatment of plants with Agricola, 42.6% higher than the control variant. At the same time, the largest fruits (the average fruit weight is 2 kg) were also grown in 2022 as a result of the use of Aquarin vegetable and Agricola preparations. The minimum yield increase was achieved in 2024 and amounted to 11.5-24.6% above the control due to adverse weather conditions. There was not a single rain in May. In July, the temperature exceeded the annual average by + 2.8 C°. As a result of a comparative assessment of biochemical parameters, the sweetest fruits were grown in 2024. The dry matter content in all variants ranged from 15.2 to 15.6%, with the highest value in the Energen Extra variant. The minimum values of dry matter were recorded in 2022 in the variants of Energen Extra and Agricola. Accordingly, the maximum values of total sugar were obtained in 2024 in the Energen Extra variant of 13.3%, and the minimum values in the Aquarin vegetable variant of 12.2%. A decrease in total sugar is also noted in 2022, with maximum values in the Aquarin vegetable variant of 12.2%, minimum values in the Energen Extra variant. The largest accumulation of ascorbic acid, 45.5 mg%, was noted in 2022 in the Aquarin vegetable variant, and the minimum in the Agricola variant was 40.4 mg%. The lowest values of ascorbic acid were obtained in 2024. The maximum values of this indicator were noted in the Energen Extra variant of 33.6 mg%, and the minimum values in the control variant of 26 mg%. The values of nitrate nitrogen in the study period in all variants did not exceed the maximum permissible concentration of 90 mg/kg.
Keywords: melon, water-soluble fertilizers, yield, biochemical composition.

Введение

Одним из ключевых направлений в рамках системы национальной безопасности остается безопасность продовольственная [1; 2]. Изменение внешнеполитической обстановки существенно повысило значимость развития овощеводства и обеспечения доступности и ценовой стабильности овощей на продовольственном рынке [3].

Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур играют решающую роль в развитии агропромышленного комплекса. Достижения селекции являются важным фактором для создания конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции. Бахчеводство – одна из самых распространенных и перспективных отраслей в мировом земледелии [4].

Одним из важных факторов повышения и стабильности урожайности бахчевых культур является подбор оптимального сортимента для каждого региона РФ. Поэтому в производстве должны применяться сорта, наиболее адаптированные к местным условиям произрастания [5].

Разработка и внедрение агротехнологического комплекса при возделывании бахчевых культур невозможна без учёта особенностей развития растений [6]. Каждый конкретный элемент агротехники непосредственно связан с отдельными фазами развития растений. В различных разработках технологий выращивания дыни, значительная роль принадлежит программированию урожая и качества полученной продукции [7].

Применение удобрений в бахчеводстве является перспективным приемом для повышения урожайности бахчевых культур. Ранее проведенными исследованиями разработаны оптимальные дозы почвенных минеральных удобрений, лучшие сроки и способы внесения, позволяющие получать высокие урожаи с сохранением почвенного плодородия. В современных условиях, в связи с высокой затратностью применения почвенных минеральных удобрений и появления новых видов минеральных удобрений (водорастворимые), необходимо определить оптимальные нормы и способы их применения, которые позволят получать высокий урожай плодов арбуза столового без снижения качества получаемой продукции. Рациональная система применения удобрений позволяет увеличить урожайность возделываемых культур на 40-50%, не снижая при этом уровень почвенного плодородия [8; 9; 10].

Применение фолиарных обработок водорастворимыми удобрениями стали уже необходимым элементом технологии при выращивании бахчевых культур [11]. Одним из важнейших преимуществ этих препаратов является простота и разнообразие способов их применения [12]. В наше время промышленное производство дыни сосредоточено в шести субъектах России. Лидеры российского бахчеводства – Астраханская область, Ростовская область, Краснодарский край, Ставропольский край, Волгоградская область [13].

Плоды дыни представляют ценность как источник питательных веществ, витаминов, минеральных солей и других биологически ценных качеств. Мякоть дыни богата сахарами, клетчаткой, витаминами, фолиевой кислотой, хотя питательная ценность не высокая, но она обладает лечебной и диетической ценностью и имеет большое хозяйственное значение [4].

Биохимический состав дыни является одним из главных показателей качества продукции. Содержание сухого вещества – один из наиболее важных показателей качества овощной продукции. От него зависит возможность и эффективность различного рода переработки овощей, их сохранность при хранении. Известно, что содержание сухого вещества под влиянием минеральных удобрений часто снижается. Но при благоприятных для данной культуры и сорта соотношениях питательных веществ это снижение может быть наименьшим [14].

Цель данного исследования – изучить влияние водорастворимых удобрений на урожайность и химический состав плодов нового сорта дыни Баллада в экстремальных условиях Волгоградской области.

Условия, объекты и методы исследований

Опыты проводили в 2022-2024 гг. на опытном участке Быковской бахчевой селекционной опытной станции.

Почвы светло-каштановые, супесчаные, лёгкие по гранулометрическому составу. Обладают высокой водопроницаемостью, способны улавливать даже незначительные осадки. Содержание общего азота 0,12...0,15%, общего фосфора 0,07...0,09%, обменного калия 120...180 мг/кг. Содержание гумуса до 1,1%.

Волгоградское Заволжье находится в условиях экстремального климата. На всей территории преобладают высокие летние температуры, повышенная испаряемость, дефицит влажности воздуха и малое количество осадков. Наблюдается повышенная ветровая деятельность и частые пыльные бури. Среднесуточная температура за весь вегетационный период 2022 года колебалась от +12,8 до +27 С° (рис. 1). Самый жаркий месяц выдался в Августе. Вегетационный период 2023 года также не отличается низкими температурами. Среднесуточные температуры варьировались от +12,1 до +26,4 С°. Максимальные температуры были зафиксированы в Августе. Среднесуточная температура в мае 2023 года превысила показатели предыдущего года и составила +17,6 С°. В 2024 году самым жарким месяцем обозначился Июль. Среднесуточная температура превысила среднемноголетние значения на 2,8 С° и достигла +26,7 С° (Рис. 1).

Осадки в период исследований распределились не равномерно. В период вегетации 2022 года с мая по

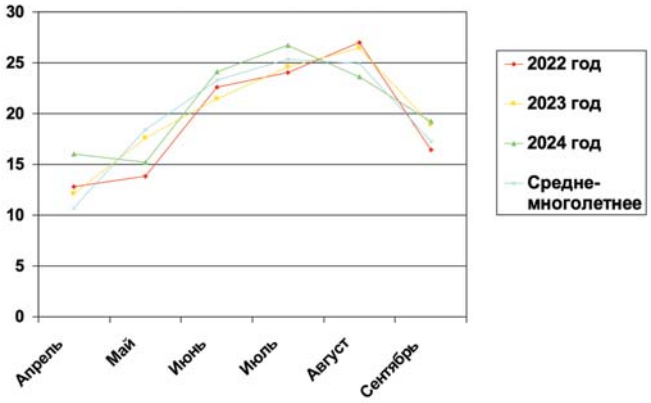


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха за 2022-2024 годы
Fig. 1. Average daily air temperature for 2022-2024

август дождей выпало очень мало от 3,4 до 16,8 мм, что ниже среднемноголетних показателей на 6,7-60 мм. Самым дождливым отметился сентябрь 133,6 мм. В 2023 году с апреля по июль осадков выпало от 20,5 до 85,7 мм. В мае 2024 года не выпало ни одного дождя. В июне осадков выпало больше среднемноголетних значений на 9,1 мм, а в июле на 16,4 мм меньше. Данного количества осадков хватило для полноценного развития растений, но засуха в мае негативно повлияла на будущий урожай (Рис. 2).

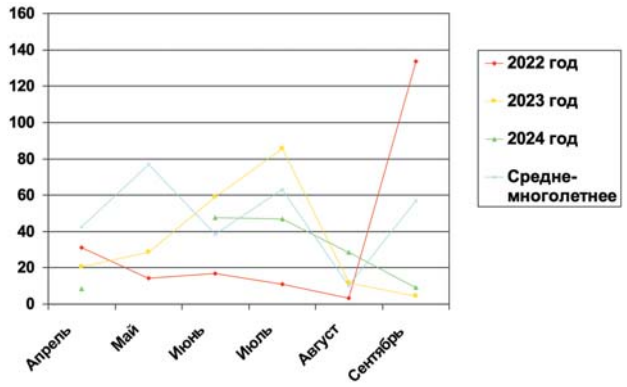


Рис. 2. Среднемесячное количество осадков за 2022-2024 годы
Fig. 2. Average monthly precipitation for 2022-2024

Площадь учетной делянки – 72 кв.м. Повторность в опыте трехкратная, размещение вариантов систематическое. Схема посева – 2,0 х 2,0 м. Агротехника общепринятая для выращивания бахчевых культур. Опыты проводили согласно существующим методикам: Литвинов С.С. «Методика полевого опыта в овощеводстве», Белик В.Ф. «Методика полевого опыта в овощеводстве» [15, 16].

Удобрения применяли для фолиарной обработки растений в период вегетации в сроки “начало плетеобразования” и перед смыканием плетей (через 2 недели). Нормы применяемых препаратов: Энерген Экстра – 6 гр/10 л воды, Акварин овощной – 15 гр/10 л воды, Агрикола – 25 гр/10 л воды. Рабочий раствор 300 л/га. Дозы рассчитывали в соответствии с рекомендациями производителей.

Объектами исследований являлись новый сорт дыни Баллада и удобрения Энерген Экстра, Акварин овощной и Агрикола.

Краткая характеристика сорта: сорт раннего срока созревания. Плоды имеют шаровидную форму. Окраска фона коры жёлтая, рисунка нет. Поверхность слабосегментированная, сетка сплошная. Мякоть белая, толстая, консистенция среднеплотная. Масса отобранных плодов 1,2 – 3,0 кг. Содержание сухого вещества в соке плодов 14,0 – 18,0%. Урожайность 19,0-22,0 т/га.

Характеристика препаратов:

Энерген Экстра – микроудобрение. Состав: аминокислоты, микроэлементы, витамины, гуминовые кислоты, фульво кислоты; природный препарат, производится из бурого угля, д.в. калиевые соли гуминовых кислот 850 г/кг.

Акварин овощной – комплексное водорастворимое удобрение. Состав: азот – 19%, фосфор – 6%, калий – 20%, магний – 1,5%, микроэлементы в форме хелатов: Fe – 0,054%, Zn – 0,014%, Cu – 0,01%, Mn – 0,042%, Mo – 0,004%, B – 0,02%;

Агрикола (для огурцов, кабачков, патиссонов) – водорастворимое комплексное удобрение. Состав: азот – 13%, фосфор – 20%, калий – 20%; микроэлементы: бор, медь, марганец, цинк, магний.

В течение периода исследований мы подробно изучили воздействие применяемых удобрений на урожайность, особенно на качество полученных плодов дыни нового сорта Баллада.

Результаты и их обсуждение

Урожайность является основным показателем сорта, который контролируется генетически и зависит от почвенно-климатических условий внешней среды [17]. В результате анализа данных эксперимента отмечено увеличение урожайности в период 2022-2024 года. В 2022 году существенная прибавка урожайности отметилась после использования препаратов Энерген Экстра и Агрикола и составила на 41,7-42,6% больше контроля. В результате применения удобрения Акварин овощной урожайность повысилась всего на 12% от контрольного варианта. В данном году были выращены самые крупные плоды по сравнению с последующими годами, средняя масса плода составила от 1,7 до 2 кг. Максимальным весом отличались плоды дыни после применения удобрений Акварин овощной и Агрикола.

В 2023 году максимальное увеличение урожайности было в варианте с применением препарата Энерген Экстра на 33% выше контроля. В остальных вариантах составила 12-17% от контроля. Средняя масса плода колебалась от 1,5 до 1,7 кг. Наибольшим весом отличались плоды после обработки препаратом Энерген Экстра. Наименьшей массой отличались плоды дыни после фолиарной обработки препаратом Акварин. овощной.

В 2024 году самая большая прибавка урожайности получена после использования препарата Агрикола на 24,6% выше контрольного варианта. Использование препаратов Энерген Экстра и Акварин овощной способствовало увеличению урожайности на 11,5-17,7% от контроля. Средняя масса плода варьировалась от 1,6 до 1,9 кг. Самые крупные плоды были получены в варианте с использованием удобрения Агрикола (Табл. 1).

Биохимический состав плодов бахчевых культур является важным показателем качества выращенной продукции. В результате исследований в 2022 году не выявили существенных различий по содержанию сухого вещества во всех изучаемых вариантах оно варьировалось от 12,6 до 13,6% с максимальным показателем в варианте Акварин овощной. В остальных вариантах данный показатель был ниже контроля на 0,4%. В содержании общего сахара наблюдалась та же тенденция, что и в показателях сухого вещества.

