

Овощи России

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

ISSN 2072-9146 (Print)

ISSN 2618-7132 (Online)

4 2024

VEGETABLE
crops of RUSSIA
Scientific peer-reviewed journal



Потому что еда
нужна каждому

МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ



Агротехнологии Сибири

Официальный дистрибьютор
ООО ТД «Уралхим» на территории
Алтайского края, Томской,
Кемеровской и Новосибирской областей

НОВИНКА



МультиСтарт
NPKS 15:15:15:11+БИО

НОВИНКА



МультиСтарт
NPKS 8:20:30:3+БИО

НОВИНКА



Диаммофоска
NPKS 10:26:26:2

НОВИНКА



Сульфонитрат
NS 30:7

КОНТАКТЫ

ООО «АГРОТЕХНОЛОГИИ СИБИРИ»

Новосибирск, ул. Кирова, д. 240А,
офис 301

+7 (383) 209 19 78

as5405031221@mail.ru

profagro.com

АО «ОХК «УРАЛХИМ»

+7 (495) 721 89 89
+7 (495) 721 85 85

marketing@uralchem.com
domestic@uralchem.com

uralchem.ru

agro.uralchem.ru

на правах рекламы



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

Подробная информация на 120-121 стр.



ФГБНУ ФНЦО

Российская Академия Наук

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Российская академия наук

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

ПРОГРАММА

XI Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в селекции овощных, бахчевых и цветочных культур на устойчи- вость к биотическим и абиотическим факторам среды», 15-18 июля 2024 года

15 июля

9.00 — заезд и регистрация участников конференции. По желанию участников могут быть организованы экскурсия в музей «Овощеводства российского» и посещение новых лабораторий ФГБНУ ФНЦО: «Лаборатория молекулярно-иммунологических исследований», «Лаборатория репродуктивной биотехнологии», «Лаборатория физиологических основ семеноведения овощных культур».

16 июля

9.00 — открытие конференции;
9.30 - 13.30 — пленарное заседание;
11.30 - 11.45 — кофе-брейк;
13.30 - 14.30 — обед;
14.30 - 18.00 — продолжение пленарного заседания;
18.20 — товарищеский ужин.

Доклады по секциям:

Секция 1. Роль генетических ресурсов растений в достижениях отечественной селекции на устойчивость к абиотическим и биотическим факторам
Секция 2. Биоразнообразие фитопатогенных микроорганизмов
Секция 3. Защита растений в современном овощеводстве. Органическое овощеводство.

17 июля

Секция для молодых ученых

9.30 - 13.30 — устные доклады;
11.30 - 11.45 — кофе-брейк;
13.30 - 14.30 — обед;
14.30 - 17.00 — продолжение устных докладов;
17.20 — награждение молодых ученых

Постерная сессия

18 июля

Культурная программа — посещение Парка Патриот, Главного Храма ВС РФ, Музея 1418 шагов к Победе.
Отъезд участников конференции.

Контакты:

Енгальцева Ирина Александровна — тел. +7-926-446-80-56
Пинчук Елена Владимировна — тел. +7-916-806-00-12
Романов Валерий Станиславович — тел. +7-926-375-52-47

Обновление информации о конференции на сайте ФГБНУ ФНЦО <http://www.vniissok.ru>



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, Сурахандарьинская научно-опытная станция НИИ овоще-бахчевых культур и картофеля, Республика Узбекистан

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

И.Г. Джафаров – доктор с.-х. наук, проф., член-корр. НАНА, директор, Научно-исследовательский институт защиты растений и технических культур МСХ Азербайджанской Республики

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© ФГБНУ ФНЦО, оформление макета, 2024

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

Адрес учредителя и редакции: 143080, Россия, Московская область, Одинцовский район,

п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

E-mail: vegetables.of.russia@yandex.ru,
vegetables.of.russia@vniissok.ru

<http://www.vegetables.ru> Тел.: +7(495) 599-24-42

Тираж 100 экземпляров.

Периодичность: 6 раз в год.

Дата выхода в свет: 08.07.2024

Отпечатано в типографии:

Акционерное общество

«Соломбальская типография».

163012, г. Архангельск, ул. Добролюбова, д. 1.

Тел.: +7 (8182) 48-20-20, www.daprint.ru

Цена свободная.

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.



Editor in chief

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

EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

Zhivko P. Danailov – Professor, Dr. Sci. (Agriculture), Bulgarian
Academy of Sciences, Institute of Plant Physiology and Genetics, Sofia, Bulgaria

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

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

Leonid F. Voloschuk – Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of phytopathology
and biotechnology, Institute of Genetics, Physiology and Protection of Plants,
Academy of Sciences of Moldova, Chişinău, Republic of Moldova

Ibrahim Hasan oglu Jafarov – Corresponding Member of ANAS,
Professor, Dr. Sci. (Agriculture), Scientific Research Institute of Plant Protection
and Technical Plants of the Ministry of Agriculture Republic of Azerbaijan

Valery N. Prokhorov – Dr. Sci. (Biology), chief scientific officer
of the Laboratory of growth and development of plant, FSSI "V.F. Kuprevich Institute
of experimental botany National academy of Science of Belarus", Minsk, Belarus

Vladimir V. Skorina – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Department of fruits-vegeta-
bles growing, "Belarusian State Academy of Agriculture", Mogilev, Belarus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

©FSBSI FSVC, Layout Design, 2024

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

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

Publication Frequency: 6 issue per year. Free price. 100 copies. Published: 08.07.2024

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

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

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

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



САДОВОДСТВО, ОВОЩЕВОДСТВО, ВИНОГРАДАРСТВО И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ**Енгальчева И.А., Козарь Е.Г., Ушаков А.А.**

Селекция на иммунитет в ФГБНУ ФНЦО – история и современность.5

Кузьмина С.П., Казыдуб Н.Г., Куколева М.Ю., Шумакова О.В.Скрининг селекционного материала гороха овощного
по устойчивости к ржавчине в Омском ГАУ.15**Голубкина Н.А., Заячковский В.А.**Сравнительная оценка эффективности защиты *Raphanus sativus* var. *lobo*
от крестоцветной галлицы (*Contarinia nasturtii*), используя внекорневое внесение селената натрия,
ионной формы кремния и экстракта чеснока.23**Тимакова Л.Н., Алексеева К.Л., Соколова Л.М.**Оценка устойчивости сортообразцов свеклы столовой к церкоспорозу
(*Cercospora beticola* Sacc.) в полевых и лабораторных условиях28**Еремина Н.А., Соколова Л.М.**Проблемы при производстве органических проростков сои овощной,
связанные с проявлением патогенной микробиоты.35**Шишкина Е.В., Одерова Е.В.**Защита растений огурца посевного, исходя
из биологических особенностей развития бактериоза.43**Алмуграби Е., Галиев И.В., Хакимзянова Р.П.,****Мостякова А.А., Тимофеева О.А.**Вариабельность фенольных соединений
у разных сортов капусты кейл (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*).49**САДОВОДСТВО, ОВОЩЕВОДСТВО, ВИНОГРАДАРСТВО И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ****Кроль Т.А., Осипов В.И., Балеев Д.Н.**Качественный состав фенольных соединений листьев растений *Rhodiola rosea* L.,
интродуцированных в условиях Московской области.54**Топорищева М.В., Коротких И.Н., Андреевская В.М.,****Лисовой А.М., Ерёмина У.В., Бондарева Е.В.**Влияние микозов на посевные качества семян шалфея лекарственного
(*Salvia officinalis* L.) в Нечерноземной зоне РФ.61**Белова С.В.**Диагностика минерального питания моркови и свёклы столовой
при органической и минеральной системах удобрения.69**Галичкина Е.А., Варивода Е.А.**Изучение новых элементов технологии возделывания
сортообразца дыни среднего срока созревания.80**Путина О.В., Путин О.В., Жуков В.А., Беседин А.Г.**Влияние дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum*
на растения овощного гороха.85**Грязнов М.Ю., Савченко О.М.**Биологические особенности *Oenothera tetragona* Roth.
в условиях культуры в Нечерноземной зоне России.92**Мульо Панолуиса Ф.Э., Романова Е.В., Саласар Флорес К.А.**Влияние инокуляции микробиологическими препаратами
на морфологические признаки и урожайность сои овощной.99**Тхаганов Р.Р., Сидельников Н.И., Сайбель О.Л.**Приемы повышения урожайности травы
и семенной продуктивности эхинацеи пурпурной в условиях Краснодарского края.105**ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО****Ворку А.**Роль агролесоводства в экосистемных услугах
и смягчении последствий изменения климата.111

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE, PLANT PROTECTION AND QUARANTINE

Engalycheva I.A., Kozar E.G., Ushakov A.A.

Selection for immunity in FSBSI FSVC – history and modernity.5

Kuzmina S.P., Kazydub N.G., Plotnikova L.Y., Kukoleva M.Yu.

Screening of vegetable pea breeding material
on rust resistance at Omsk State Agrarian University.15

Golubkina N.A., Zayachkovsky V.A.

Comparative evaluation of *Raphanus sativus* var. *lobo*
defense efficiency against *Contarinia nasturtii* using foliar application
of sodium selenate, ionic silicon form and garlic extract.23

Timakova L.N., Alekseeva K.L., Sokolova L.M.

Assessment of the resistance of inbred beet lines to
(*Cercospora beticola* Sacc.) in field and laboratory conditions.28

Eremina N.A., Sokolova L.M.