Однако в 2023 году отмечено увеличение содержания в плодах дыни сахаров. Сухое вещество во всех вариантах превышало контроль без обработок на 0,4-2%. Максимальное его содержание получено в варианте Энерген Экстра. Содержание общего сахара соответственно во всех вариантах превышало контрольный вариант на 1,1-2,3% с наивысшим показателем в варианте Агрикола.

Таблица 1. Влияние водорастворимых удобрений на показатели урожайности дыни нового сорта Баллада
Table 1. The effect of water-soluble fertilizers on the yield of melon of the new Ballada variety

Варианты	2022 год		2023 год		2024 год	
	Урожайность, т/га	Средняя масса плода, кг	Урожайность, т/га	Средняя масса плода, кг	Урожайность, т/га	Средняя масса плода, кг
Контроль (без обработок)	10,8	1,7	11,8	1,6	13,0	1,6
Энерген Экстра	15,3	1,8	15,7	1,7	14,5	1,7
Акварин овощной	12,1	2,0	13,8	1,5	15,3	1,7
Агрикола	15,4	2,0	13,2	1,6	16,2	1,9
$НСР_{05}$	1,32		1,51		1,13	

Проведенный в 2024 году анализ биохимических показателей состава выращенного урожая с применением водорастворимых удобрений позволяет сделать вывод о несущественных отличиях качества плодов с контрольным вариантом. Таким образом, показатели сухого вещества во всех рассматриваемых вариантах варьировались от 15,2 до 15,6% с максимальным значением в варианте Энерген Экстра. В содержании общего сахара также можно отметить незначительную разницу между показателями, которая составила 12,2-13,3% (Рис. 3).

Содержание аскорбиновой кислоты во всех изучаемых образцах в 2022 году находилось на достаточно

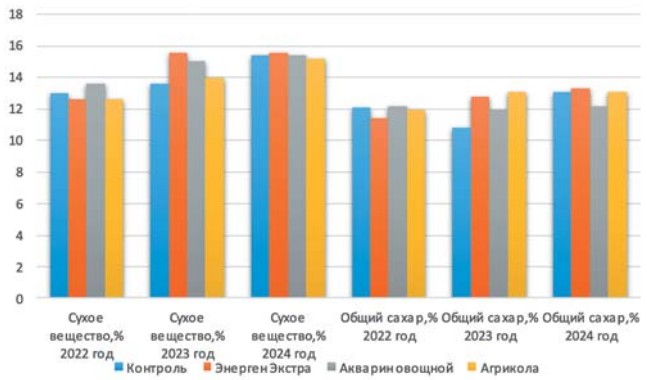


Рис. 3. Содержание сухого вещества и общего сахара в плодах дыни нового сорта Баллада (за 2022-2024 гг.)
Fig. 3. The content of dry matter and total sugar in melon fruits of the new Ballada variety (for 2022-2024)

высоком уровне и составило от 40,4 до 45,5 мг% с самым максимальным значением в варианте Акварин овощной, а минимальным в варианте Агрикола.

В период исследований в 2023 году данные по содержанию витамина С в изучаемых образцах колебались от 32 до 44,8 мг%. Максимальное его содержание зафиксировано в варианте с применением удобрения Акварин овощной.

Показатели аскорбиновой кислоты в 2024 году находились на высоком уровне от 26 до 33,6 мг% где максимальное значение можно отметить в варианте с применением препарата Энерген Экстра, а минимальное в варианте чистый контроль.

В ходе сравнительной оценки показателей витамина С за исследуемые годы самые максимальные его значения были получены в 2022 году.

Количество нитратного азота в экспериментальных плодах дыни отмечено его низкое содержание во всех вариантах опыта 26-28 мг/кг при ПДК 90 мг/кг (Рис. 4).

Таким образом, на биохимические показатели плодов дыни наилучшим образом влияли препараты

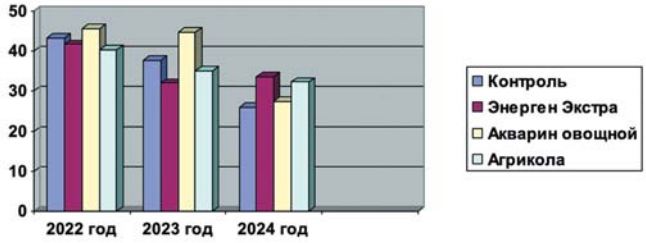


Рис. 4. Содержание аскорбиновой кислоты в плодах дыни нового сорта Баллада (за 2022-2024 гг.)
Fig. 4. Ascorbic acid content in melon fruits of the new Ballada variety (for 2022-2024)

Энерген Экстра и Акварин овощной в условиях 2022-2024 года. Отмечено, что увеличение суммы температур, особенно в июле-августе наилучшим образом влияло на увеличение сухого вещества, а суммы осадков в начале вегетации позволило растениям дыни полноценно развиваться.

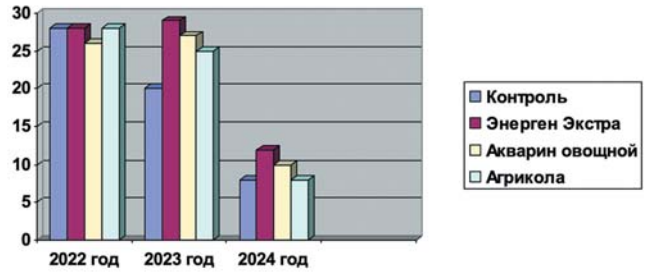


Рис. 5. Содержание нитратов азота в плодах дыни нового сорта Баллада (за 2022-2024 гг.)
Fig. 5. Nitrogen nitrate content in melon fruits of the new Ballada variety (for 2022-2024)

Заключение

Применение водорастворимых удобрений для фолиарной обработки растений нового сорта дыни в почвенно-климатических условиях Волгоградской области способствовало увеличению его продуктивности и не снижению качества полученного урожая.

Проведенная оценка влияния применяемых препаратов на урожайность и химический состав плодов исследуемого сорта за период 2022-2024 год показала, что максимальное увеличение урожайности 15,4 т/га была достигнута в 2022 году в варианте Агрикола по отношению к контрольному варианту 10,8 т/га. Показатели качества полученной продукции в результате применения всех исследуемых препаратов не снизились. Всё вышесказанное говорит о том, что данный сорт дыни оказался отзывчивым к применению препаратов для фолиарной обработки, но самым эффективным отметился препарат Агрикола. На основании настоящих исследований можно рекомендовать данное удобрение для выращивания дыни.

• References

1. Черникова С.А. Угрозы продовольственной безопасности в РФ. *Московский экономический журнал.* 2019;(7):29. https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-17057 https://elibrary.ru/hdhixb
2. Макеева О.А., Широкова О.В. Продовольственная безопасность РФ: проблемы и возможные меры. *Продовольственная политика и безопасность.* 2020;7(2):149–154. https://doi.org/10.18334/ppib.7.2.110182 https://elibrary.ru/xypcoo
3. Артемова Е.И., Лазько Л.В., Оболенская М. Н. Тенденции развития овощеводства России в условиях импортозамещения. Труды *Кубанского государственного аграрного университета.* 2020;(82):11–16. https://doi.org/10.21515/1999-1703-82-11-16 https://elibrary.ru/mprvtt
4. Халатова Х.М., Кигашпаева О.П. Оценка коллекционных образцов арбуза и дыни в условиях Астраханской области и отбор перспективных, представляющих интерес для селекции. *Известия ФНЦО.* 2022;(2):122-128. https://doi.org/10.18619/2658-4832-2022-2-122-128 https://elibrary.ru/kjxcad
5. Жигадло Т.Э. Разнообразие сортов картофеля из Мировой коллекции ВИР в северных условиях. *Овощи России.* 2024;(3):30-35. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-30-35 https://elibrary.ru/dyfhbh
6. Байрамбетов Ш.Б. Методические указания по применению регуляторов роста растений на овощных, бахчевых культурах и картофеле. Рекомендации РАСХН. Астрахань. 2009. 78 с.
7. Быковский Ю.А., Варивода Е.А., Малуева С.В., Никулина Т.М. Селекция бахчевых культур для юго-востока России. *Картофель и овощи.* 2017;(6):37-40. https://elibrary.ru/yslszx
8. Галичкина Е.А., Кобкова Н.В., Курунина Д.П. Урожайность и качество арбуза столового Метеор при использовании микроудобрений. *Известия ФНЦО.* 2020;(2):110-115. https://doi.org/10.18619/2658-4832-2020-2-110-115 https://elibrary.ru/ptsifq
9. Montelaro J., Taylor J. Grom watermelon more profitably. Louisiana exp. Station, 1977. P. 5-8.
10. NeSmith D. Root destribution and yield of direct seeded and transplanted watermwlon // *I. Am. Soc. Hortic. Sc.* 1999;124(5):458-461.
11. Колебошина Т.Г., Быковский Ю.А. Особенности агротехнологии бахчевых культур в зоне рискованного земледелия РФ. *Труды Кубанского государственного аграрного университета.* 2016;60(3):123-129. https://elibrary.ru/wmaliv
12. Боева Т.В., Байрамбеков Ш.Б., Гуляева Г.В., Соколов С.Д., Соколова Г.Ф., Валеева З.Б., Гарьянова Е.Д., Соколов А.С., Бочарников А.Н. Возделывание бахчевых культур в условиях Нижнего Поволжья. Рекомендации. М.; Российская академия с.-х. наук; ГНУ ВНИИОБ. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич. 2013. 64 с.
13. Колебошина Т.Г., Емельянова Л.В., Никулина Т.М. Генетические коллекции бахчевых культур как основной ресурс развития отрасли. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование.* 2016;(2):78-83. https://elibrary.ru/wimgvz
14. Борисов В.А. Удобрение овощных культур. М.: Колос, 1978. 207 с.
15. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: Россельхозакадемия, 2011. 649 с.
16. Белик В.Ф., Бондаренко Г.Л. Методика полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве М. 1979. 210 с.
17. Фетодова Е.В., Маглинец Ю.А., Брежнев Р.В. и др. Опыт прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с использованием имитационных моделей. *Вестник КрасГАУ.* 2020;8(161):43-48. https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-8-43-48 https://elibrary.ru/bkjxlm
*Disease.*2012;96:124-130. https://doi.org/10.1094/PDIS-05-11-0431

• Литература

1. Chernikova S.A. Threats to food security in the Russian Federation. *Moscow economic journal.* 2019;(7):29. (In Russ.) https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-17057 https://elibrary.ru/hdhixb
2. Makeeva O. A., Shirokova O. V. Food security of the Russian Federation: problems and possible measures. *Food policy and security.* 2020;7(2):149–154. (In Russ.) https://doi.org/10.18334/ppib.7.2.110182 https://elibrary.ru/xypcoo
3. Artemova E. I., Lazko L. V., Obolenskaya M. N. Trends in the development of Russian vegetable growing in the context of import substitution. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2020;(82):11–16. (In Russ.) https://doi.org/10.21515/1999-1703-82-11-16 https://elibrary.ru/mprvtt
4. Khalatova Kh.M., Kigashpaeva O.P. Evaluation of collection samples of watermelon and melon in the conditions of the astrakhan region and selection of promising ones that are of interest for breeding. *News of FSVC.* 2022;(2):122-128. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2658-4832-2022-2-122-128 https://elibrary.ru/kjxcad
5. Zhigadlo T.E. A variety of potato cultivars from the VIR World Collection in northern conditions. *Vegetable crops of Russia.* 2024;(3):30-35. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-30-35 https://elibrary.ru/dyfhbh
6. Bayrambetov Sh.B. Methodological guidelines for the use of plant growth regulators on vegetables, melons and potatoes. Recommendations of the RASN. Astrakhan. 2009. 78 p. (In Russ.)
7. Bykovsky Yu.A., Varivoda E.A., Malueva S.V., Nikulina T.M. Selection of melon crops for the south-east of Russia. *Potato and vegetables.* 2017;(6):37-40. (In Russ.) https://elibrary.ru/yslszx
8. Galichkina E.A., Kobkova N.V., Kurunina D.P. Productivity and quality of Meteor watermelon when using micro-fertilizers. *News of FSVC.* 2020;(2):110-115. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2658-4832-2020-2-110-115 https://elibrary.ru/ptsifq
9. Montelaro J., Taylor J. Grom watermelon more profitably. Louisiana exp. Station, 1977. P. 5-8.
10. NeSmith D. Root destribution and yield of direct seeded and transplanted watermwlon // *I. Am. Soc. Hortic. Sc.* 1999;124(5):458-461.
11. Koleboshina T.G., Bykovsky Yu.A. Features of agrotechnology of melon crops in the risky farming zone of the Russian Federation. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2016;60(3):123-129. (In Russ.) https://elibrary.ru/wmaliv
12. Boeva T.V., Bayrambekov Sh.B., Gulyaeva G.V., Sokolov S.D., Sokolova G.F., Valeeva Z.B., Garyanova E.D., Sokolov A.S., Bocharnikov A.N. Cultivation of melon crops in the conditions of the Lower Volga region. Recommendations. Moscow; Russian Academy of Agricultural Sciences; GNU VNIIOB. Astrakhan: Publisher: Sorokin Roman Vasilyevich. 2013. 64 p. (In Russ.)
13. Koleboshina T.G., Yemelyanova L.V., Nikulina T.M. Genetic collections of melon crops as the main resource for the development of the industry. *Proceedings of lower volga agro-university complex: science and higher education.* 2016;(2):78-83. (In Russ.) https://elibrary.ru/wimgvz
14. Borisov V.A. Fertilization of vegetable crops. Moscow: Kolos, 1978. 207 p. (In Russ.)
15. Litvinov S.S. Methodology of field experience in vegetable growing. Moscow: Rosselkhoznadzor, 2011. 649 p. (In Russ.)
16. Belik V.F., Bondarenko G.L. Methodology of field experience in vegetable growing and melon growing, Moscow, 1979. 210 p. (In Russ.)
17. Fetodova E.V., Maglinets Yu.A., Brezhnev R.V. and others. Experience in predicting crop yields using simulation models. *Bulletin of KSAU.* 2020;8(161):43-48. (In Russ.) https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-8-43-48 https://elibrary.ru/bkjxlm

Об авторах:

Елена Александровна Галичкина – старший научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0002-9603-7638, SPIN-код: 5295-2933, BBSOS34@yandex.ru

About the Author:

Elena A. Galichkina – Senior Researcher, https://orcid.org/0000-0002-9603-7638, SPIN-code: 5295-2933, BBSOS34@yandex.ru

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-95-99
УДК: 635.1-02:631.8

В.А. Борисов[2], С.М. Надежкин[1], С.В. Белова[1,2]*

[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] 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:** zonechka-belka@mail.ru

Вклад авторов. В.А. Борисов: концептуализация, разработка методологии исследования, научное руководство исследованием. С.М. Надежкин: концептуализация, разработка методологии исследования, проведение формального анализа, создание рукописи и ее редактирование, научное руководство исследованием. С.В. Белова: разработка методологии исследования, проведение формального анализа, проведение научного исследования, создание черновика рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Борисов В.А., Надежкин С.М., Белова С.В. Влияние удобрений на урожайность и биохимические показатели качества столовых корнеплодов. *Овощи России.* 2025;(3):95-99. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-95-99

Поступила в редакцию: 21.04.2025
Принята к печати: 25.05.2025
Опубликована: 07.07.2025

Влияние удобрений на урожайность и биохимические показатели качества столовых корнеплодов

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Высокие темпы роста и развития российской промышленности, а также увеличение численности населения создают потребность в повышении объёмов сбора овощей, включая морковь и свёклу. В настоящее время для успешного развития овощеводства важно улучшать не только урожайность, но и качество продукции. Для населения требуется экологически чистое и сбалансированное питание, а овощи содержат углеводы, белки, жиры, витамины, ферменты, гормоны, органические кислоты, минералы и другие вещества, а также служат богатым источником природных антиоксидантов. Цель исследования – провести сравнительный анализ влияния применения различных систем удобрения на урожайность корнеплодов и на их биохимические показатели качества.

Материал и методика. На аллювиальной луговой почве в условиях Нечернозёмной зоны России изучалась влияние различных систем применения удобрения на биохимические показатели качества свеклы столовой сорт Мулатка и моркови столовой сорт Лосиноостровская 13. В опыте рассматривалось четыре варианта внесения удобрений: минеральные удобрения, как стандартная общепринятая система применения удобрения для данного региона; органические удобрения (биокомпост); органические удобрения в сочетании с корневыми подкормками макроэлементами (NPK) по итогам растительной и почвенной диагностики питания (растительную и почвенную диагностику минерального питания проводили по методики Церлинг В.В. (1990) и Магницкому К.П. (1972)).

Результаты. В результате проведенных исследований урожайность моркови составила 51,2-63,9 т/га с выходом стандартной продукции 87,4-94,6%, урожайность свёклы столовой 41,7-54,2 т/га, с выходом стандартной продукции 80,7-92,3%. По результатам проведённых биохимических исследований в период уборки урожая установлено, что содержание сухого вещества в корнеплодах моркови находилось в пределах 11,4-12,3%, сахаров 7,26-8,29%, каротина 6,38-8,16 мг%, нитратов 73-172 мг/кг; в корнеплодах свёклы столовой соответственно 13,1-15,0% сухого вещества, 10,12-11,68% сахаров, 112,1-156,2 мг% бетанина, 507-969 мг/кг нитратов. Наиболее высокая урожайность корнеплодов была получена при использовании минеральных удобрений и при использовании их в сочетании с органическими удобрениями. Качество корнеплодов повышалось при использовании органических удобрений в чистом виде и в сочетании с подкормкой минеральными удобрениями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
морковь столовая, свекла столовая, минеральные удобрения, органические удобрения, урожайность, качество, биохимический состав, корнеплоды

Valery A. Borisov[2], Sergei M. Nadezhkin[1], Sofia V. Belova[1,2]*

[1] Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC)
14, Selectsionnaya str., VNIISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072

[2] All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of the FSBSI Federal Scientific Vegetable Center
500, Vereya village, Ramensky urban district, Moscow region, Russia

***Corresponding Author:** zonechka-belka@mail.ru

Authors' Contribution: V.A. Borisov: conceptualisation, development of research methodology, scientific supervision of the research. S.M. Nadezhkin: conceptualisation, development of research methodology, conducting formal analysis, writing – review & editing, scientific supervision of the research. S.V. Belova: development of research methodology, conducting formal analysis, carrying out scientific research, writing – original draft and review & editing.

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

For citation: Borisov V.A., Nadezhkin S.M., Belova S.V. Effect of fertilisers on yield and biochemical quality indicators of table root crops. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):95-99. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-95-99

Received: 21.04.2025
Accepted for publication: 25.05.2025
Published: 07.07.2025

Effect of fertilisers on yield and biochemical quality indicators of table root crops

ABSTRACT

Relevance. High rates of growth and development of Russian industry, as well as population growth, create the need for increased harvesting of vegetables, including carrots and beetroot. Nowadays, for successful development of vegetable production it is important to improve not only yields but also the quality of products. The population requires ecologically clean and balanced nutrition, and vegetables contain carbohydrates, proteins, fats, vitamins, enzymes, hormones, organic acids, minerals and other substances, and also serve as a rich source of natural antioxidants. The aim of the study was to conduct a comparative analysis of the effect of different systems of fertiliser application on the yield of root crops and on their biochemical quality indicators.

Material and Methods. The effect of different systems of fertiliser application on biochemical quality indicators of red beet variety Mulatka and table carrot variety Losinoostrovskaya 13 was studied on alluvial meadow soil in the conditions of the non-Black Earth region of Russia. Four variants of fertiliser application were considered in the experiment: mineral fertilisers as a standard conventional system of fertiliser application for the given region; organic fertilisers (biocompost); organic fertilisers in combination with root feeding with macroelements (NPK) according to the results of plant and soil nutrition diagnostics (plant and soil diagnostics of mineral nutrition was carried out according to the methods of Zerling V.V. (1990) and Magnitsky K.P. (1972)).

Results. As a result of the conducted research carrot yield was 51.2-63.9 tonnes/ha with standard yield 87.4-94.6%, red beet yield 41.7-54.2 tonnes/ha, with standard yield 80.7-92.3%. According to the results of biochemical studies during the harvesting period it was found that the content of dry matter in carrot root crops was within 11.4-12.3%, sugars 7.26-8.22%, carotene 6.38-8.16 mg%, nitrates 73-172 mg/kg; in red beet root crops respectively 13.1-15.0% dry matter, 10.12-11.68% sugars, 112.1-156.2 mg% betanin, 507-969 mg/kg nitrates. The highest yield of root crops was obtained when mineral fertilisers were used and when they were used in combination with organic fertilisers. The quality of root crops increased when organic fertilisers were used in combination with fertilisation with mineral fertilisers.

KEYWORDS:
table carrot, red beet, mineral fertilisers, organic fertilisers, yield, quality, biochemical composition, root crops

Введение

Высокие темпы роста и развития промышленного производства России и связанный с ними рост населения ставят перед сельским хозяйством неотложные задачи увеличения валовых сборов овощей, в том числе и моркови, и столовой свёклы. В настоящее время для развития будущего овощеводства необходимо повышать не только урожайность, но и качество продукции, стоит стремиться к повышению продуктивности культур, которая в свою очередь зависит от множества факторов.

Элементы окружающей среды с трудом поддаются контролю, за исключением защищенного земледелия в теплицах, поэтому необходимо улучшить качество корнеплодов путем внесения удобрений [1].

Повсеместное нарастание экологической и социальной нагрузки на человека требует полноценного его питания, а овощи богаты содержанием углеводов, белков, жиров, витаминов, ферментов, гормонов, органических кислот, минеральных и других веществ, а также выступают как богатейший источник природных антиоксидантов (ферментов, бета-каротина, альфа-токоферола, аскорбиновой кислоты, флавонидов, кумаринов и биологических активных веществ, незаменимых аминокислот и других важных нутриентов, в том числе иммуномодуляторов, а также минеральных элементов) [2]. Природные антиоксиданты нейтрализуют свободные радикалы, канцерогенные вещества, тяжёлые металлы и радионуклиды, способствуют их выведению из организма, что положительно влияет на здоровье и увеличение продолжительности жизни человека [4, 5].

Цель исследования - провести сравнительный анализ влияние различных систем применения удобрений на стандартную урожайность корнеплодов и на их биохимические показатели качества.

Объекты и методы исследования

В ходе опыта возделывались две культуры: свекла столовая сорта Мулатка (Beta vulgaris L.ssp.vulgaris var. conditiva Alef.) и морковь сорта Лосиноостровская 13 (*Daucus carota* L.).

Лабораторно-полевые опыты проводились на опытном участке отдела земледелия и агрохимии ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО (Раменский район Московской обл.). Почвы опытного массива относятся к типу аллювиальных луговых насыщенных почв. Почвы среднесуглинистые, окультуренные, имеют высокий уровень естественного плодородия, влагоёмкие, глубина пахотного слоя ~ 27 см, глубина залегания грунтовых вод более 2 м. Кислотность 6-6,5 единиц pH, содержание гумуса в пахотном слое до 3,2%, общего азота 0,23-0,28%, нитратного азота (май) 1,4-4,1 мг/100 г, подвижного фосфора (по Чирикову) 250-270 мг/кг, калия (по Чирикову) – 100-150 мг/кг. Гидролитическая кислотность низкая (0,7-1,2 мг-экв/100 г), сумма обменных оснований 28-30 мг-экв/100 г, степень насыщенности основаниями 96–98%.

Опыт закладывали согласно «Методике полевого опыта в овощеводстве» под авторством С.С. Литвинова. Агрохимические анализы проводили по ГОСТ: 26213-91; 34789-2021; 26483-85; 26951-86; 26204-91; 26204-91; 26212-2021; 27821 - 2020. Биохимические анализы выполнены по следующим ГОСТ: 28561–90; 8756.13–87; 29270–95; 54058-2010.

Схема опыта

1 Контроль – без удобрений

2 NPK в основное внесение (расчётная доза)

3 Биокомпост в основное внесение (фон)

4 Биокомпост в основное внесение (фон) + подкормка NPK по анализу черешка листа (растительная диагностика питания)

5 Биокомпост в основное внесение (фон) + подкормка NPK по анализу почвы (почвенная диагностика питания)

Расчётные дозы минеральных удобрений составили: для свёклы столовой на получение 50 т/га урожая – N175P75K270, для моркови на 60 т/га урожая – N105K185. Биокомпост применялся в дозе 3 т/га под морковь и 6 т/га под свёклу столовую, что эквивалентно 90-60-60 кг/га д.в. удобрений под морковь и 180-120-120 кг/га д.в. – под свёклу столовую. Однако при этом представляется возможным недостаток питательных веществ, особенно азота, в связи с медленной минерализацией органических компонентов компоста и необходимость применения подкормок легкорастворимыми минеральными удобрениями.

Дозы подкормок были рассчитаны с помощью растительной и почвенной диагностики минерального питания по методикам Церлинг В.В. (1990) и Магницкого К.П. (1972) в фазу начала образования корнеплодов (I декада июля) [6, 7]. Для моркови доза подкормки по почвенной диагностике составила N52K14, по результатам растительной – N17. Для свеклы столовой доза удобрений по почвенной диагностике составила N65K45, а по анализу черешка листа - N54K30 [8].