Problems in the production of organic vegetable soybean seedlings associated
with the manifestation of pathogenic microbiota.35

Shishkina E.V., Oderova E.V.

Protection plants of cucumber (*Cucumis sativus*) based
on the biological characteristics of the development of bacteriosis.43

Almugrabi E., Galiev I.V., Khakimzyanova R.P.,

Mostyakova A.A., Timofeeva O.A.

Variability of phenolic compounds in different varieties
of kale cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*).49

HORTICULTURE, VEGETABLE PRODUCTION, VITICULTURE AND MEDICINAL CROPS

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

Qualitative composition of phenolic compounds in leaves of *Rhodiola rosea* L.
plants introduced in the conditions of the Moscow region.54

Toporishcheva M.V., Korotkikh I.N., Andreevskaya V.M.,

Lisovoy A.M., Eremina U.V., Bondareva E.V.

The effect of mycoses on sowing qualities of Sage seeds (*Salvia officinalis* L.)
in the Non- Chernozem soil zone of the Russian Federation.61

Belova S.V.

Diagnostics of mineral nutrition of carrot and red beet
at organic and mineral fertilization systems.69

Galichkina E.A., Varivoda E.A.

Study of new elements of technology for cultivating
a medium-ripening melon variety.80

Putina O.V., Putin O.V., Zhukov V.A., Besedin A.G.

Effect of additional inoculation with
Rhizobium leguminosarum on vegetable pea plants.85

Gryaznov M.Yu., Savchenko O.M.

Biological features of *Oenothera tetragona* Roth. in the conditions
of culture in the Non-Chernozem zone of Russia.92

Mullo Panoluisa F.E., Romanova E.V., Salazar Flores C.A.

Effect of inoculation with microbiological
preparations on morphological characteristics and yield of vegetable soybean.99

Thaganov R.R., Sidelnikov N.I., Saibel O.L.

Methods of increasing herbage yield and seed productivity
of *Echinacea purpurea* under conditions of Krasnodar krai.105

AGRICULTURE AND PLANT PRODUCTION

Worku A.

The Role of Agroforestry in Ecosystem Services and Mitigation of Climate Change.111

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-5-14>
УДК: 631.524.86

И.А. Енгальчева*,
Е.Г. Козарь,
А.А. Ушаков

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: engirina1980@mail.ru

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

Вклад авторов: Енгальчева И.А.: концептуализация, написание черновика рукописи. Козарь Е.Г.: рецензирование и редактирование рукописи. Ушаков А.А.: рецензирование и редактирование рукописи, подготовка списка литературы. Все авторы принимали участие в написании статьи.

Для цитирования: Енгальчева И.А., Козарь Е.Г., Ушаков А.А. Селекция на иммунитет в ФГБНУ ФНЦО – история и современность. *Овощи России*. 2024;(4):5-14. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-5-14>

Поступила в редакцию: 27.05.2024

Принята к печати: 25.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

Irina A. Engalycheva*,
Elena G. Kozar,
Alexander A. Ushakov

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

*Corresponding Author: engirina1980@mail.ru

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

Authors' Contribution: Engalycheva I.A.: conceptualization, writing the draft manuscript. Kozar E.G.: reviewing and editing the manuscript. Ushakov A.A.: reviewing and editing the manuscript, preparing the list of references. All authors took part in writing the manuscript.

For citation: Engalycheva I.A., Kozar E.G., Ushakov A.A. Selection for immunity in FSBSI FSVC – history and modernity. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):5-14. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-5-14>

Received: 27.05.2024

Accepted for publication: 25.06.2024

Published: 08.07.2024

Селекция на иммунитет в ФГБНУ ФНЦО – история и современность

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Поддержание фитосанитарного состояния овощных и бахчевых культур является важным составляющим звеном в технологиях возделывания новых и перспективных сортов и гибридов, поскольку потери от болезней различной этиологии достигают 30% и более. Это определяет необходимость проведения иммунологических исследований устойчивости овощных и бахчевых культур к фитопатогенам различной этиологии, где основой стратегии создания новых сортов и гибридов является совместная работа селекционера и фитопатолога. Для этого важно ежегодно проводить изучение видового состава с целью выявления новых вредоносных объектов, оказывающих негативное влияние на рентабельность производства, а также разработки мероприятий по защите овощных культур от наиболее вредоносных и экономически значимых вредителей и болезней.

Методы исследований и результаты. Обширная опытная сеть ФГБНУ ФНЦО в различных эколого-географических зонах позволяет испытывать сорта и гибриды овощных и бахчевых культур в различных почвенно-климатических условиях, в том числе проводить их оценку к наиболее вредоносным фитопатогенам в данных регионах. В данной обзорной статье кратко освещены основные этапы истории развития и современные направления фитопатологических исследований в России и ФГБНУ ФНЦО. Представлены наиболее значимые достижения ученых ФГБНУ ФНЦО, направленные на комплексное изучение современного состояния популяций возбудителей болезней на овощных и бахчевых культурах, факторов устойчивости, контролирующих взаимодействие организмов в патосистемах, в том числе и генетических, на оптимизацию и разработку новых методических подходов в селекции на иммунитет и научного обоснования рекомендуемых современных систем защиты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

устойчивость, овощные культуры, фитомониторинг, фитопатогены, защита растений, сорт

Selection for immunity in FSBSI FSVC – history and modernity

ABSTRACT

Relevance. Maintaining the phytosanitary condition of vegetable and melon crops is an important component in the technologies of cultivation of new and promising varieties and hybrids, since losses from diseases of various etiologies reach 30% or more. This determines the need for immunological studies of the resistance of vegetable and melon crops to phytopathogens of various etiologies, where the basis of the strategy for creating new varieties and hybrids is the joint work of a breeder and a phytopathologist. To do this, it is important to conduct an annual study of the species composition in order to identify new harmful objects that have a negative impact on the profitability of production, as well as to develop measures to protect vegetable crops from the most harmful and economically significant pests and diseases.

Methodology and Results. The extensive experimental network of the Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) in various ecological and geographical zones allows testing varieties and hybrids of vegetable and melon crops in various soil and climatic conditions, including evaluating them for the most harmful phytopathogens in these regions. This review article briefly highlights the main stages of the history of development and current trends in phytopathological research in Russia and our center. The most significant achievements of scientists of the FSBSI FSVC are presented, aimed at a comprehensive study of the current state of populations of pathogens on vegetable and melon crops, resistance factors controlling the interaction of organisms in pathosystems, including genetic ones, optimization and development of new methodological approaches in breeding for immunity and scientific justification of recommended modern protection systems.

KEYWORDS:

sustainability, vegetable crops, phytomonitoring, phytopathogens, plant protection, variety

В 2024 году исполняется 105 лет с даты выхода монографии выдающегося ученого Николая Ивановича Вавилова «Иммунитет растений к инфекционным заболеваниям», представленной научному сообществу в 1919 году, в которой были сформулированы и подытожены опубликованные им ранее основополагающие принципы учения об иммунитете растений. Данный труд Н.И. Вавилова представлял изложение теории «физиологического иммунитета» основной концепцией которой был постулат что «иммунитет растений связан с биологической специализацией паразитов по родам и видам растений и обусловлен процессом дивергенции хозяина и паразита в их эволюции».

Благодаря Николаю Ивановичу впервые практическая задача создания сортов культурных растений, устойчивых к болезням и вредителям, получила теоретическое научное обоснование: иммунитет связан с генетической природой растения, поэтому реакция растения-хозяина на внедрение паразита определяется генетическим положением хозяина сравнительно с другими близкими видами. Н.И. Вавилов считал, что, приступая к селекции на иммунитет, надо знать не только биологию паразита и его специализацию, но и биологические, эпифитотические особенности патосистемы «растение-паразит», а также основы механизмов устойчивости растений.

Развитие теории «физиологического иммунитета» последователями и учениками Н.И. Вавилова (селекционерами, генетиками, фитопатологами, ботаниками) позволило к настоящему времени открыть весьма важные для селекции на иммунитет закономерности сопряжённой эволюции хозяина и паразита при совместном их развитии. В том числе благодаря важным работам Н.И. Вавилова, начиная с 20-х годов XX столетия в нашей стране были организованы специализированные институты: в 1919 году – Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам (ныне ОАО НИУИФ), в 1929 году по инициативе Н.И. Вавилова – Всероссийский институт защиты растений (ныне ФГБНУ ВИЗР), в 1958 году – на базе Московской станции защиты растений – Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ФГБНУ ВНИИФ) и другие.

С развитием в России научных направлений по энтомологии, фитопатологии, защите растений потребовались квалифицированные кадры для сельского хозяйства, и при отраслевых институтах стали создавать отделы защиты растений, где также начинается научно-исследовательская работа по изучению устойчивости растений к вредителям и болезням. Создание таких лабораторий было инициировано для решения проблемы ежегодных потерь в народном хозяйстве от вредителей и болезней, которые составляли порядка 1430 млн золотых рублей, что равнялось 25% государственного бюджета того времени.

На Грибовской овощной селекционной опытной станции первые исследования в этом направлении были начаты в 1931 году, а в 1935 году создан отдел по защите овощных культур под руководством энтомолога, кандидата с.-х. наук И.П. Масленникова, который первым в нашем учреждении стал развивать теоретическую базу защиты овощных культур и планомерно

осуществлять мероприятия по борьбе с вредителями и болезнями.