Результаты и их обсуждение

В опыте достигнута общая урожайность моркови от 51,2 до 63,9 т/га со 87-94% стандартной продукции (табл. 1). Прибавка к контрольному варианту составила от 5 до 25%. При основном внесении расчётной дозы N105K185 прибавка урожайности составила 11,4 т/га (22%), на варианте основного внесения биокомпоста в дозе 3 т/га – 2,6 т/га (5%); дополнительная корневая подкормка дозой N17 по анализу черешка листа обеспечила 8,5 т/га прибавки (17%), а лучший в опыте эффект получен при корневой подкормке по анализу почвы N52K14 на фоне биокомпоста – 12,7 т/га прибавки (25%), при этом достоверного отличия (учитывая НСР05) от варианта с расчётной дозой N105K185 не выявлено.

Установка доз подкормок минеральными удобрениями по результатам питания растений в системе агротехнических мероприятий при выращивании сельскохозяйственных культур позволяет добиться тонкой коррекции процессов роста, развития и формирования хозяйственно-ценной части урожая [8].

По результатам исследований морковь проявляет себя как культура преимущественно минерального типа питания, а именно - наиболее высокая урожайность была получена при использовании минеральных удобрений и при использовании их в сочетании с органическими удобрениями.

Положительное влияние на стандартность корнеплодов моркови оказывали минеральные удобрения и органические в сочетании с

Таблица 1. Урожайность моркови сорт Лосиноостровская 13 при минеральной и органической системах удобрения за три года (2021-2023 годы)
Table 1. Yield of carrots of the Losinoostrovskaya 13 variety with mineral and organic fertilization systems for three years (2021-2023)

Вариант	Урожайность общая, т/га	% от контроля	Урожайность стандартная, т/га	% от контроля	% от общей урожайности
Без удобрений (к.)	51,2	100,0	44,7	100,0	87,4
N105K185 (60 т/га)	62,6	122,4	58,8	131,5	93,9
Биокомпост 3 т/га	53,8	105,1	48,7	108,9	90,6
Б/к + подкормка по анализу листа	59,7	116,6	55,0	123,0	92,2
Б/к + подкормка по анализу почвы	63,9	124,9	60,4	135,1	94,6
$НСР_{05}$	2,2	3,8	3,3	7,4	-

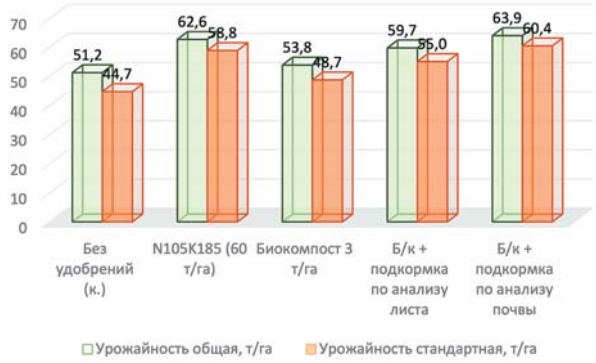


Рис. 1. Общая и стандартная урожайность моркови сорт Лосиноостровская 13
Fig. 1. General and standard yield of carrot variety Losinoostrovskaya 13

ние питательных веществ немногим превышало контрольный вариант. Также это может свидетельствовать о том, что содержание питательных элементов в органическом удобрении недостаточно для нормального роста и развития столовой свеклы, а также о том, что данная система не подходит для эффективного земледелия и следует сочетать разные системы удобрений для полноценного питания культуры.

Стандартность корнеплодов свеклы столовой коррелировала с величиной урожайности, соответственно наилучший вариант был при внесении расчетной дозы минеральных удобрений, а также при подкормке по анализу почвы (составила она 90,9% и 92,3%).

Оптимальное управление внесением удобрений имеет решающее значение не только для урожайности корнеплодов, но и для качества сельскохозяйственных культур. Поступление основных элементов (азота N, фосфора P и калия K) напрямую влияет на качество растений [9].

Таблица 2. Урожайность свёклы столовой сорт Мулатка при минеральной и органической системах удобрения за три года (2021-2023 годы)
Table 2. Yield of table beet variety Mulatka with mineral and organic fertilization systems for three years (2021-2023)

Вариант	Урожайность общая, т/га	% от контроля	Урожайность стандартная, т/га	% от контроля	% от общей урожайности
Без удобрений (к.)	41,7	100,0	33,7	100,0	80,7
N175P75K270 (50 т/га)	52,7	126,3	47,9	142,1	90,9
Биокомпост 6 т/га	46,8	112,2	41,9	124,3	89,7
Б/к + подкормка по анализу листа	51,6	123,7	46,0	136,5	89,2
Б/к + подкормка по анализу почвы	54,2	130,0	50,0	148,4	92,3
$НСР_{05}$	1,9	3,9	2,3	6,8	-

минеральными при дробном внесении. Наибольший процент стандартности продукции от общей получен на варианте с подкормкой по почвенной диагностике – 94,6%.

Общая урожайность свёклы столовой составила 41,7-54,2 т/га со стандартной продукцией 81-92% (табл. 2). Прибавка к контрольному варианту составила от 5,1 до 12,5 т/га (12-30%). Основное применение расчётной дозы N175P75K270 позволило получить 52,7 т/га стандартной продукции, в т.ч. 42,6 т/га отборной (5-10 см в диаметре).

Применение подкормки по анализу листа N54K30 и анализу почвы N65K45 в фазу начала образования корнеплодов благоприятно отразилось на развитии растений свёклы, общая урожайность составила 51,6 и 54,2 т/га, стандартная 46,0 и 50,0 т/га, в т.ч. отборная 38,2 и 40,9 т/га.

Свекла столовая проявила себя в опыте как культура отзывчивая, как к минеральному, так и к органическому питанию. Прибавки урожая, по сравнению с контролем, в процентном отношении были более высокие, чем у моркови. Можно отметить, что такие элементы питания, как азот и калий имеют весомое влияние на повышение урожайности свеклы столовой. При внесении подкормки этими элементами на фоне биокомпоста урожайность возрастает на 23,7-30,0%.

Внесение биокомпоста в дозе 6 т/га дало минимальную прибавку урожайности, сказалась нехватка питательных веществ в почве, что подтверждается данными анализа почвы и черешков листьев, где содержа-

Рис. 2. Общая и стандартная урожайность свеклы столовой сорт Мулатка
Fig. 2. General and standard yield of table beet variety Mulatka

Наблюдая за биохимическими процессами и тем как накапливаются органические соединения в растениях, можно проанализировать их обеспеченность питательными веществами, и не просто определить количественное содержание неорганического соединения или отдельного элемента, требующегося для процессов жизнедеятельности растения, а увидеть точную потребность по завершению метаболического процесса.

По результатам проведённых биохимических исследований в период уборки урожая установлено, что содержание сухого вещества в корнеплодах моркови находилось в пределах 11,4-12,3%, сахаров 7,26-8,29%, каротина 6,38-8,16 мг%, нитратов 73-172 мг/кг; в корнеплодах свёклы столовой соответственно 13,1-15,0% сухого вещества, 10,12-11,68% сахаров, 112,1-156,2 мг% бетанина, 507-969 мг/кг нитратов (табл. 3).

Содержание сухого вещества и сахаров. Общее содержание сухого вещества является одним из основных биохимических показателей качества овощной продукции. Эта величина отражает суммарное содержание клетчатки, углеводов, минеральных солей, азотистых соединений. Уровень содержания сухих веществ в корнеплодах является комплексным показателем, характеризующим степень их вызревания и лежкоспособности. Наряду с общим содержанием сухих веществ содержание сахаров является важным биохимическим показателем, определяющим органолептические свойства овощной продукции, ее технологические свойства и лежкоспособность. Как и на содержание сухих веществ на эту величину оказывает влияние комплекс факторов, среди которых не последнее место занимает система удобрений.

Обнаружена тенденция корреляционной зависимости между накоплением сухого вещества и сахаров в корнеплодах.

Анализируя результаты проведенного опыта, можно отметить, что на содержание в корнеплодах сухого вещества и сахаров заметное положительное влияние оказывают органические удобрения, как в отдельном применении, так и в сочетании с минеральными подкормками по результатам диагностики питания [10].

На вариантах с внесением биокомпоста содержание сухого вещества моркови составило 12%, а свеклы 12,9%. При внесении подкормок

Таблица 3. Влияние удобрений на биохимические показатели качества столовых корнеплодов (2021-2023 годы)
Table 3. Effect of fertilizers on biochemical quality indicators of table root crops (2021-2023)

Вариант	Сухое вещество, %	Сахара, %			Витамины*, мг%	NO_3^-, мг/кг
		моно-	ди-	∑		
Морковь, сорт Лосиноостровская 13						
Без удобрений (к.)	11,4	1,64	5,62	7,26	6,38	73
$N_{105}K_{185}$ (60 т/га)	11,6	1,42	6,67	8,09	8,16	172
Биокомпост 3 т/га	12,0	2,24	5,62	7,86	6,12	79
Б/к + подкормка по анализу листа	12,3	1,92	6,35	8,27	7,48	111
Б/к + подкормка по анализу почвы	12,1	1,88	6,41	8,29	7,26	127
$НСР_{05}$	0,4	0,62	1,23	2,41	0,12	14,8
Свёкла столовая, сорт Мулатка						
Без удобрений (к.)	13,1	0,21	10,03	10,24	112,1	507
$N_{175}P_{75}K_{270}$ (50 т/га)	12,1	0,20	9,92	10,12	156,2	969
Биокомпост 3 т/га	15,0	0,25	11,43	11,68	130,3	652
Б/к + подкормка по анализу листа	13,8	0,23	11,03	11,26	149,7	808
Б/к + подкормка по анализу почвы	13,5	0,21	10,91	11,12	142,8	768
$НСР_{05}$	1,5	0,11	1,80	1,85	1,2	19,4

**В моркови каротиноиды, в свёкле столовой бетанин*

по анализам листа и почвы его содержание возросло, в сравнении с контролем, в моркови на 7,9% (лист) – 6,1% (почва), а в свекле на 5,3% (лист) – 3,0% (почва).

На вариантах с внесением биокомпоста содержание суммы сахаров в моркови составила 8,0%, в свёкле 11,7%. При внесении подкормок по анализам листа и почвы, их содержание возросло по сравнению с контролем, в моркови на 13,2% (лист) – 12,1% (почва), а в свёкле на 10,0% (лист) – 8,6% (почва) [11].

Наибольшее содержание сахаров в свёкле столовой зафиксировано на чисто органической системе удобрения, однако, такая повышенная сахаристость может свидетельствовать о недостаточном питании этой культуры, при котором наступает более ускоренное вызревание в ущерб урожайности, и сопровождается повышенным содержанием сахаров [12].

Только минеральное питание улучшало либо незначительно, либо ухудшало качественные показатели продукции. В моркови содержание сухого вещества на этом варианте было выше контроля всего на всего на 1,8%, а в свёкле – на 7,6% ниже. Содержание суммы сахаров, по сравнению с контролем, в моркови было выше на 8,5%, а в свёкле – ниже на 1,2%.

Ещё одним существенным показателем, характеризующим качество корнеплодов, степень их вызревания, является соотношение между дисахарами и моносахарами, полимерных и мономерных форм сахаров. По мере вызревания идёт образование сложных форм сахаров, служащих естественными антисептиками в период хранения, а также источником энергии для дифференциации и прорастания верхушечной почки. В молодых корнеплодах содержится значительно меньше сахаров, чем в зрелых, и представлены они в мономерной форме, поэтому отношение в них количества сахарозы к содержанию моносахаридов обычно находится на очень низком уровне. Обычно раннеспелые корнеплоды характеризуются более низким содержанием сахара [8]. В процессе роста и развития общее содержание сахаров в корнеплодах увеличивается, при этом происходит значительное усиление биосинтетических реакций, связанных с синтезом сахарозы, в результате чего отношение сахарозы к моносахарам постоянно увеличивается. По всем вариантам нашего опыта с морковью и свёклой этот показатель превышал 1, что свидетельствует о достаточной степени вызревания корнеплодов. Наибольшая величина этого соотношения у моркови была на варианте с внесением расчётной дозы минеральных удобрений, а у свёклы столовой при внесении органических удобрений.

Каротин в корнеплодах моркови. Особенностью обмена веществ моркови является накопление большого количества каротиноидов, которые определяют качество и питательные свойства моркови. По своему строению они представляют собой ненасыщенные углеводороды терпенового ряда. Их физиологическая роль связана скорее всего с защитой молекул хлорофилла от разрушительного воздействия сине-фиолетовых лучей спектра и использование их энергии в процессе фотосинтеза [13].