В 1943 году отдел был преобразован в лабораторию защиты растений, которой до 1957 года руководила кандидат с.-х. наук фитопатолог А.С. Пименова. В эти годы сотрудники отдела совместно с видными учеными страны проводили исследования, связанные с изучением видового состава, биофенологии вредителей, а также биологии и этиологии возбудителей болезней овощных культур. В результате были подготовлены первые инструкции для практического овощеводства по борьбе с вредоносными болезнями и вредителями, которые имели экономическую значимость в то время – слизистый бактериоз капусты, фомоз моркови, вредители культур семейства Крестоцветные, морковная муха и луковый скрытнохоботник. Исследования выдающихся ученых, таких как И.П. Масленников, А.С. Пименова, Б.А. Герасимов, Е.А. Осницкая легли в основу трудов, которые имеют практическую ценность и в настоящее время [1,2,3,4,5,6].

С конца 50-х годов прошлого столетия, благодаря научным концепциям Н.И. Вавилова, в лаборатории начаты первые иммунологические исследования по устойчивости растений к инфекционным болезням. В этот период в структурном подразделении разрабатываются пионерские методики оценки устойчивости овощных культур к наиболее вредоносным болезням на основе изучения биологических особенностей их возбудителей. Изучаются культуральные свойства фитопатогенов, устанавливаются оптимальные параметры выращивания чистых культур, разрабатываются способы поддержания агрессивности патогенов и сохранения инфекционного начала с целью создания эффективных инфекционных фонов.

Изучение фундаментальных и прикладных основ фитопатологии и фитоиммунологии, научно обоснованных методов защиты растений от болезней и вредителей в последующие годы становится одним из приоритетных направлений отечественной сельскохозяйственной науки. Поэтому во Всероссийском НИИ селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИС-СОК) – преемнике Грибовской овощной селекционной опытной станции, в 1978 году под руководством видного ученого, доктора с.-х. наук, академика ВАСХНИЛ, общественного деятеля Н.М. Голышина создан отдел, в состав которого вошли две лаборатории: лаборатория иммунитета и лаборатория защиты растений овощных культур от болезней и вредителей. Позже в результате проведенной реорганизации вновь происходит их слияние в одну лабораторию, научными исследованиями которой с 1994 по 2004 год руководил доктор с.-х. наук, профессор, А.Н. Самохвалов, а с 2004 по 2016 годы – кандидат с.-х. наук Ушаков А.А. С 2016 года, после образования на базе института Федерального Научного Центра Овощеводства (ФГБНУ ФНЦО) и по настоящее время руководителем лаборатории иммунитета и защиты овощных культур является кандидат с.-х. наук Енгальчева И.А. На базе этой лаборатории в 2022 году в рамках национального проекта «Наука» была создана молодежная лаборатория молекулярно-иммунологических исследований, которая продолжает традиции Н.И. Вавилова и видных ученых, в разное время проводивших фитопатологические исследования.

Важно подчеркнуть, что научная деятельность лаборатории иммунитета и защиты растений, а сейчас и лаборатории молекулярно-иммунологических исследований, неразрывно связаны не только с важнейшими этапами становления центра овощеводства, но и с динамичной историей развития всей фитосанитарной службы в отрасли овощеводства страны в целом.

В настоящее время по данным ФАО, в мире ежегодно теряется до 40% сельскохозяйственной продукции в результате эпифитотийных ситуаций, создаваемых вредными организмами, что напрямую угрожает продовольственной безопасности [7,8]. Фитомониторинг патогенного комплекса в различных эколого-географических зонах в течение последних лет на сельскохозяйственных культурах, в том числе и овощных, указывает на расширение ареалов вредоносных фитопатогенов, изменение численности их популяций, характера занимаемых ими экологических ниш, смене доминирующих видов в сообществах, повышении вирулентности и агрессивности ранее малопатогенных микроорганизмов [9,10]. Причины таких популяционных изменений зачастую связаны с экологическими факторами, которые оказывают влияние на взаимоотношения в системе «фитопатоген-растение-хозяин» [11,12,13].

Микологами, бактериологами и вирусологами лаборатории иммунитета за последний полувековой период практически по всем основным овощным культурам проведены фундаментальные исследования в системах «патоген-хозяин» с учетом внутривидовых изменений возбудителей (на уровне штаммов и рас по признаку патогенности) наиболее вредоносных болезней, в том числе и с применением метода кластерного анализа. Во все годы, вплоть до настоящего времени, ведется работа по изучению видовых и сортовых особенностей иммунного ответа овощных растений, разрабатываются и усовершенствуются методики оценки

и отбора на устойчивость. Совместно с селекционными лабораториями луковых, тыквенных, пасленовых, бобовых, капустных культур, столовых корнеплодов проводится скрининг различного исходного материала, поиск источников устойчивости к возбудителям болезней различной этиологии. Если проанализировать весь комплекс исследований лаборатории за практически вековой период, то его можно представить в виде следующей схемы основных этапов нашей работы (рис.).

К концу XX века в ФБГНУ ФНЦО особое внимание стали уделять изучению микозов – наиболее распространенных и вредоносных болезней овощных культур. В результате проведения широкомасштабных микологических исследований М.В. Ореховской, Н.Н. Коргановой, Л.Т. Тиминой, Л.К. Гуркиной, С.Н. Шкляром, В.Б.Беляевой, Г.Ф. Першиной, С.Н. Нечаевой, К.С. Шестаковой уточнен видовой состав, выявлены новые виды, определены особенности проявления микозов на овощных культурах в различных регионах возделывания. Данные иммунологической оценки различного коллекционного и селекционного материала позволили более целенаправленно вести селекцию и ускорить создание устойчивых сортов следующих культур: огурца (к бурой пятнистости листьев, аскохитозу, оливковой пятнистости), томата (к фитофторозу, кладоспориозу), капусты (к киле), моркови (к фомозу, альтернариозу, фузариозу, бурой пятнистости листьев), лука (к пероноспорозу), чеснока (к фузариозу), гороха, фасоли (к корневым гнилям) [14,15,16,17,18].

Но в последние 20 лет изменилась парадигма идентификации фитопатогенных грибов, определительные ключи практически утратили своё значение [19]. Развитие молекулярной филогении за последние два десятилетия стало важным достижением в систематике грибов. Использование мультилокусного секвениро-



Рис. Общая схема основных этапов фитопатологических и иммунологических исследований в селекции овощных и бахчевых культур на устойчивость в ФБГНУ ФНЦО

Fig. The general scheme of the main stages of phytopathological and immunological studies in the selection of vegetable and melon crops for resistance in the Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVSVC)

вания в сочетании с филогенетическим анализом представляется наиболее удобным и обоснованным в методологическом аспекте для определения видов в рамках эволюционной концепции видов, которая сейчас наиболее востребована среди микологов и, очевидно, останется популярной в ближайшем будущем [20]. В сообщении Ганнибала (2024) указывается, что таксономические преобразования коснулись отдельных видов внутри родов *Ascochyta*, *Phoma*, *Rhizoctonia*, *Septoria*, которые ранее по морфологическим признакам объединяли в один род, но теперь отнесены не только к разным родам, но иногда и к разным семействам, и даже порядкам.

В последние годы серьезной угрозой на овощных и бахчевых культурах как в нашей стране, так и во всем мире, является поражение возбудителями фузариоза – грибами *Fusarium*, вызывающими сосудистое увядание, листовые пятнистости и гнили плодов. По разным оценкам зарубежных и отечественных исследователей, потери урожая от данных возбудителей составляют от 10% до 80% в зависимости от условий года, климатической зоны и набора выращиваемых сортов [21]. Интересным является тот факт, что начала усиливаться вредоносность видов *Fusarium*, ранее считавшихся слабопатогенными или приуроченными к определенным климатическим зонам [22]. Исследователи указывают, что высокие потери урожая связаны с отсутствием своевременных мониторинговых исследований по видовой идентификации, и как следствие, недооцененностью этих видов как возбудителей болезней [23].

В этом плане на базе ФГБНУ ФНЦО начаты целенаправленные исследования современного видового состава грибов *Fusarium* на основных овощных культурах. Впервые для условий южных регионов России с использованием комбинации молекулярно-генетического и морфологического подходов проведена идентификация и установлена таксономическая принадлежность грибов *Fusarium* – возбудителей фузариозного увядания на культуре перца сладкого [24]. В структуре патоконплекса возбудителей фузариозного увядания в Краснодарском крае и Крыму идентифицировано и описано семь видов *F. clavus*, *F. oxysporum*, *F. equiseti*, *F. solani*, *F. verticillioide*s, *F. torulosum*, *F. sporotrichioides*. Впервые установлена высокая патогенность для культуры перца видов *F. clavum* и *F. verticillioide*s, ассоциированных с этой болезнью. В зависимости от региона были отмечены особенности видового разнообразия и соотношения этих видов в патоконплексах.

Проведена идентификация грибов *Fusarium* на культурах семейства *Alliaceae*. Установлено, что в патогенезе базальной гнили лука участвуют виды *F. annulatum*, *F. oxysporum*, *F. acuminatum*, *F. solani*. Причем впервые продемонстрирована высокая агрессивность штаммов *F. annulatum* и *F. acuminatum* в отношении лука и способность вызывать базальную гниль на данной культуре в условиях средней полосы РФ. Изучение соотношения этих видов в патоконплексе фузариозной гнили выявило доминирование *F. annulatum* и *F. oxysporum* [25].