По накоплению каротиноидов в продукции воздействие органических и органоминеральных удобрений уступало минеральным. При использовании азотнокалийных удобрений содержание каротиноидов было на 28% выше, чем на контроле, а при внесении биокомпоста уменьшалось на 4%. Минеральная подкормка по результатам листовой и почвенной диагностики на фоне биокомпоста давала увеличение содержания каротиноидов на 17% (лист) и 14% (почва). Chevalier W. et al. (2022) также описывают в своем опыте положительное влияние внесения подкормок на накопление каротиноидов, однако на фоне фосфорно-калийных минеральных удобрений, а не органических [14]. По данным Marco E. Mng'ong'o et al полученных в 2024 году для повышения содержания каротиноидов внесение азотных удобрений имеет решающее значение [15]. Такая же закономерность есть и в работах Razzaq M. et al. (2017) [16].

Бетанин в корнеплодах свёклы столовой. Бетанины – это растительные пигменты, которые являются поглотителями свободных радикалов. Они предотвращают активное кислородно-индуцированное и опосредованное свободными радикалами окисление биологических молекул.

Существует корреляционная зависимость между синтезом бетанинов и содержанием в почве ионов аммония и нитрат-ионов [17]. Наибольшее содержание бетанина наблюдалось в корнеплодах свёклы при использовании минеральной системы удобрения. Использование подкормок также положительно повлияло на накопление бетанинов. Зарубежные авторы описывают случае накопления бетацианинов в корнеплодах свеклы при длительном азотном питании и регулярном внесении подкормок [18].

Содержание нитратов. Одним из биохимических показателей качества овощной продукции, определяемых системой удобрения, является содержание нитратов. Этот показатель определяет пригодность овощной продукции для детского и диетического питания [11].

Наибольшее количество нитратов как в моркови, так и в свёкле, наблюдалось при применении минеральной системы удобрения; наименьшее – при органической. Столовая свёкла, в силу своих биологических особенностей, отличается повышенной способностью накапливать нитраты. В варианте с расчётной дозой минеральных удобрений содержание в ней нитратов составило 969 мг/кг, в моркови -172 мг/кг; в варианте с биокомпостом - 652 мг/кг в свёкле, 79 мг/кг – в моркови. Подкормки минеральными удобрениями на фоне органических, несколько увеличивали содержание нитратов в продукции. Однако превышения ПДК по нитратам (1400 мг/кг для свёклы, 250 мг/кг для моркови) ни в одном из вариантов опыта не наблюдалось.

Заключение

Урожайность моркови составила 51,2-63,9 т/га с выходом стандартной продукции 87,4-94,6%, урожайность свёклы столовой 41,7-54,2 т/га, с выходом стандартной продукции 80,7-92,3%. Минимальная урожайность получена на контроле, а также при основном внесении биокомпоста. Подкормки по результатам почвенной диагностики питания позволили повысить урожайность до 24,9% у моркови (N52K14) и до 30% у свёклы (N65K45) в сравнении с вариантом биокомпост в основное внесение. Подкормка по анализу черешков листьев также обеспечила улучшение питательного режима почвы и растений, что дало прибавку урожая моркови 16,6%, свёклы 23,7% к фону с внесением биокомпоста.

По результатам проведённых биохимических исследований в период уборки урожая установлено, что содержание сухого вещества в корнеплодах моркови находилось в пределах 11,4-12,3%, сахаров 7,26-8,2%, каротина 6,38-8,16 мг%, нитратов 73-172 мг/кг; в корнеплодах свёклы столовой соответственно 13,1 – 15,0% сухого вещества, 10,12-11,68% сахаров, 112,1-156,2 мг% бетанина, 507-969 мг/кг нитратов.

Установлено, что применение биокомпоста (органическая система удобрения) повышало содержание сухого вещества на 3,4 и 5,3%, сахаров на 1,8 и 15,4%, соответственно, в моркови и в свёкле столовой. При применении минеральной системы удобрения (расчётная доза NPK) возрастало содержание каротиноидов в моркови на 27,9%, и бетанина в свёкле столовой на 39,3%.

Внесение подкормок по диагностике питания в целом незначительно сказалось на биохимии корнеплодов; можно выделить тенденцию к повышению сухого вещества, сахаров, витаминов и нитратов. Однако почвенная и растительная диагностика питания растений позволяет установить способность изучаемых культур усваивать питательные вещества из почвы и корректировать дозы минеральных удобрений в качестве подкормок. Исходя из этого достигается эффективное и экологически безопасное использование минеральных удобрений, так как не вносятся большие дозы основного удобрения, которые не всегда полностью используются растениями за весь период вегетации.

● Литература

1. Jie L. et al. Effect of potassium fertilization during fruit development on tomato quality, potassium uptake, water and potassium use efficiency under deficit irrigation regime. *Agricultural Water Management.* 2021;(250). https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106831
2. Литвинов С.С. Научные основы современного овощеводства. РАСХН - ВНИИО, 2008. 776 с.
3. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: РАСХН – ВНИИО, 2011. 650 с.
4. Zhou R. et al. Environmental changes impact on vegetables physiology and nutrition – Gaps between vegetable and cereal crops. *Science of The Total Environment.* 2024;(933). https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173180
5. Armel L. et al. Urban effects on the adoption of soil conservation practices in urban and peri-urban vegetable production of Yaoundé, Cameroon. *Scientific African.* 2024;(26). https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02342
6. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: Справочник. М.: Агропромиздат, 1990. 235 с.
7. Магницкий К.П. Диагностика потребности растений в удобрениях. М., «Московский рабочий», 1972, 272 с.
8. Борисов В.А., Система удобрения овощных культур. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 392 с.
9. Maatallah S. et al. Yield and biochemical fruit quality of irrigated peach cultivars subjected to conventional farmer's fertilization practices in warm production area. *Journal of Food Composition and Analysis.* 2024;(129). https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106121
10. Nookaraju A., Upadhyaya C.P., Pandey S.K., Young K.E., Hong S.J., Park S.K., Park S.W. Molecular approaches for enhancing sweetness in fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae,* 2010;127(1):1-15. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.014
11. Борисов В.А., Янченко Е.В., Успенская О.Н. Влияние удобрений на сохраняемость овощей и изменение их качества в процессе хранения. Агрохимия. 2022;(12):7-13. https://doi.org/10.31857/S0002188122120043 https://www.elibrary.ru/amjcrv
12. Борисов В.А., Романова А.В., Масловский С.А., Андрианов С.А. и др. Технология возделывания и хранения новых сортов и гибридов овощных культур (Рекомендации). М., 2004. 45 с.
13. Amorim D.S., Amorim I.S., Chisté R.C., Filho J.T., Fernandes F.A.N., Godoy H.T. Effects of cold plasma on chlorophylls, carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International.* 2023;(167):112593. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112593
14. Chevalier W. et al., Evaluation of pedoclimatic factors and cultural practices effects on carotenoid and sugar content in carrot root. *European Journal of Agronomy.* 2022;(140). https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126577
15. Marco E. Mng'ong'o, Selly D. Msungu, Golden harvest: Nitrogen's impact on maize carotenoids. *Food and Humanity.* 2024;(3). https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100371
16. Razzaq M., Akram N.A., Ashraf M., Naz H., Al-Qurainy F., Interactive effect of drought and nitrogen on growth, some key physiological attributes and oxidative defense system in carrot (*Daucus carota* L.) plants. *Scientia Horticulturae.* 2017;(225):373-379. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.055
17. Atanas Pavlov, Vasil Georgiev, Mladenka Ilieva. Betalain biosynthesis by red beet (*Beta vulgaris* L.) hairy root culture. *Process Biochemistry.* 2005;(40):1531–1533. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.01.001
18. Salachas G. et al. Enhancing bioactive compounds accumulation in red beet (*Beta vulgaris* L.) plants by managing N nutrition. The identification of the 'critical' zone as a cultivation technique. *Plant Physiology and Biochemistry.* 2022;(188):21-30. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.08.003

● References

2. Litvinov S.S. Scientific bases of modern vegetable growing. RASKHN - VNIIO, 2008. 776 p. (in Russ.)
3. Litvinov S.S. Methodology of field experiment in vegetable growing. M.: RASKHN - VNIIO, 2011. 650 p. (in Russ.)
7. Magnitsky K.P. Diagnostics of plant needs in fertilisers. Moscow, «Moskovsky Rabochiy», 1972. 272 p. (in Russ.)
8. Borisov V.A., System of fertilisation of vegetable crops. Moscow: FGBNU «Rosinformagroteh», 2016. 392 p. (in Russ.)
11. Borisov V.A., Yanchenko E.V., Uspenskaya O.N. Effect of fertilizers on the preservation of vegetables and changes in their quality during storage. *Agrohimia.* 2022;(12):7-13. (in Russ.) https://doi.org/10.31857/S0002188122120043 https://www.elibrary.ru/amjcrv
12. Borisov V.A., Romanova A.V., Maslovsky S.A., Andrianov S.A. et al. Technology of cultivation and storage of new varieties and hybrids of vegetable crops (Recommendations). M., 2004. 45 p. (in Russ.)

Об авторе:

Валерий Александрович Борисов – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник сектора агрохимии, SPIN-код: 1527-5452, https://orcid.org/0000-0001-8538-8953, Researcher ID: J-4718-2018, Scopus ID: 57213419483

Сергей Михайлович Надежкин – доктор биологических наук, заведующий лабораторно-аналитическим центром, nadegs@yandex.ru, SPIN-код: 1564-1159, http://orcid.org/0000-0001-5786-3454, Researcher ID: U-4126-2018, Scopus ID: 57193556462

Софья Викторовна Белова – аспирант, младший научный сотрудник, zonechka-belka@mail.ru, SPIN-код: 4808-9461, https://orcid.org/0000-0001-9338-8419, ResearcherID: MSZ-6272-2025

About the Authors:

Valery A. Borisov – Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher of the Agrochemistry Sector, valeri.borisov.39@mail.ru SPIN-code: 1527-5452, https://orcid.org/0000-0001-8538-8953, Researcher ID: J-4718-2018, Scopus ID: 57213419483

Sergei M. Nadezhkin – Dr. Sci. (Biology), Head of Laboratory Analytical Centre FSBSI, nadegs@yandex.ru, SPIN-code: 1564-1159, http://orcid.org/0000-0001-5786-3454, Researcher ID: U-4126-2018, Scopus ID: 57193556462

Sofia V. Belova – PhD student, zonechka-belka@mail.ru, SPIN-code: 4808-9461, https://orcid.org/0000-0001-9338-8419, ResearcherID: MSZ-6272-2025

Обзор / Review

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-100-105
УДК: 634.1/.7:634.1.037:631.674.6

Применение капельного орошения при выращивании плодовых и ягодных культур в питомнике

Н.Н. Дубенок,
А.В. Гемонов,
А.М. Селиверстов*

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
127434, Российская Федерация,
Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

***Corresponding Author:** seliverstovantonm@yandex.ru

Вклад авторов: Дубенок Н. Н.: концептуализация, руководство исследованием, администрирование проекта. Гемонов А. В.: методология, руководство исследованием, создание рукописи и ее редактирование. Селиверстов А. М.: проведение исследования, формальный анализ, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Селиверстов А.М. Применение капельного орошения при выращивании плодовых и ягодных культур в питомнике. *Овощи России.* 2025;(3):100-105. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-100-105

Поступила в редакцию: 23.10.2024
Принята к печати: 28.02.2025
Опубликована: 07.07.2025

РЕЗЮМЕ

В последние годы активно проводились исследования по использованию капельного орошения при выращивании плодовых и ягодных культур. Известно, что капельное орошение способствует экономии поливной воды, а также созданию оптимального водно-воздушного режима почвы в течение всего вегетационного периода, что позволяет увеличить урожайность сельскохозяйственных угодий. Благодаря техническим особенностям капельной системы, данный способ орошения можно применять для выращивания самых разных культур, с высокой степенью точности настраивая ее под физиологические потребности растений в зависимости от природно-климатических условий территории. Капельное орошение обеспечивает подачу воды непосредственно к корневой системе растения, таким образом вода не задерживается на листьях, что значительно снижает вероятность возникновения болезней, создает благоприятный микроклимат в приземном слое, не происходит переуплотнения почвы, что улучшает ее аэрацию и развитие корневой системы орошаемых культур, а также способствует уменьшению расхода воды. Кроме того, через систему капельного орошения можно подавать водорастворимые удобрения, питательные вещества и микроэлементы, необходимые для роста и развития растений, что делает систему универсальной для применения в сельском хозяйстве. В статье приведен анализ и обобщение результатов проведенных некоторых исследований и работ по использованию капельного орошения в садах и питомниках, для выращивания плодовых и ягодных культур. Результаты рассмотренных работ и исследований показывают, насколько современные системы капельного орошения эффективны, как данные системы отличаются от других способов орошения, какие имеются недостатки, а также по каким показателям превосходят их.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

капельное орошение, выращивание в питомнике, урожайность, увлажнение почвы

The use of drip irrigation in the cultivation of fruit and berry crops in the nursery

Nikolay N. Dubenok,
Alexander V. Gemonov,
Anton M. Seliverstov*

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
49 Timiryazevskaya str., Moscow,
127434, Russian Federation

***Corresponding Author:** seliverstovantonm@yandex.ru

Authors' Contribution: Dubenok N. N.: conceptualization, research management, project administration. A. V. Gemonov: methodology, research management, manuscript creation and editing. Seliverstov A.M.: conducting research, formal analysis, manuscript creation and editing.