С использованием мультидисциплинарного подхода учеными ФГБНУ ФНЦО совместно с коллегами ФИЦ Биотехнологии РАН впервые проведена количествен-

ная оценка соотношения основных возбудителей фузариозной сухой гнили чеснока на территории Московской области [26,27]. В пределах рода *Fusarium* были идентифицированы шесть видов: *F. proliferatum*, *F. oxysporum*, *F. poae*, *F. verticillioide*s, *F. culmorum* и *F. acuminatum*, из которых *F. proliferatum* оказался доминирующим. Показано, что наличие в фитопатогенном комплексе в посевах чеснока грибов других родов (*Botrytis*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Embellisia*, *Aspergillus*, *Sclerotium*, *Rhizoctonia solani*, *Volutella rosea* и *Ceratobasidium* sp.) усиливает вредоносность видов *Fusarium*.

В ФГБНУ ФНЦО изучается также роль других микромицетов в проявлении экономически значимых болезней на овощных и бахчевых культурах в различных эколого-географических регионах. Проявление одних носит постоянный характер и сопровождается значительным снижением урожайности, других – спорадический характер возникновения эпифитотий. Так, проведен анализ структуры патогенного комплекса бобов овощных, представленный во все годы исследований возбудителями шоколадной пятнистости (*Botrytis fabae*), аскохитоза (*Ascochyta fabae*), фузариозного увядания (*Fusarium solani*, *F. oxysporum* v. *oxysporum*, *F. sambucinum*, *F. sporotrichiella*) [28]. В отдельные годы зарегистрированы эпифитотии ржавчины бобов (*Uromyces viciae-fabae*) и стеμφиллиоза (*Stemphylium* spp.).

Многолетний мониторинг санитарного состояния корнеплодов моркови столовой в условиях хранения показывает, что среди наиболее вредоносных болезней в Московской области доминирующей является белая гниль, от степени распространения которой зависит процент сохранности корнеплодов. Ее распространенность в разные годы исследований может достигать 73% [29]. Установлено, что в условиях Московской области в патогенезе белой гнили наибольшей вредоносностью обладает возбудитель *Sclerotinia sclerotiorum*. Распространенность *S. nivalis* носит спорадический характер, поражая от 16 % до 23 % корнеплодов в зависимости от года и устойчивости образца. Кроме моркови, участие *S. nivalis* в патогенезе белой гнили в последние годы отмечено и на других корнеплодных культурах, в частности на корнеплодах пастернака посевного и редиса европейского [30]. Это свидетельствует о том, что наиболее агрессивные изоляты этого патогена в дальнейшем должны быть включены в селекционные программы по созданию устойчивых форм этих культур. Впервые отмечено спорадическое появление на корнеплодных культурах в период хранения некоторых микромицетов: на моркови столовой – *Gleocladium roseum*, *Trichotecium roseum*, *Chaetomium* spp., на свекле – *Typhula ishikariensis* [31].

Сотрудниками ФГБНУ ФНЦО подготовлены методические рекомендации, включающие методы комплексной оценки и отбора селекционного материала моркови столовой на толерантность к патогенам *Alternaria dauci*, *Alternaria radicina* и *Fusarium oxysporum* в условиях естественного инфекционного фона в селекционном севообороте, на двух провокационных инфекционных фонах, а также представлены методы оценки в лабораторных условиях. Обоснованы схемы селекционного процесса создания сортов и гибридов морко-

ви столовой с высокой устойчивостью к комплексу патогенов [32].

С начала 2000-х годов на свекле столовой в период хранения отмечено снижение вредоносности серой и белой гнилей и нарастание распространенности и агрессивности фузариоза, альтернариоза и бактериоза [33]. Причины таких популяционных сдвигов разнообразны и во многом связаны с экологическими факторами, которые определяют взаимоотношения в системе патоген-растение. Однако доминирующим видом возбудителей кагатной гнили в современных условиях Московской области является фомоз, распространенность которого резко увеличилась, начиная с 2020 года. Возбудитель фомоза – гриб *Phoma betae* Frank поражает растения на разных стадиях онтогенеза, приводя к значительным потерям урожая.

Одной из наиболее значимых болезней листовой розетки свеклы столовой, являющейся лимитирующим фактором при выращивании сортов для механизированной уборки, является церкоспороз, поражающий листья, черешки растений первого и второго года, стебли семенников. Агроклиматические условия для развития возбудителя церкоспороза – анаморфного гриба *Cercospora beticola* Sacc., в разных районах Московской области складываются не часто и в целом по региону за последние десять лет, благодаря своевременным обработкам, его развитие было ниже экономически значимого 5% порога вредоносности [https://rosselhoccenter.com]. Распространение церкоспороза на производственных посевах свеклы столовой носит локальный характер, и ежегодно отмечается только в южных районах области, но в 2019 (защищенный грунт) и 2023 годах (открытый грунт) были зарегистрированы вспышки этой болезни и на западе, в Одинцовском районе. Этому способствовали достаточно высокая среднесуточная температура (19,6 °C) и относительная влажность воздуха (около 80 %) при избыточном количестве осадков в июле-августе [34,35].

Среди экономически значимых болезней для культур семейства Тыквенные настоящая мучнистая роса остается в числе наиболее вредоносных. Особенно это актуально для выращивания огурца в светокультуре и в условиях весенних-плёночных теплиц [36]. Согласно исследованиям, проведенным сотрудниками нашей лаборатории, с помощью молекулярно-генетического метода, изучения морфологии анаморфной стадии на растении-хозяине и растениях-дифференциаторах, установлено, что в патогенезе мучнистой росы в условиях Московской области на огурце участвует вид *Podosphaera xanthii* Poll., а на кабачке – *Erysiphe cichoracearum* и *P. xanthii* [37]. Вредоносность данных патогенов при оптимальных почвенно-климатических условиях может приводить к снижению урожайности до 20%, а в эпифитотийные годы – до 100% [38].

Сотрудниками головной организации ФГБНУ ФНЦО совместно с фитопатологами и селекционерами опытных станций ежегодно проводится фитомониторинг болезней на овощных и бахчевых культурах в различных эколого-географических зонах. Так, установлено, что в условиях Приморского края, помимо спорадических вспышек фитофтороза, большой вредоносностью на культуре томата обладает альтернариоз, возбудите-

лями которого являются крупноспоровые виды рода *Alternaria* – *A. solani* и *A. linariae* и мелкоспоровые – *A. alternata*, *A. infectoria*, *A. arborescens*, *A. tenuissima* [39]. Изучено как биологическое разнообразие видового состава грибов *Alternaria*, так и процентное соотношение их по степени агрессивности в отношении растения-хозяина, что, помимо погодных условий, существенно влияет на распространение и интенсивность развития альтернариоза на культуре томата в этой зоне возделывания.

На основе фитопатологической экспертизы на культуре дыни и арбуза проведен анализ структуры современного патоконтекста микромицетов в условиях Волгоградской области. Установлено, что патогенный комплекс микромицетов представлен грибами из родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus* с доминированием грибов рода *Fusarium*. Представители данной группы выделялись с растений как с характерными симптомами фузариозного увядания, так и совместно с грибами *Colletotrichum*, вызывающими антракноз [40].

Отечественные и зарубежные специалисты в области иммунологии и защиты растений отмечают, что со второй половины прошлого века нарастает распространение болезней бактериальной этиологии [41]. Существующая серьезная недооценка их вредоносности и неправильной своевременной диагностики связана с трудностями и дорогостоящими исследованиями при видовой и расовой идентификации [42].

Учеными С.Н. Шкляр, А.Н. Самохваловым, А.А. Масловой, А.Н. Игнатовым, Ю.Б. Рогачевым, Е.Г. Козарь, А.А. Ушаковым в разные годы выполнены фундаментальные исследования по идентификации, разработке и усовершенствованию методик оценки и отбора на устойчивость к болезням **бактериальной этиологии**: капусты – к слизистому и сосудистому бактериозу, лука – к бактериальной шейковой гнили, фасоли – к бурому и угловатому бактериозам. Выпущены методические рекомендации по биологии и методам защиты от сосудистого бактериоза капусты, разработан и защищен авторским свидетельством на изобретение “Способ получения мутантных штаммов фитопатогенных бактерий” для вакцинации капусты против этой вредоносной болезни [43,44,45]. В результате современных исследований предложен методический подход к оценке устойчивости капусты белокочанной к *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* с использованием этилированных и фотосинтезирующих проростков и изучены особенности влияния этого патогена на ростовые процессы в зависимости от расового состава возбудителя, степени устойчивости сорта [46].

В 80-90-е годы прошлого столетия научным сотрудником Н.П. Черемушкиной проведены важные исследования по изучению экологических связей **вирусных патогенов** в системе резерватор-переносчик-вирус и на их основе разработаны противовирусные мероприятия в семеноводстве различных видов лука и чеснока против наиболее вредоносных вирусопатогенов. Впервые идентифицирован опасный вредитель томата в Среднеазиатском регионе – эриофиидный клещ, который является вектор-переносчиком вирусной инфекции.