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

For citation: Ivanova M.I., Polyakov A.V., Kashleva A.I. Genetic resources of some representatives of the genus *Allium* L. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(3):100-105. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-3-100-105

Received: 23.10.2024
Accepted for publication: 28.02.2025
Published: 07.07.2025

ABSTRACT

In recent years, research has been actively conducted on the use of drip irrigation in the cultivation of fruit and berry crops. It is known that drip irrigation helps to save irrigation water, as well as to create an optimal water-air regime of the soil throughout the growing season, which allows increasing the yield of agricultural land. Due to the technical features of the drip system, this irrigation method can be used for growing a wide variety of crops, adjusting it to the physiological needs of plants with a high degree of accuracy, depending on the natural and climatic conditions of the territory. Drip irrigation provides water supply directly to the root system of the plant, so water does not linger on the leaves, which significantly reduces the likelihood of diseases, creates a favorable microclimate in the surface layer, there is no over-compaction of the soil, which improves its aeration and the development of the root system of irrigated crops, and also helps to reduce water consumption. In addition, water-soluble fertilizers, nutrients and trace elements necessary for plant growth and development can be supplied through the drip irrigation system, which makes the system universal for use in agriculture. The article provides an analysis and generalization of the results of some studies and works on the use of drip irrigation in gardens and nurseries, for the cultivation of fruit and berry crops. The results of the considered works and studies show how effective modern drip irrigation systems are, how these systems differ from other irrigation methods, what disadvantages there are, and also by what indicators they are superior.

KEYWORDS:

drip irrigation, nursery cultivation, yield, soil moisture

Введение

Капельное орошение является одним из ведущих методов орошения в современном сельском хозяйстве. Первые упоминания о данном способе полива относятся к середине 20 века, однако совершенствование техники, технологии и методики полива ведется и по сей день, как за рубежом, так и на территории Российской Федерации. Капельное орошение обеспечивает подачу воды, либо растворенных в воде питательных веществ непосредственно к корневой системе растения, не попадая на листья, что значительно снижает вероятность возникновения болезней, создает благоприятный микроклимат в приземном слое, не происходит переуплотнения почвы, что улучшает ее аэрацию и развитие корневой системы орошаемых культур, а также способствует уменьшению расхода воды 1.4-4.7 раза [1] и значительному увеличению эффективности полива. Благодаря точечному орошению, не затрагивающему междурядья, ухудшаются условия для роста и развития сорных растений, что сокращает затраты по уходу, количество и объем проведения агротехнических приемов, а также улучшает условия произрастания выращиваемых культур. Современные системы капельного полива обладают достаточной мобильностью и могут быть перемещены на смежные территории, схожие по характеру рельефа и схемам посадки растений, что повышает универсальность применения данного способа орошения. Еще одним важным преимуществом системы капельного орошения является возможность автоматизации либо дистанционного управления, сокращающим не только затраты на операторов и обслуживающий персонал, но и позволяющим производить орошение по заранее заданному алгоритму с учетом изменения погодных условий. Не маловажным является и то, что система капельного орошения может применяться на территориях со сложным или неоднородным рельефом, что позволяет применять данный вид орошения на землях, которые из-за особенностей своей топографии были не пригодны для классических методов орошения.

Материал и методы

Капельное орошение, более чем за полувековую историю своего существования, зарекомендовало себя как экономичный и высокоэффективный способ орошения различных сельскохозяйственных культур, от овощных до ягодных кустарниковых и плодовых древесных растений. Существует несколько основных типов капельных систем: ленточная (лабиринтная, эмиттерная) и трубочная, которая может дифференцироваться: по типу капельниц, толщине трубок, расходу воды, рабочему давлению, диаметру, а также расстоянию между капельницами.

Результаты и обсуждения

Исследования влияния капельного орошения на саженцы плодовых и ягодных культур имеют обширнейшую географию, выявляя влияние климатических, эдафических и орографических факторов на функционирование, эксплуатацию и режим орошения исследуемых культур.

Многочисленные исследования по применению капельного орошения при выращивании саженцев плодовых и ягодных культур в питомниках демонстрируют его перспективность в условиях недостаточной водообеспеченности или засушливого климата [2;3;4;5;6;7]. В исследованиях С.В. Рябкова [8;9] показано влияние капельного орошения на почвы под многолетними насаждениями яблони в условиях степи. Для увлажнения почвы использовалась вода с растворенными органическими, органоминеральными, либо минеральными удобрениями. Влажность почв в слое 0-60 см поддерживалась на уровне 75-80% НВ. Результаты исследования показали, что капельное орошение в зоне увлажнения не способствует критическому переуплотнению и нарушению аэрации почв, а только поддерживает водный и питательный режимы почвы на оптимальном уровне. В почвах под многолетними насаждениями, за пределами зоны воздействия капельного орошения наблюдается переуплотнение и затвердевание верхнего слоя почвы. Такие процессы наблюдаются в междурядьях, которые на протяжении роста и развития сада находились под постоянным негативным воздействием средств механизации, при помощи которых производилась агротехнический уход за саженцами. Высокие показатели плотности почвы наблюдаются исключительно в междурядьях и свидетельствуют о негативном влиянии агротехнических приемов, влиянии капельного орошения на переуплотнение почвы несущественно и не влияет на рост и развитие саженцев.

Вопросы развития корневой системы яблоневого сада под капельным орошением были раскрыты в исследованиях В.И. Кременского [10;11;12]. Исследование корневой системы проводилось методом «Монолита», схема опытов включала в себя 5 вариантов внутрипочвенного увлажнения и 1 вариант капельного орошения. Локальные способы полива, такие как, капельный и внутрипочвенный позволяют непрерывно поддерживать оптимальный режим увлажнения растений в корнеобитаемом слое почвы, что положительно сказывается на росте и развитии корневой системы исследуемых саженцев. При увеличении объема увлажнения в зоне питания, длина и масса корневой системы, увеличиваются. Плотность корней в почве распределяется неравномерно, она тем выше, чем ближе к источнику увлажнения. В результате опыта, при капельном орошении, почвенный горизонт (0,0…0,6 м) более всего насыщен корнями, при внутрипочвенном поливе, основная часть корневой системы располагается в слое почвы 0,2…0,8 м.

Изучение капельного орошения, как разновидность внутрипочвенного проводил Т.З. Шонтуков [13;14]. В его работе приведены преимущества капельной системы орошения, такие как: более ранее созревание орошаемых культур; более лучшая аэрация корнеобитаемого слоя почвы; предотвращение выщелачивания, предотвращение водной эрозии, засоления почвы; отсутствие механического воздействия на надпочвенную часть растений (предотвращение ожогов листа, грибковых заболеваний и т.п.). Принципом такой системы является постоянное снабжение растений водой и необходимыми микроэлементами, растворенными в воде, в оптимальном количестве, исходя из физиологических потребностей растений. Неоспоримым преимуществом системы капельного орошения является возможность значительной степени ее автоматизации, а благодаря конструкции, потери воды от испарения и фильтрации снижаются до минимума. Такие системы следует использовать в районах с ограниченными водными ресурсами, где встречается острая нехватка оросительной воды. Таким образом, исходя из результатов исследования, система капельного орошения повышает эффективность поливов, сокращает время полива, повышает экономию воды и удобрений, сокращает частоту проведения агротехнических приемов.

В исследовании Н.Н. Дубенка [15;16] по влиянию капельного орошения на формирование саженцев малины, был

заложен двухфакторный опыт, который заключался в изучении влияния различных режимов увлажнения на развитие двух сортов малины. Первым фактором выступали режимы увлажнения (1. Контроль (без орошения); 2. 80% НВ; 3. 70% НВ; 4. 60% НВ), в качестве второго фактора выступали сорта малины («Солнышко» и «Награда»). Саженцы были посажены по схеме 1х0,6 м. Из-за поверхностного расположения корневой системы малины, она очень требовательна к режиму увлажнения, при избытке влаги наблюдается угнетение растений в связи с нехваткой кислорода. При дефиците влаги, малина испытывает угнетение, в связи с высоким уровнем транспирации. В ходе исследования был установлен оптимальный режим влажности почвы, исходя из биометрических показателей растений и характеристики почвенных условий. Растения, которые получали увлажнение постоянно, имели более развитую корневую систему, по сравнению с теми, которые не подвергались орошению. На участках, где проводился полив, корневая система располагалась в пахотном слое почвы (5-15 см), в вариантах без орошения она распространялась в нижележащие слои почвы.

По мнению Н.Н. Водчица, [17] даже кратковременные засушливые периоды способствуют ухудшению влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. За счет капельного орошения можно исключить такие периоды, так как влага, при использовании капельной системы, может поступать в почву непрерывно и дозировано. В современных садах все чаще используют капельную систему орошения, позволяющую своевременно и без потерь доставлять воду к растениям, что повышает урожайность хозяйств за счет исключения влияния неблагоприятных периодов на рост и развитие растений. В работе рассматривается капельная система орошения с поверхностным водораспределением. Методика заключается в малоинтенсивной подаче воды непосредственно в прикорневую зону растений. Сад был разбит по схеме 4х1,5 м., режим орошения рассчитан с условием методических документов и рекомендаций, при 95% обеспеченности дефицита водопотребления. Использование капельной ленты вместо оросительных капельниц позволило снизить экономические затраты на установку подобной системы, тем самым сделав продукцию более доступной потребителю.

Исследование Е.Н. Луневой [18;19] направлено на выявление особенностей капельного орошения древесных культур от полива овощных. Поскольку сады являются многолетними насаждениями, то уход за участками отличается от ухода за овощными культурами, которые можно обрабатывать с высокой степенью механизации. Также для древесных растений характерно ассиметричное распространение корневой системы в почве, на ее расположение в почве оказывают влияние способы, объемы и режимы орошения. Зная зависимость влияния контуров увлажнения почвы на геометрические параметры корневой системы растений, процесс планирования и реализации систем орошения, может быть упрощен и оптимизирован.

В целях водосбережения оросительной воды И. Ж. Худайев [20;21] в своем исследовании использовал систему капельного орошения для расчета оптимального режима увлажнения в интенсивных садах Бухарской области Узбекистана. Полученных в ходе опыта результаты показывают, что капельное орошение имеет существенное преимущество по сравнению с остальными способами полива в условиях ограниченных водных ресурсов. Капельный способ полива сократил затраты поливной воды на орошаемых территориях до 40%, что является существенным показателем. Также расход удобрений, растворяемых в воде сократился на 50%, что оказывает огромную экономическую эффективность на ведение хозяйства. Наименьшая влагоемкость на опытном участке составила 19,5% в слое 0-50 см. В ходе эксперимента было выявлено, что рекомендованная влажность почвы для оптимального произрастания растений на участке составляет 60-80% НВ. Рассмотренный способ капельного орошения даёт возможность поддержания пахотного слоя почвы в более рыхлом состоянии и существенно сокращает потерю воды на фильтрацию и сбросы воды на орошаемом участке.

В условиях Сибирского региона, А.В. Шишкин [22;23] изучал распределение влаги в почве при капельном поливе жимолости и облепихи. Схема опыта имела вид 0,7х0,3 м. Варианты опыта включали в себя участки с орошением, при поливной норме 70% НВ, и контрольную группу – без орошения. После посадки растений, в период вегетации, были проведены поливы при помощи системы капельного орошения, в объемах, зависящих от снижения запасов влаги в почве. Наблюдения показали, что на вариантах с орошением влагозапас почвы оказался выше, чем на контрольных участках, в междурядьях также наблюдалась снижение влажности почвы, по сравнению с орошаемыми участками. В итоге, поддержание оптимального водного режима для саженцев жимолости и облепихи, может быть обеспечено капельным способом орошения, что позволит достичь более высоких показателей в росте и развитии растений. Данный способ орошения является перспективным и требует дальнейшего изучения и внедрения в различных природно-климатических условиях, а также для перспективных садовых, ягодных и плодовых культур.

В.В. Бородычев [24;25] рассматривал режимы капельного орошения и их влияние на продуктивность яблоневого сада в условиях Волгоградской области. Был заложен эксперимент, целью которого было решение задачи по оптимизации водопотребления яблоневого сада интенсивного типа. Вместе с водой, по системе капельного орошения, к растениям подавались полностью растворимые в воде минеральные удобрения. Схема посадки саженцев яблони имела вид 3,5х0,7м., двухфакторный опыт включал в себя: первый фактор - уровень предполивной влажности (70% НВ; 80% НВ; 90% НВ), вторым фактором выступал горизонт промачивания почвы (0,4 м.; 0,6 м.; 0,8 м.). Исследование развития корневой системы саженцев производилось методом монолита. Результаты опыта показали, что режимы увлажнения оказывают значительное влияние на водопотребление саженцев яблони. Наибольший прирост побегов, а также увеличение урожайности были получены при поддержании предполивных порогов влажности на глубине 0,6 м, чему способствует капельная система орошения, которая увлажняет почву точечно под саженцами.

Особенности влияния капельного орошения на саженцы жимолости, при доращивании показала в своем исследовании М.А. Рыжова [26;27]. Она изучала этот вопрос в засушливых условиях лесостепи Западной Сибири. Опыт включал в себя посадку саженцев жимолости по схеме 0,7х0,2 м., а также варианты опыта в зависимости от количества поступаемой в почву влаги, при помощи капельной оросительной системы (без орошения – контроль; 60-70% НВ; 60-80% НВ; 70-82% НВ). Сорт жимолости – «Берель», опыт заложен в трехкратной повторности. Измерения и математическая

обработка результатов проводились по рекомендационным материалам Б.А. Доспехова. По результатам исследований, выявлено, что на контрольном варианте опыта влажность почвы была минимальной и находилась в интервале от 56% до 66%. Однако, даже этого количества внутрипочвенной влаги было достаточно для нормальной жизни и развития саженцев жимолости. Сравнительный анализ качественных показателей исследуемых растений показал, что оптимальная влажность почвы на участке, для наилучшего развития жимолости данного сорта, составила 60-70% и 60-80% от наименьшей влагоемкости. Наибольший прирост надземной части растений как в высоту, так и увеличение количества новых побегов, а также увеличение объема корневой системы, наблюдались при норме орошения 60-80% от НВ. Таким образом, можно прийти к выводу, что саженцы жимолости целесообразно выращивать при использовании капельного способа полива. Более высокие биометрические показатели саженцев жимолости наблюдаются при увлажнении почвы на 60-70% и 60-80% от НВ.

Водопотребление жимолости может рассматриваться как показатель продуктивности растений. Исследование этого вопроса Г.А. Зайцева [28] проводила в Центрально-Черноземной зоне, в Тамбовской области, климатические условия которой считаются благоприятными для возделывания саженцев жимолости. В опыте использовалось три сорта жимолости, раннего срока созревания. Обеспеченность растений почвенной влагой оценивалось по сопоставлению запасов продуктивной влаги с оценкой состояния саженцев. В ходе исследования было выявлено, что количество почвенной влаги напрямую влияет на рост и развитие саженцев жимолости, а также влияние влажности почвы на отдельные части растения и физиологические процессы в различные вегетационные периоды. Установлено, что запасы влаги в почве непосредственно влияют на урожайность растений.

Заключение

Обобщая информацию из уже проведенных опытов и исследований, можно сделать следующие выводы о капельном способе орошения почвы:

- Капельное орошение оказывает положительное влияние на орошаемые растения;
- Особенности данного способа полива, которые являются его достоинствами, существенно увеличивают экономическую эффективность хозяйств, повышают скорость роста и развития растений, снижают вероятность заболеваний растений, оказывают меньшее негативное воздействие на почву, снижают затраты и потери поливной воды;
- В опытах, с применением капельного орошения показатели продуктивности растений, а также урожайности выше, чем без применения оросительных мелиораций;
- Оптимальная норма орошения для выращивания большинства плодовых и ягодных, а также саженцев древесных культур, равна 60-80% от наименьшей влагоемкости;
- Капельное орошение благоприятно влияет как на развитие надземных частей растений, так и корневой системы.

Применение капельного орошения оказывает меньшее негативное воздействие на почву, чем другие способы орошения, способствует аэрации, предотвращает водную эрозию и засоление почв. Например, дождевание не позволяет достаточно глубоко увлажнить почву, его применение зависит от погодных условий (вода при ветренной погоде распределяется на территории неравномерно), расходы поливной воды гораздо выше, чем при капельном способе, растения могут получить механические и химические повреждения. Также система капельного орошения доставляет поливную воду непосредственно к растению, сокращая ее потери, и уменьшая положительное влияние на рост и распространение сорных растений на орошаемых участках. В то время как, при методе дождевания влага поступает и в междурядья, где и развиваются сорные растения, что затрудняет выращивание культур.

В отличие от полива по бороздам, капельная система дает возможность подавать влагу к растениям в малых количествах, что сокращает ее расход и позволяет поддерживать уровень увлажнения почвы на оптимальном для растений уровне. Капельная система мало зависит от рельефа местности, так как вода нагнетается при помощи насосной станции. Еще одно значительное преимущество капельной системы орошения от полива по бороздам заключается в высокой степени автоматизации и автономности поливов. Сокращается ручной труд, а также контроль за системой может осуществляться при помощи электронных дистанционных датчиков. При подаче воды из открытых каналов происходят большие потери на испарение, а также вода просачивается в низлежащие слои почвы, так и не достигая растений.

Капельное орошение отличается высокой степенью увлажнения всех слоев почвы, оказывающих влияние на растения, в то время как внутрипочвенный способ оказывает недостаточное увлажнение верхнего слоя почвы. Сама система внутрипочвенного орошения подвергается негативному воздействию почвы, высокая скорость заиления труб, их деформация и разрушение корнями растений, что делает такой способ полива ненадежным и экономически неэффективным.

В отличие от полива затоплением, капельный способ полива можно применять для большинства растений. Даже кратковременное затопление территории может существенно оказать негативное влияние на развитие растений. Рельеф является еще одним фактором, оказывающим влияние на выбор капельной системы орошения, а также меньший расход поливной воды и меньшее негативное влияние на аэрацию и механическое воздействие на почву, по сравнению с поливом затоплением.

При аэрозольном орошении и туманообразовании внимание акцентируется больше на снижении температуры в приземном слое атмосферы, нежели на повышении запаса влаги в почве. В сравнении с капельным поливом почва здесь испытывает нехватку влаги, так как туман оседает на поверхностном слое почвы и вглубь не проникает, что приводит к замедлению развития и даже деградации корневой системы растений.

Данный метод хорошо подходит для орошения растений в защищенном грунте, однако на больших территориях и при выращивании растений в открытом грунте он уступает капельному. Также аэрозольный способ увлажнения более дорогостоящий и требовательный к техническому обслуживанию. Если совместить капельную систему и аэрозольную, то полученный комбинированный способ будет гораздо эффективнее, так как увлажнение почвы будет происходить по всему кронеобитаемому слою, а надземная часть растений будет увлажнена и очищена от пыли, что позволит растениям лучше проводить процесс фотосинтеза и быстрее, и сильнее развиваться.

• References

1. Сторчоус В.Н. Капельное орошение - резерв эффективности использования земли, воды и энергии. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета.* 2015;5(55):30-33. https://elibrary.ru/SWOSRI
2. Дубенок Н.Н., Шумакова К.Б., Гемонов А.В. [и др.] Влияние режимов капельного орошения на водопотребление саженцев сливы в питомнике на дерново-подзолистых почвах. *Мелиорация и водное хозяйство.* 2021;(3):19-26. DOI 10.32962/0235-2524-2021-1-19-26. https://elibrary.ru/VBAVMF
3. Боровой Е.П., Кременской В.И., Иванютин Н.М. Капельное орошение как *основа развития плодоводства на юге Российской Федерации. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.* 2016;4(44):246-255. https://elibrary.ru/UZBFHG
4. Голованов А.И., Кучер Д.Е., Шуравилин А.В. Моделирование и параметры увлажнения капельного орошения плодового сада интенсивного типа в условиях Подмосковья. Проблемы управления водными и земельными ресурсами: Материалы международного научного форума: в 3 частях, Москва, 30 сентября 2015 года. Том Часть 2. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. С. 71-82. https://elibrary.ru/USONUY
5. Бородычев В.В., Криволуцкая Н.В., Криволуцкий А.А., Стрижакова Е.А. Продуктивность яблоневого сада интенсивного типа на капельном орошении. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.* 2012;3(27):8-14. https://elibrary.ru/PCXKRH
6. Селицкий С.А., Штанько А.С. Влияние капельного орошения плодовых садов на изменение свойств почвы. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия.* – 2023;3(91):218-227. https://elibrary.ru/CAHRUM
7. Шкура В.Н., Штанько А.С. Способ прогнозирования зон увлажнения почвы, формирующихся при капельном поливе ряда древесно- плодовых растений однониточным поливным модулем. Актуальные направления развития мелиоративного комплекса: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию создания ФГБНУ "РосНИИПМ", Новочеркасск, 10 сентября 2021 года. Новочеркасск: Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, 2021. С. 138-147. https://elibrary.ru/PBZIWX
8.Рябков С., Усатая Л., Диденко Н. Влияние капельного орошения на почвенные процессы под многолетними насаждениями. *Danish Scientific Journal.* 2021;(46-2):3-6. https://elibrary.ru/QXTWVS
9. Рябков С.В., Усатая Л.Г., Диденко Н.А. Изменение свойств почв под действием удобрений и капельного орошения поливной водой разного качества. *Colloquium-Journal.* 2021;10-1(97):26-29.https://doi.org/10.24412/2520-6990-2021-1097-26-29 https://elibrary.ru/OFPULO
10. Кременской В.И., Джапарова А.М. Влияние объема локального увлажнения почвогрунта на водопотребление плодового интенсивного сада the impact of local soil moistening volume on water consumption of intensive fruit garden. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия.* 2018;3(71)%214-219. https://elibrary.ru/YLXKUP
11. Кременской В.И., Иванютин Н.М. Перспективы развития плодоводства в Крыму на основе капельного орошения. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия.* 2016;2(62):185-189. https://elibrary.ru/WBMQHV
12. Кременской В.И., Иванютин Н.М. Технология внутрипочвенного и капельного полива с разными объемами локального увлажнения плодового яблоневого сада. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.* 2017;2(46):151-158. https://elibrary.ru/ZRTDFF
13. Шонтуков Т.З., Махотлова М.Ш. Капельное орошение - разновидность внутрипочвенного орошения. Современные технологии: проблемы инновационного развития и внедрения результатов : Сборник статей III международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 05 марта 2020 года. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2020. С. 104-107. https://elibrary.ru/YBZLFF
14. Шонтуков Т.З., Амшоков Б.Х. Особенности использования капельной системы орошения в условиях неудобий. Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова : сборник статей, Москва, 06–08 июня 2022 года. Том 1. Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. С. 55-59. https://elibrary.ru/WEJWTV
15. Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В., Ефимов О.Е., Прохоров А.А. Агрохимические и водно-физические свойства дерново-подзолистой почвы при капельном орошении плодового питомника. *Овощи России.* 2021;(3):116-121. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-116-121 https://elibrary.ru/PHKTEW
16. Дубенок Н.Н., Ильченко К.Ю., Гемонов А.В. Влияние капельного орошения на формирование корневой системы саженцев малины в условиях Нечерноземной зоны России. *Овощи России.* 2022;(3):50-54. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-50-54 https://elibrary.ru/HCELPX
17. Водчиц Н.Н., Громик Н.В., Стельмашук С.С. Проектирование капельного орошения садов в Беларуси. *Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология.* 2015;2(92):29-31. https://elibrary.ru/YUXQAP
18. Лунева Е.Н., Лещенко А.А. Предложения по вопросам проектирования капельного орошения яблоневого сада. Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения), Новочеркасск, 07–24 ноября 2017 года. Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова. Том Выпуск 15. Часть 1. Новочеркасск: ООО "Лик", 2017. С. 108-119. https://elibrary.ru/YNQPBV
19. Лунева Е.Н., Новикова И.В., Резниченко С.И. Технологии полива яблоневого садака пельным способом. Мелиорация и водное хозяйство: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Шумаковские чтения), посвящённой 95-летию со дня рождения профессора В.С. Лапшенкова, Новочеркасск, 25–30 сентября 2020 года. Том Выпуск 18. Новочеркасск: ООО "Лик", 2020. С. 57-63. https://elibrary.ru/WMVDSX
20. Худайев И.Ж. Водосбережение в условиях дефицита воды: современные технологии. *Социальная политика и социальное партнерство.* 2021;(10):777-783. https://doi.org/10.33920/pol-01-2110-06 https://elibrary.ru/XXCQHI
21. Худайев И., Фазлиев Ж., Шаропов Н. Капельное орошения - как водосберегающий способ орошения садов и виноградников. Школа Науки. 2019;4(15):17-18. https://elibrary.ru/RLUFWU
22. Шишкин А.В., Канарский А.А. Динамика почвенных влагозапасов на участках капельного орошения садовых культур в период доращивания. Аграрная наука - сельскому хозяйству : сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции: в 2 кн., Барнаул, 15–16 февраля 2018 года. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет». Том Книга 2. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2018. С. 130-133. https://elibrary.ru/YWLCAT
23. Шишкин А.В. Оценка эффективности применения капельного полива при доращивании садовых культур. Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата : Материалы Международной научно-практической интернет-конференции, Новочеркасск, 13–20 июля 2020 года. Новочеркасск: ООО "Лик", 2020. С. 72-77. https://elibrary.ru/PQKKRV
24. Бородычев В.В., Храбров М.Ю., Салдаев А.М. Системы капельного орошения овощных и плодовых культур. Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования: Научное издание. Москва: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2006. С. 340-357. https://elibrary.ru/YHRKIR
25. Шуравилин А.В., Бородычев В.В., Криволуцкий А.А. Влияние режимов капельного орошения на рост и плодоношение яблони в саду интенсивного типа. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство.* 2012;(4):49-55. https://elibrary.ru/PIDVBB
26. Рыжова М.А., Нелюбова Т.М., Канарский А.А. [и др.]Качественные показатели саженцев жимолости после доращивания на участке с капельным орошением. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета.* 2021;6(200):29-33. https://elibrary.ru/BEMLQW
27. Рыжова М.А., Нелюбова Т.М., Канарский А.А. Применение удобрений при доращивании саженцев жимолости на участках с капельным орошением. Актуальные проблемы научного обеспечения земледелия Западной Сибири: сборник научных статей, посвященный 70-летию академика РАН Храмцова Ивана Федоровича, 95-летию основания отдела земледелия ФГБНУ «Омский АНЦ», Омск, 05 февраля 2020 года. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Омский аграрный научный центр". Омск: ИП Макшеевой Е.А., 2020. С. 108-112. https://elibrary.ru/OVRUTD
28. Зайцева Г.А., Ряскова О.М., Полянский Н.А. Водопотребление жимолости как показатель ее продуктивности. *Наука и Образование.* 2022;5(4). https://elibrary.ru/ZYFPYG