В последние годы также отмечается нарастание вредоносности фитовирусов, проявляющееся в снижении продуктивности и качества возделываемых сельскохозяйственных культур [41]. Учеными ФГБНУ ФНЦО на культуре салата (*Lactuca sativa* L.) идентифицированы вредоносные заболевания, вызываемые вирусом мозаики салата (*Lettuce mosaic virus*, LMV, *Potyvirus*, *Potyviridae*) и вирусом аспермии томата (*Tomato aspermy virus*, AsTV, *Cucumovirus*, *Bromoviridae*) [48]. На культурах семейства Fabaceae (фасоль, бобы, горошек душистый) в условиях Московского региона впервые идентифицированы вирус обыкновенной мозаики фасоли (*Bean common mosaic virus*, BCMV, *Potyvirus*, *Potyviridae*), вирус желтой мозаики фасоли (*Bean yellow mosaic virus*, BYMV, *Potyvirus*, *Potyviridae*), вирус обыкновенной мозаики гороха (*Pea mosaic virus*, PMV, *Potyvirus*, *Potyviridae*) [49,50,51]. Изучены биологические особенности московского изолята вируса обыкновенной мозаики фасоли. Установлено, что искусственная инокуляция вирусом при температуре ниже 26°C вызывала на молодых растениях фасоли вызвал слабую мозаику, тогда как при повышении температуры воздуха до 29°C на растениях фасоли появлялись типичные для вируса симптомы с последующей некролизацией пораженных тканей.

С помощью методов иммунодиагностики идентифицированы наиболее вредоносные и экономически значимые фитовирусы, поражающие культуры семейства Solanaceae (перец сладкий и томат): вирус табачной мозаики (*Tobacco mosaic virus*, TMV, *Tobamovirus*, *Virgaviridae*), вирус бронзовости томата (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV, *Tospovirus*, *Bunyaviridae*), вирус огуречной мозаики (*Cucumber mosaic virus*, CMV, *Cucumovirus*, *Bromoviridae*), X-вирус картофеля (*Potato virus X*, PVX, *Potexvirus*, *Alphaflexiviridae*), Y-вирус картофеля (*Potato virus Y*, PVY, *Potyvirus*, *Potyviridae*), вирус мозаики люцерны (*Alfalfa mosaic virus*, AMV, *Alfamovirus*, *Bromoviridae*) [49].

В нашем центре также приоритетными являются исследования не только комплексного изучения изменчивости популяций возбудителей болезней, но и факторов устойчивости растений в различных патосистемах, в том числе и генетической. В разные годы изменялись и совершенствовались методические подходы иммунологических исследований. В этой связи особое значение имеют проведенные сотрудниками ФГБНУ ФНЦО работы по межвидовой гибридизации, как способа интрогрессии генов устойчивости. Данная селекционная технология впервые позволила получить генетически разнообразный материал овощных культур и выделить перспективные устойчивые формы. При тесном сотрудничестве селекционеров с лабораториями предбридингового центра (биотехнологии, генетики и цитологии, иммунитета и защиты растений) получены новые рекомбинантные формы межвидовых гибридов, устойчивых к наиболее вредоносным заболеваниям. Так, на основе созданных межвидовых форм *A. cepa* × *A. fistulosum*, *A. cepa* × *A. oschanini*, *A. cepa* × *A. vavilovi* получены новые сорта лука с низким баллом поражения пероноспорозом и высокой урожайностью – Изумрудный, Сигма, Золотые купола, Цепариус; среди гибридного потомства от комбинаций скрещивания видов моркови *Daucus carota* × *D. luspidifolius*, *D. carota* × *D.*

gingidium, *D. carota* × *D.c. ssp. libanotifolia* выделены формы с сочетанием высокой устойчивости к альтернариозу; получены линии салата с устойчивостью к вирусу аспермии томата; с вовлечением видов перца *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense* и *C. baccatum*, удалось создать линии перца, толерантные к вирусу бронзовости томата [51,52,53,54,55].

Усовершенствована селекционная технология комплексной оценки пасленовых культур на устойчивость к болезням и пониженным температурам – путем поэтапной оценки холодостойкости генотипов по спорофиту (на стадии прорастания семян и сеянцев) и микрогаметофиту (на стадии цветения) с последующей оценкой устойчивости к вирусу на искусственном провокационном фоне. Данная технология способствовала получению исходного материала, созданию сортов и гибридов F₁ с пониженной теплотребовательностью и высокой устойчивостью к фитопатогенам: перца – к вирусу бронзовости томата, томата – к фитофторозу и вирусу табачной мозаики [55,56].

Прогресс молекулярно-генетических исследований в области овощеводства в последние десятилетия открывает новые возможности для отечественной селекции, облегчая задачу поиска источников и ускоряя создание генетических коллекций доноров хозяйственно ценных признаков. При селекции на устойчивость к различным болезням использование ДНК-маркеров направлено как на идентификацию патогена, поиск доноров генов резистентности, так и непосредственно на проведение маркер-опосредованной селекции (MAS). В ФГБНУ ФНЦО большое внимание уделяется селекции на устойчивость к наиболее вредоносному заболеванию томата – фитофторозу, которое может уничтожить до 100% урожая. В результате исследований создан высокоспецифичный маркер Ph3-412 гена устойчивости томата к фитофторозу *Ph-3*. Показано, что в сортах томата отечественной селекции при наличии гена *Ph-3* отсутствуют другие гомологи этого гена. У проанализированных образцов, в которых был обнаружен ген *Ph-3*, в его последовательности присутствовала вставка ретротранспозона. Наличие такой вставки может приводить к потере функциональной активности гена *Ph-3*, что необходимо учитывать при проведении MAS-селекции на фитофтороустойчивость с использованием маркирования генотипов по данному гену. Созданный маркер Ph3-412 позволяет выявлять такие доноры при совместном применении с маркером NC-LB-9-6678 и обеспечивает возможность их использования в селекции. [57]. Методом молекулярно-генетического анализа были проанализированы селекционные образцы фасоли овощной по трем основным генам *I*, *bc-1²*, *bc-3*, различное сочетание которых отвечает за устойчивость растений к вирусу обыкновенной мозаики фасоли (ВОМФ). Установлено, что высокий уровень полевой устойчивости фасоли к этому вирусу обеспечивало как совместное сочетание доминантного гена *I* с рецессивными *bc-1²* и *bc-3*, так и рецессивная устойчивость без доминантного гена. Показано, что гены *bc-1²* и *bc-3*, в отличие от доминантного гена, не влияют на репликацию и перемещение вируса от клетки к клетке, но влияют на его системное распространение [50].

Таким образом, на основе комплексного подхода к оценке коллекционного и селекционного материала

овощных культур разными фитопатологическими и иммунологическими методами на разных инфекционных фонах (инфекционный, провокационный, естественный), методов молекулярного маркирования и фенотипирования, сотрудниками иммунитета ежегодно выделяются источники резистентности овощных культур к фитопатогенам различной этиологии.

В рамках исследований по расширению ассортимента рекомендованных для применения в сельскохозяйственном производстве средств защиты растений особого внимания заслуживает вклад видных ученых нашего центра Н.М. Голышина, К.А. Гара, А.И. Мельниковой, А.А. Масловой, Ю.Б. Рогачева. Был испытан широкий спектр перспективных, экологически малоопасных инсектицидов, фунгицидов, регуляторов роста растений, определена их биологическая активность. Так, для борьбы с пероноспорозом лука репчатого выявлены эффективные баковые смеси системных и контактных фунгицидов: арцерид, ридополихом, тубарид, оксиком, авиксил, поликарбацин, полимарцин, купрацин-1, хомецин. Препараты акробат и акробат МЦ включены в список разрешенных для применения на семеноводческих посевах огурца от пероноспороза. Разработаны четыре эффективных фунгицидных состава для защиты растений от фитопатогенных грибов, которые защищены авторскими свидетельствами на изобретение [59,60,61].

В настоящее время одной из важных теоретических и практических задач, решаемых в ФГБНУ ФНЦО – экологизация овощеводства путем применения в системе интегрированной защиты растений экологически безопасных препаратов на основе природных соединений. Испытание экспериментальных биопрепаратов, полученных учеными ФГБНУ ФНЦО на основе консорциумов живых культур микроорганизмов, показало перспективность их применения от альтернариоза при выращивании томата в условиях Приморского края [62], снижению инфекционной нагрузки в ризосфере и увеличению урожайности капусты [63], снижению накопления поллютантов (кадмия) при выращивании моркови и свеклы [64].

При совместном участии ученых института экологической генетики, физиологии и микробиологии

Республики Молдова, сотрудники ФГБНУ ФНЦО ведут успешную работу по изучению биологической активности вторичных метаболитов растительного происхождения, обладающих широким спектром адаптогенного и иммуномодулирующего действия на овощные растения из разных семейств [65,66]. С этой точки зрения интерес представляют присутствующие в тканях высших растений вещества, определяющие их природную устойчивость к патогенам. К соединениям такого рода относится ряд полифенольных соединений, а также водорастворимый антиоксидант пигмент амарантин. Высокая биологическая активность амарантина, выделенного из *Amaranthus tricolor*, в сочетании с антиоксидантными и антифидантными свойствами, делают его перспективным фактором стрессоустойчивости растений при инвазии паразитическими нематодами. Показаны адаптогенные свойства амарантина в отношении растений томата, зараженных галловой нематодой. В зараженных растениях комплекс защитных механизмов, индуцированных действием экзогенного амарантина, включал стабилизацию фотосинтетических процессов, накопление антиоксидантов-каротиноидов [67].

Учеными ФГБНУ ФНЦО подготовлены и опубликованы практические рекомендации по методам защиты овощных культур открытого грунта от болезней и вредителей с учетом современного фитосанитарного состояния, рассмотрены приемы снижения вредности фитопатогенов, предложены регламенты применения актуальных фунгицидов и инсектицидов в различных почвенно-климатических зонах [68,69].

Современный коллектив ученых ФГБНУ ФНЦО, проводящих исследования в области фитопатологии, иммунологии, защиты овощных культур при взаимодействии с ведущими селекционерами центра и в дальнейшем готов к активному решению одной из первостепенных селекционных задач – получению устойчивых сортов овощных и бахчевых культур с помощью современных методических подходов, включая использование молекулярно-генетического анализа как для изучения изменчивости состава и агрессивности популяций фитопатогенов, так и для идентификации генов устойчивости у растений.

• Литература

- Масленников И.П., Пименова А.С. Защита растений от болезней и вредителей в овощном хозяйстве. Московский рабочий. 1949. 144 с.
- Масленников И.П. О вредителях семенников овощных культур и мерах борьбы с ними в овощном семеноводческом хозяйстве. ТСХА. 1951.
- Масленников И.П., Осипов К.Н. Вредители бахчевых культур. М.: Сельхозгиз. 1939.
- Пименова А.С. Болезни и вредители семенников капусты и меры борьбы с ними. Сад и огород. 1955;(6).
- Пименова А.С. Новый антисептик (бактерицид Збарского) в борьбе со склеротинией. М., 1940.
- Пименова А.С. Болезни овощных культур и меры борьбы с ними. В кн.: Семеноводство овощных культур. М., 1953.
- Долженко В.И. Охрана здоровья растений: вчера, сегодня, завтра. V Всероссийский конгресс по защите растений: Сборник тезисов докладов. Посвящается 300-летию Российской академии наук, Санкт-Петербург, 16–19 апреля 2024 года. Санкт-Петербург: Всероссийский институт защиты растений, 2024. С. 28. <https://elibrary.ru/sgauvv>
- Pethybridge S.J., Kikker J.R., Hanson L.E., Nelson S.C. Challenges and prospects for building resilient disease management strategies and tactics for the New York table beet industry. *Agronomy*, 2018;8(7):112. <https://doi.org/10.3390/agronomy8070112>
- West J.S., Townsend J.A., Stevens M., Fitt B.D.L. Comparative biology of different plant pathogens to estimate effects of climate change on crop diseases in Europe. *European Journal of Plant Pathology*. 2012;133(1):315-331. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9932-x>
- Санин С.С. Фитосанитарные вызовы современного интенсивного растениеводства. *Плодоводство и ягодное хозяйство России*. 2015;(43):178-183. <https://www.elibrary.ru/vebvlb>
- Velasquez A.C., Castroverde C.D.M., He S.Y. Plant—pathogen warfare under changing climate conditions. *Current Biology*. 2018;28(10):R619-R634. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.054>
- Рябушкина Н.А. Биотесты для скрининга аллелопатического потенциала диких и культурных видов растений. *Биотехнология. Теория и практика*. 2005;(5):5-15. <https://www.elibrary.ru/umwbtbx>
- Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф., Пышная О.Н., Гуркина Л.К., Пинчук Е.В. Селекция и семеноводство овощных культур – на инновационный путь развития. *Овощи России*. 2023;(1):5-13. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-5-13>
- <https://www.elibrary.ru/wzovbp>
- Корганова Н.Н. Методика оценки устойчивости огурцов к оливковой пятнистости. ВАСХНИЛ. М., 1970.
- Ореховская М.В., Гуркина Л.К. Методические рекомендации по защите семеноводческих посевов овощных культур от болезней и вредителей. М.:ВНИИССОК. 1969. 18 с.
- Ореховская М.В., Гуркина Л.К. Вредители и болезни овощных культур и меры борьбы с ними. М., 1987. 15-29 с.
- Першина Г.Ф. Патогенез сухой фузариозной гнили моркови и способы борьбы с комплексом болезней в семеноводстве. М., 1988.
- Коротцева И.Б., Корганова Н.Н., Кочеткова Л.А. Подбор сортов огурца, устойчивых к пероноспорозу. *Картофель и овощи*. 2005;(4):10-11. <https://www.elibrary.ru/yipokn>
- Ганнибал Ф.Б. Современные представления о биоразнообразии