• References

1. Storchous V.N. Drip irrigation as the reserve of effective use of land, water and energy. *News of the Orenburg State Agrarian University.* 2015;5(55):30-33. https://elibrary.ru/SWOSRI
2. Dubenok N.N., Shumakova K.B., Gemonov A.V., Lebedev A.V., Kalinichenko R.V. Influence of the drip irrigation regime on the water consumption of plum seedlings in the nursery on sod-podzolic soils. *Land reclamation and water management.* 2021;(3):19-26. DOI 10.32962/0235-2524-2021-1-19-26. (In Russ.) https://elibrary.ru/VBAVMF
3. Borovoy E.P., Kremenskoy V.I., Ivanyutin N.M. Drip irrigation as

a basis for the development of fruit growing in the south of the Russian Federation. *Proceedings of lower volga agro-university complex: science and higher education.* 2016;4(44):246-255. (In Russ.) https://elibrary.ru/UZBFHG
4. Golovanov A.I., Kucher D.E., Shuravilin A.V. Modeling and parameters of drip irrigation humidification of an intensive orchard in the Moscow region. Problems of water and land resources management: Proceedings of the international scientific forum: in 3 parts, Moscow, September 30, 2015. Volume Part 2. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2015. P. 71-82. (In Russ.) https://elibrary.ru/USONUY
5. Borodychev V.V., Krivolutskaya N.V., Krivolutsky A.A., Strizhakova E.A. Productivity of an intensive apple orchard with drip irrigation. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education.* 2012;3(27):8-14. (In Russ.) https://elibrary.ru/PCXKRH
6. Selitsky S.A., Shtanko A.S. The influence of drip irrigation of orchards on changes in soil properties. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture.* 2023;3(91):218-227. (In Russ.) https://elibrary.ru/CAHRUM
7. Shkura V.N., Shtanko A.S. Method for predicting soil moisture zones formed during drip irrigation of a number of tree and fruit plants with a single-thread irrigation module. Current directions for the development of the melioration complex: Collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the establishment of the Federal State Budgetary Scientific Institution "RosNIIPM", Novocherkassk, September 10, 2021. Novocherkassk: Russian Research Institute for Land Reclamation Problems, 2021. Pp. 138-147. (In Russ.) https://elibrary.ru/PBZIWX
8. Riabkov S., Usataya L., Didenko N. Drip irrigation influence on soil processes under perennial crops. *Danish Scientific Journal.* 2021;(46-2):3-6. https://elibrary.ru/QXTWVS
9. Riabkov S., Usataya L., Didenko N. Change in soil properties under the action of fertilizers and drip irrigation with different quality of water. *Colloquium-Journal.* 2021;10-1(97):26-29. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2520-6990-2021-1097-26-29 https://elibrary.ru/OFPULOэ
10. Kremenskoi V.I., Dzhaparova A.M. The impact of local soil moistening volume on water consumption of intensive fruit garden. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture.* 2018;3(71)%214-219. https://elibrary.ru/YLXKUP
11. Kremenskoi V.I., Ivanyutin N.M. Prospects for the development of fruit growing in Crimea based on drip irrigation. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture.* 2016;2(62):185-189. (In Russ.) https://elibrary.ru/WBMQHV
12. Kremenskoi V.I., Ivanyutin N.M. Technology of subsurface and drip irrigation with different volumes of local moistening of an apple orchard. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education.* 2017;2(46):151-158. (In Russ.) https://elibrary.ru/ZRTDFF
13. Shontukov T.Z., Makhotlova M.Sh. Drip irrigation - a type of subsurface irrigation. Modern technologies: problems of innovative development and implementation of results: Collection of articles of the III international scientific and practical conference, Petrozavodsk, March 05, 2020. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "New Science" (IP Ivanovskaya Irina Igorevna), 2020. P. 104-107. (In Russ.) https://elibrary.ru/YBZLFF
14. Shontukov T.Z., Amshokov B.Kh. Features of using a drip irrigation system in inconvenient conditions. Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists Dedicated to the 135th Anniversary of the Birth of A.N. Kostyakov: collection of articles, Moscow, June 06–08, 2022. Volume 1. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2022. P. 55–59. (In Russ.) https://elibrary.ru/WEJWTV
15. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V., Efimov O.E., Prokhorov A.A. Agrochemical and water-physical properties of sod-podzolic soil with drip irrigation of a fruit nursery. *Vegetable crops of Russia.* 2021;(3):116-121. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-3-116-121 EDN PHKTEW
16. Dubenok N.N., Ilchenko K.Yu., Gemonov A.V. The effect of drip irrigation on the formation of the root system of raspberry seedlings in the conditions of the Non-black soil zone of Russia. *Vegetable crops of Russia.* 2022;(3):50-54. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-50-54 EDN HCELPX.
17. Vodchits N.N., Gromik N.V., Stelmashuk S.S. Design of drip irrigation of gardens in Belarus. *Vestnik of brest state technical university. series: water engineering, heat power and geoecology.* 2015;2(92):29-31. (In Russ.) https://elibrary.ru/YUXQAP
18. Luneva E.N., Leshchenko A.A. Proposals for the design of drip irrigation for an apple orchard. Land reclamation and water management. Ways to improve the efficiency and environmental safety of land reclamation in the South of Russia: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (Shumakov readings), Novocherkassk, November 7–24, 2017. Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov. Volume Issue 15. Part 1. Novocherkassk: OOO "Lik", 2017. Pp. 108–119. (In Russ.) https://elibrary.ru/YNQPBV
19. Luneva E.N., Novikova I.V., Reznicenko S.I. Apple orchard irrigation technologies using the peloid method. Land reclamation and water management: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (Shumakov readings) dedicated to the 95th anniversary of the birth of Professor V.S. Lapshenkov, Novocherkassk, September 25–30, 2020. Volume Issue 18. Novocherkassk: OOO Lik, 2020. Pp. 57–63. (In Russ.) https://elibrary.ru/WMVDSX
20. Khudaiev I.Zh. Water saving in conditions of water scarcity: modern technologies. *Social policy and social partnership.* 2021;(10):777-783. (In Russ.) https://doi.org/10.33920/pol-01-2110-06 https://elibrary.ru/XXCQHI
21. Khudayev I., Fazliev Zh., Sharopov N. Drip irrigation - as a water-saving method of irrigating orchards and vineyards. *School of science.* 2019;4(15):17-18. (In Russ.) https://elibrary.ru/RLUFWU
22. Shishkin A.V., Kanarsky A.A. Dynamics of soil moisture reserves in areas with drip irrigation of horticultural crops during the growing period. Agrarian science - for agriculture: collection of materials of the XIII International scientific and practical conference: in 2 books, Barnaul, February 15-16, 2018. Altai State Agrarian University. Volume Book 2. Barnaul: Altai State Agrarian University, 2018. Pp. 130-133. (In Russ.) https://elibrary.ru/YWLCAT
23. Shishkin A.V. Evaluation of the efficiency of drip irrigation in growing garden crops. Land reclamation as a driver for modernization of the agro-industrial complex in the context of climate change: Proceedings of the International scientific and practical Internet conference, Novocherkassk, July 13–20, 2020. Novocherkassk: OOO Lik, 2020. P. 72–77. (In Russ.) https://elibrary.ru/PQKKRV
24. Borodychev V.V., Khrabrov M.Yu., Saldaev A.M. Drip irrigation systems for vegetable and fruit crops. Methods and technologies of complex melioration and ecosystem water use: Scientific publication. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences, 2006. P. 340-357. (In Russ.) https://elibrary.ru/YHRKIR
25. Shuravilin A.V., Borodychev V.V., Krivolutskiy A.A. Influence of modes of the drop irrigation on growth of the apple-trees in the garden of intensive type. *RUDN journal of agronomy and animal industries.* 2012;(4):49-55. (In Russ.) https://elibrary.ru/PIDVBB
26. Ryzhova M.A., Nelyubova T.M., Kanarskiy A.A., Panteleyeva Ye.I., Kosachev I.A. Quality indices of honeysuckle seedlings after growing on a plot with drip irrigation. *Bulletin of the Altai State Agrarian University.* 2021;6(200):29-33. (In Russ.) https://elibrary.ru/BEMLQW
27. Ryzhova M.A., Nelyubova T.M., Kanarsky A.A. Application of fertilizers during growing honeysuckle seedlings in areas with drip irrigation. Actual problems of scientific support for agriculture in Western Siberia: a collection of scientific articles dedicated to the 70th anniversary of Academician of the Russian Academy of Sciences Ivan Fedorovich Khramtsov, the 95th anniversary of the founding of the Department of Agriculture of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agricultural Scientific Center", Omsk, February 5, 2020. Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agrarian Scientific Center". - Omsk: IP Maksheevoy E.A., 2020. P. 108-112. (In Russ.) https://elibrary.ru/OVRUTD
28. Zaitseva G.A., Ryaskova O.M., Polyanskii N.A. Water consumption of honeysuckle as an indicator of its productivity. *Science and Education.*2022;5(4). https://elibrary.ru/ZYFPYG

Об авторах:
Николай Николаевич Дубенок – академик РАН, доктор с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой Сельскохозяйственных мелиораций, https://orcid.org/0000-0002-9059-9023, SPIN-код: 1856-9793, ndubenok@mail.ru
Александр Владимирович Гемонов – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры Сельскохозяйственных мелиораций, https://orcid.org/0000-0002-2561-8179, SPIN-код: 3293-5840, agemonov@yandex.ru
Антон Михайлович Селиверстов – аспирант кафедры сельскохозяйственных мелиораций, https://orcid.org/0009-0009-7227-6288, seliverstovantonm@yandex.ru

About the Authors:
Nikolay N. Dubenok – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of Agricultural Melioration, https://orcid.org/0000-0002-9059-9023, SPIN-code: 1856-9793, ndubenok@rgau-msha.ru
Alexander V. Gemonov – Cand. Sci. (Agriculture), Assistant Professor of the Department of Agricultural Melioration, https://orcid.org/0000-0002-2561-8179, SPIN-code: 3293-5840, agemonov@yandex.ru
Anton M. Seliverstov – postgraduate student of the Department of Agricultural Melioration, https://orcid.org/0009-0009-7227-6288, seliverstovantonm@yandex.ru

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 ВНИИССОК":
Адрес: 143080, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Липовая, д.2
График работы: понедельник-пятница 9.00-18.00, суббота 9.00-17.00, воскресенье 9.00-14.00
В нашем магазине Вы всегда можете самостоятельно купить семена, свежие овощи, рассаду, цветы, а также сопутствующие товары.

на правах рекламы

МАСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ www.vniissok.com