- фитопатогенных грибов. V Всероссийский конгресс по защите растений : Сборник тезисов докладов. Посвящается 300-летию Российской академии наук, Санкт-Петербург, 16–19 апреля 2024 года. Санкт-Петербург: Всероссийский институт защиты растений, 2024. С. 27. <https://www.elibrary.ru/gaasms>
20. Gannibal Ph.B. Polyphasic Approach to Fungal Taxonomy. *Biology Bulletin Reviews*. 2022;12(1):18-28. <https://doi.org/10.1134/s2079086422010029> <https://www.elibrary.ru/oryxix>
21. Taylor J.W., Jacobson D.J., Kroken S., Kasuga T., Geiser D.M., Hobbett D.S., Fisher M.C. Phylogenetic Species Recognition and Species Concepts in Fungi. *Fungal genetics and biology*. 2000;(31):21-32. <https://doi.org/10.1006/fghi.2000.1228>
22. Hami A., Rasool R.S., Khan N.A., Mansoor S., Mir M.A., Ahmed N., Masoodi K.Z. Morpho-Molecular Identification and First Report of Fusarium Equiseti in Causing Chili Wilt from Kashmir (Northern Himalayas). *Scientific Reports*. 2021;(11):3610. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82854-5>
23. Shaheen N., Khan U.M., Azhar M.T., Tan D.K., Atif R.M., Israr M., Yang S.-H., Chung G., Rana I.A. Genetics and Genomics of Fusarium Wilt of Chilies: A Review. *Agronomy*. 2021;(11):2162.
24. Engalycheva I., Kozar E., Vetrova S., et al. Fusarium species causing pepper wilt in Russia Molecular identification and pathogenicity. *Microorganisms*. 2024;(12):343-359. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12020343>
25. Vetrova S., Alyokhina K., Engalycheva I., Kozar E., Mukhina K., Sletova M., Krivenkov L., Tikhonova T., Kameneva A., Frolova S., et al. Identification and Pathogenicity of Fusarium Species Associated with Onion Basal Rot in the Moscow Region of Russian Federation. *J. Fungi*. 2024;(10):331. <https://doi.org/10.3390/jof10050331>
26. Anisimova O.K., Seredin T.M., Danilova O.A., Filyushin M. First report of fusarium proliferatum causing garlic clove rot in Russian Federation. *Plant Disease*. 2021;105(10):3308. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-20-2743-PDN>
27. Дьяките С., Поляков А.В., Стахеев А.А., Алексеева Т.В., Завриев С.К., Said R.R. Видовой состав грибов рода *Fusarium* Link на культуре чеснока в условиях Московской области. *Сельскохозяйственная биология*. 2022;57(1):151-157. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.151rus> <https://www.elibrary.ru/zhqsf>
28. Енгальчева И.А., Козарь Е.Г., Пронина Е.П., Ушаков В.А. Иммунологическая оценка нового перспективного сорта бобов овощных (*Vicia faba* L.) Русские белые на устойчивость к наиболее вредоносным фитопатогенам. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022;(1):8-12. <https://doi.org/10.31857/S2500262722010021> <https://www.elibrary.ru/ebpns>
29. Тихонова Т.О., Козарь Е.Г., Енгальчева И.А., Степанов В.А. Скрининг коллекционных образцов моркови столовой и поиск источников устойчивости к белой гнили. *Таврический вестник аграрной науки*. 2023;4(36):159–173. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10280831> <https://www.elibrary.ru/kjnhps>
30. Engalycheva I., Kozar E., Ushakov A. Cornerstone of strategy aimed at creation of resistant variants of carrot (*Daucus carota* L.) to white and gray rot pathogens at the Federal Scientific Vegetable Center (FGBNU FNCO, Russia). *Proceedings of the X International Scientific Agricultural Symposium "AgroSym 2019"*. Jahorina (Bosnia and Herzegovina), 2019. P. 1090–1098.
31. Тимина Л.Т., Енгальчева И.А. Патогенная микробиота на овощных культурах в условиях Центрального региона РФ. *Селекция и семеноводство овощных культур*. 2014;(45):530-539. <https://www.elibrary.ru/uqeqld>
32. Соколова Л.М. Система комплексного применения селекционноиммунологических методов для создания сортов и гибридов моркови столовой с групповой устойчивостью к *Alternaria* sp. и *Fusarium* sp. Методические рекомендации. Москва, 2022. 56 с. <https://www.elibrary.ru/jvdkvs>
33. Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Енгальчева 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> <https://www.elibrary.ru/fibqxb>
34. Козарь Е.Г., Ветрова С.А., Енгальчева И.А., Федорова М.И. Оценка устойчивости селекционного материала свеклы столовой к церкоспорозу на фоне эпифитотии в условиях защищенного грунта Московской области. *Овощи России*. 2019;(6):124-132. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-124-132> <https://www.elibrary.ru/xchhd>
35. Ветрова С.А., Козарь Е.Г., Мухина К.С. Оценка селекционного материала свеклы столовой на устойчивость к церкоспорозу. Генофонд и селекция растений: Материалы 7-й Международной конференции «Генофонд и селекция растений», посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова (Новосибирск, Россия, 10–12 апреля 2024 г.). Федер. центр Ин-т цитологии и генетики Сиб. отделения Рос. академии наук. Новосибирск: ИЦИГ СО РАН, 2024. С.83-88. <https://doi.org/10.18699/GPB2024-22>
36. Слетова М.Е. Видовой состав возбудителей настоящей мучнистой росы тыквенных культур. *Овощи России*. 2022;(4):91-97. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-4-91-97> <https://www.elibrary.ru/nbftf>
37. Слетова М.Е., Коротцева И.Б., Каменева А.В., Чижик В.К., Белов С.Н. Идентификация и изучение патогенных свойств гриба *Podosphaera xanthii* – возбудителя настоящей мучнистой росы на культурах семейства *Cucurbitaceae*. Современная микология в России. Т. 10. Материалы международного микологического форума. М.: Национальная академия микологии, 2024. С.280-282. ISBN 978-5-901578-47-6.
38. Коротцева И.Б., Белов С.Н., Слетова М.Е. Селекция огурца для весенних пленочных теплиц на устойчивость к настоящей мучнистой росе. *Овощи России*. 2024;(1):61-67. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-1-61-67> <https://www.elibrary.ru/kcldgx>
39. Синиченко Н.А., Козарь Е.Г., Ванюшкина И.А., [и др.] Создание исходного материала томата на устойчивость к возбудителям альтернариоза. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 23 мая 2023 года. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. С. 242-248. <https://www.elibrary.ru/kthvix>
40. Енгальчева И.А., Козарь Е.Г., Каменева А.В., Корнилова М.С. Состав и агрессивность микромицетов патокмлекса *Cucumis melo* L. в условиях богары волгоградской области. *Биосфера*. 2022;14(4):311-315. <https://www.elibrary.ru/ssenrd>
41. Scholthof K.B.G., Adkins S., Czosnek H., Palukaitis P., Jacquot E., Hohn T., Hohn B., Saunders K., Candresse T., Ahlquist P., Hemenway C., Foster G.D. Top 10 plant viruses in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*. 2011;12(9):938-954. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00752.x>
42. Yu L., Zhang C., Shang H., Wang X., Wei M., Yang F., Shi Q. Exogenous hydrogen sulfide enhanced antioxidant capacity, amylase activities and salt tolerance of cucumber hypocotyls and radicles. *Journal of Integrative Agriculture*. 2013;12(3):445-456. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60245-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60245-2)
43. 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;30(3):115.
44. Игнатов А.Н., Поляков К.Л., Самохвалов А.Н. Количественный анализ серологических признаков *Xanthomonas campestris*. *Сельскохозяйственная биология*. 1998;33(1):106-169.
45. Самохвалов А.Н., Игнатов А.Н., Рогачев Ю.Б., Колесников И.М. Сосудистый бактериоз капусты: биология и методы защиты. *Картофель и овощи*. 1997;(2):25.
46. Ушаков А.А., Козарь Е.Г., Енгальчева И.А. Влияние *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* на рост этилированных и фотосинтезирующих проростков *Brassica oleracea*. *Овощи России*. 2019;(6):133-140. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-133-140> <https://www.elibrary.ru/wgpis>
47. Енгальчева И.А., Павлова О.В. Межвидовая гибридизация салата (*Lactuca sativa* L.) в селекции на устойчивость к Tomato aspermy cucumovirus. *Вестник защиты растений*. 2016;3(89):68-70. <https://www.elibrary.ru/wyrczt>
48. Енгальчева И.А., Козарь Е.Г., Антошкин А.А., Пронина Е.П., Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Щелканов М.Ю., Гапека А.В. Перспективы селекции овощных культур семейства Fabaceae на устойчивость к вирусу желтой мозаики фасоли (Potyvirus, Potyviridae) в условиях Московской области. *Овощи России*. 2018;(6):77-83. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-6-77-83> <https://www.elibrary.ru/yppjpv>
49. Енгальчева И.А., Козарь Е.Г. Основные направления исследований вирусных болезней овощных культур в ФГБНУ ФНЦО (мониторинг, иммунитет, источники устойчивости). *Аграрная наука*. 2019;(S3):79-85. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-79-85> <https://www.elibrary.ru/irkfmy>
50. Енгальчева И.А., Козарь Е.Г., Домблдес А.С., Антошкин А.А., Пивоваров В.Ф., Ушаков А.А., Ушаков В.А. Особенности развития вируса обыкновенной мозаики фасоли (Potyvirus, Potyviridae) в условиях Московского региона и исходный материал для селекции на устойчивость. *Сельскохозяйственная биология*. 2020;55(5):901-919. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.5.901rus> <https://www.elibrary.ru/huvkhl>
51. Тимин Н.И., Агафонов А.Ф., Гуркина Л.К. и др. Межвидовая гибридизация в роде *Allium* L. и ее использование (методические рекомендации). М., 2007. 47 с.
52. Пивоваров В.Ф., Пышная О.Н., Мамедов М.И. и др. Методические рекомендации по оценке и созданию исходного материала перца сладкого с устойчивостью к вирусу бронзовости томата. М., 2007. 24 с.
53. Тимин Н.И., Пышная О.Н., Агафонов А.Ф. и др. Межвидовая гибридизация овощных растений (*Allium* L. – лук, *Daucus* L. – морковь, *Capsicum* L. – перец). М., 2013. 188 с. ISBN: 978-5-901695-59-3 <https://www.elibrary.ru/vrqhyt>
54. Енгальчева И.А., Павлова О.В. Межвидовая гибридизация салата (*Lactuca sativa* L.) в селекции на устойчивость к Tomato Aspermy Cucumovirus. *Вестник защиты растений*. 2016;(3):68-69. <https://www.elibrary.ru/wyrczt>
55. Енгальчева И.А., Пышная О.Н., Джос Е.А. и др. Использование межвидовой гибридизации в селекции перца и салата на устойчивость к вирусной инфекции. *Russian Agricultural Science Review*. 2015;(6):2-4. <https://www.elibrary.ru/ubzyuj>
56. Пивоваров В.Ф., Балашова И.Т., Балашова Н.Н., Козарь Е.Г., Скворцова Р.В., Мамедов М.И., Пышная О.Н., Гуркина Л.К., Беспалько А.В., Урсуп Н.А., Пинчук Е.В., Полетаева И.А. Селекционные технологии, созданные во ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур на основе методов молекулярного анализа и селекции по микрогаметофиту. *Сельскохозяйственная биология*. 2005;40(3):92-100. <https://www.elibrary.ru/pgckoh>
57. Пинчук Е.В. Исходный материал для селекции томата с комплексной устойчивостью к абиотическим и биотическим стрессорам нечерноземной зоны, полученный на основе методов молекулярного анализа и гаметной селекции. М., 2005.
58. Мартынов В.В., Козарь Е.Г., Енгальчева И.А. Особенности первичной структуры гена Ph-3, выявленные при создании нового маркера устойчивости томата к фитофторозу. *Сельскохозяйственная биология*. 2022;57(5):954-964. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.5.954rus> <https://www.elibrary.ru/hbxwcl>
59. Гар К.А. Новые технологические разработки и семеноводство овощных культур. М.: ВНИИССОК. 1987. 12 с.
60. Гольшин Н.М. Фунгициды в сельском хозяйстве. М.:ВНИИССОК. 1982. 15 с.
61. Гольшин Н.М. Химические и биологические средства защиты растений. М.:ВНИИССОК. 1989. 25-37 с.
62. Синиченко Н. А., Ванюшкина И. А., Козарь Е. Г., Маркарова М. Ю.

Влияние биопрепаратов различной природы на развитие альтернариоза и урожайности растений томата в условиях Приморского края. *Известия ФНЦО*. 2023;(1):25-31. <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2023-1-25-31> <https://www.elibrary.ru/wovluf>

63. Markarova A.E., Markarova M.Y., Razin O.A., Nadezhkin S.M. The microorganisms natural consortia effectiveness in the white cabbage crop cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. P. 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/953/1/012035>. <https://www.elibrary.ru/jfmsqa>

64. Ушакова О.В., Маркарова М.Ю., Надежкин С.М. Перспективы использования биопрепаратов для нейтрализации кадмиевого стресса у овощных культур (на примере корнеплодных культур). Проблемы загрязнения объектов окружающей среды тяжелыми металлами: труды международной конференции, Тула, 28–30 сентября 2022 года. Тула: Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, 2022. С. 226–229. <https://www.elibrary.ru/lstutj>

65. Кайгородова И. М., Козарь Е. Г., Енгальчева И. А., Ушаков В. А. Влияние предпосевной обработки фитопрепаратами на продуктивность растений гороха овощного (*Pisum sativum* L.). Достижения и перспективы развития АПК России: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной памяти Р.Г. Гареева, Казань, 30–31 марта 2023 года. Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2023. С. 261–264. https://doi.org/10.37071/conferencearticle_65817337b539b7.19907362 <https://www.elibrary.ru/bboexa>

66. Козарь Е.Г., Енгальчева И.А., Антошкин А.А., Машенко Н.Е. Скрининг биологической активности фитопрепаратов на основе вторичных метаболитов растений на культуре *Phaseolus vulgaris*. *Овощи России*. 2021;(5):89–97. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-89-97> <https://www.elibrary.ru/jcdhyj>

67. Gins M.S., Gins V.K., Kononkov P.F. The effect of amaranthine on the stress-resistance of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) invaded by the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Agricultural Biology*. 2020;55(1):97–106. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.1.97rus> <https://www.elibrary.ru/phcpeb>

68. Алексеева К.Л., Деревщников С.Н., Ванюшкина И.А., Шишкина Е.В., Мишунов Н.П., Щеголихина Т.А. Методы защиты овощных культур открытого грунта от болезней и вредителей. Практические рекомендации. Изд.: ФГБУ "Росинформагротех". 2022. 112 с. <https://www.elibrary.ru/gdsgss>

69. Шишкина Е.В., Одерова Е.В. Применение современных средств защиты капусты белокачанной от листогрызущих вредителей. Обеспечение продовольственной безопасности: стратегия и решения: Сборник материалов международного научно-практического агрофорума, Екатеринбург, 26–27 июля 2023 года. Екатеринбург: Издательство Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», 2023. С. 24–30. <https://www.elibrary.ru/wxmxyz>

• References / Литература

1. Maslennikov I.P., Pimenova A.S. Protection of plants from diseases and pests in vegetable farming. Moscow worker. 1949. 144 p. (In Russ.)

2. Maslennikov I.P. On pests of vegetable seed plants and measures to combat them in vegetable seed farming. TSHA. 1951. (In Russ.)

3. Maslennikov I.P., Osipov K.N. Pests of melons and melons. M.: Selkhozgiz. 1939. (In Russ.)

4. Pimenova A.S. Diseases and pests of cabbage seeds and measures to combat them. Garden. 1955;(6). (In Russ.)

5. Pimenova A.S. New antiseptic (Zbarsky bactericide) in the fight against *Sclerotinia*. M., 1940. (In Russ.)

6. Pimenova A.S. Diseases of vegetable crops and measures to combat them. In the book: Seed production of vegetable crops. M., 1953. (In Russ.)

7. Dolzhenko V.I. Protecting plant health: yesterday, today, tomorrow. V All-Russian Congress on Plant Protection: Collection of abstracts Dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, April 16–19, 2024. St. Petersburg: All-Russian Institute of Plant Protection, 2024. P. 28. (In Russ.) <https://elibrary.ru/sgauvv>

8. Pethybridge S.J., Kikler J.R., Hanson L.E., Nelson S.C. Challenges and prospects for building resilient disease management strategies and tactics for the New York table beet industry. *Agronomy*, 2018;8(7):112. <https://doi.org/10.3390/agronomy8070112>

9. West J.S., Townsend J.A., Stevens M., Fitt B.D.L. Comparative biology of different plant pathogens to estimate effects of climate change on crop diseases in Europe. *European Journal of Plant Pathology*. 2012;133(1):315–331. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9932-x>

10. Sanin S.S. Phytosanitary challenges in the contemporary intensive plant cultivation. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2015;(43):178–183. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/veblvb>

11. Velasquez A.C., Castroverde C.D.M., He S.Y. Plant–pathogen warfare under changing climate conditions. *Current Biology*. 2018;28(10):R619–R634. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.054>

12. Ryabushkina N.A. Biotests for screening the allelopathic potential of wild and cultivated plant species. *Eurasian Journal of Applied Biotechnology*. 2005;(5):5–15. <https://www.elibrary.ru/umwtwx>

13. Soldatenko A.V., Pivovarov V.F., Pyshnaya O.N., Gurkina L.K., Pinchuk E.V. Selection and seed production of vegetable crops – on an innovative path of development. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(1):5–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-5-13> <https://www.elibrary.ru/wzovbp>

14. Korganova N.N. Methodology for assessing the resistance of cucumbers to olive blotch. VASKHNIL. M., 1970. (In Russ.)

15. Orekhovskaya M.V., Gurkina L.K. Methodological recommendations for

the protection of seed crops of vegetable crops from diseases and pests. M.: VNISSOK. 1969. 18 p. (In Russ.)

16. Orekhovskaya M.V., Gurkina L.K. Pests and diseases of vegetable crops and measures to combat them. M., 1987. 15–29 p. (In Russ.)

17. Pershina G.F. Pathogenesis of fusarium dry rot of carrots and methods of combating a complex of diseases in seed production. M., 1988. (In Russ.)

18. Korotseva I.B., Korganova N.N., Kochetkova L.A. Selection of cucumber varieties resistant to downy mildew. *Potato and vegetables*. 2005;(4):10–11. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/yipokn>

19. Gannibal Ph.B. Modern ideas about the biodiversity of phytopathogenic fungi. V All-Russian Congress on Plant Protection: Collection of abstracts Dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, April 16–19, 2024. St. Petersburg: All-Russian Institute of Plant Protection, 2024. P. 27. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/gaasms>

20. Gannibal Ph.B. Polyphasic Approach to Fungal Taxonomy. *Biology Bulletin Reviews*. 2022;12(1):18–28. <https://doi.org/10.1134/s2079086422010029> <https://www.elibrary.ru/oryxix>

21. Taylor J.W., Jacobson D.J., Kroken S., Kasuga T., Geiser D.M., Hibbett D.S., Fisher M.C. Phylogenetic Species Recognition and Species Concepts in *Fungi*. *Fungal genetics and biology*. 2000;(31):21–32. <https://doi.org/10.1006/fgbi.2000.1228>

22. Hami A., Rasool R.S., Khan N.A., Mansoor S., Mir M.A., Ahmed N., Masoodi K.Z. Morpho-Molecular Identification and First Report of Fusarium Equiseti in Causing Chilli Wilt from Kashmir (Northern Himalayas). *Scientific Reports*. 2021;(11):3610. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82854-5>

23. Shaheen N., Khan U.M., Azhar M.T., Tan D.K., Atif R.M., Israr M., Yang S.-H., Chung G., Rana I.A. Genetics and Genomics of Fusarium Wilt of Chillies: A Review. *Agronomy*. 2021;(11):2162.

24. Engalycheva I., Kozar E., Vetrova S., et al. Fusarium species causing pepper wilt in Russia Molecular identification and pathogenicity. *Microorganisms*. 2024;(12):343–359. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12020343>

25. Vetrova S., Alyokhina K., Engalycheva I., Kozar E., Mukhina K., Sletova M., Krivenkov L., Tikhonova T., Kameneva A., Frolova S., et al. Identification and Pathogenicity of Fusarium Species Associated with Onion Basal Rot in the Moscow Region of Russian Federation. *J. Fungi*. 2024;(10):331. <https://doi.org/10.3390/jof10050331>

26. Anisimova O.K., Seredin T.M., Danilova O.A., Filyushin M. First report of fusarium proliferation causing garlic clove rot in Russian Federation. *Plant Disease*. 2021;105(10):3308. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-20-2743-PDN>

27. Diakite S., Polyakov A.V., Stakheev A.A., Alekseeva T.V., Zavriev S.K., Said R.R. Species composition of fungi of the genus *Fusarium* Link on garlic plants in Moscow region. *Agricultural biology*. 2022;57(1):151–157. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.151rus> <https://www.elibrary.ru/zhsqsf>

28. Engalycheva I.A., Kozar E.G., Pronina E.P., Ushakov V.A. The immunological evaluation of a new promising variety of vegetable beans (*Vicia faba* L.) Russkaya belaya for resistance to the most harmful phytopathogens. *Rossiiskaya selskokhoziaistvennaya nauka*. 2022;(1):8–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2500262722010021> <https://www.elibrary.ru/ebptsn>

29. Vetrova S.A., Kozar E.G., Engalycheva I.A., Mukhina K.S. Screening of beetroot breeding lines for resistance to phomosis. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2023;4(36):159–173. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.10280831> <https://www.elibrary.ru/kjnhps>

30. Engalycheva I., Kozar E., Ushakov A. Cornerstone of strategy aimed at creation of resistant variants of carrot (*Daucus carota* L.) to white and gray rot pathogens at the Federal Scientific Vegetable Center (FGBNU FNCO, Russia). *Proceedings of the X International Scientific Agricultural Symposium "AgroSym 2019". Jahorina (Bosnia and Herzegovina)*, 2019. P. 1090–1098.

31. Timina L.T., Engalycheva I.A. Pathogenic mycobiota of vegetable crops in condition of central region of Russia. *Breeding and seed production of vegetable crops*. 2014;(45):530–539. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/ukeqlid>

32. Sokolova L.M. A system for the integrated application of selection and immunological methods for the creation of varieties and hybrids of table carrots with group resistance to *Alternaria* sp. and *Fusarium* sp. *Guidelines*. Moscow, 2022. 56 p. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/ydvkvs>

33. Vetrova S.A., Kozar E.G., Engalycheva I.A., Mukhina K.S. Screening of beetroot breeding lines for resistance to phomosis. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2023;4(36):38–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.10276686> <https://www.elibrary.ru/fibqxb>

34. Kozar E.G., Vetrova S.A., Engalycheva I.A., Fedorova M.I. Evaluation of the resistance of the breeding material beetroot to *Cercospora* amid epiphytity in greenhouses the Moscow region. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(6):124–132. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-124-132> <https://www.elibrary.ru/xxchhd>

35. Vetrova S.A., Kozar E.G., Mukhina K.S. Evaluation of red beet breeding material for resistance to cercospora blight. Gene pool and plant breeding: Proceedings of the 7th International Conference "Gene pool and plant breeding", dedicated to the 95th anniversary of Academician of the Russian Academy of Sciences P.L. Goncharova (Novosibirsk, Russia, April 10–12, 2024). Novosibirsk: Institute of Cytology and Genetics, 2024. P.83–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/GPB2024-22>

36. Sletova M.E. Species composition and identification of pathogens of real powdery mildew of pumpkin crops. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(4):91–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-4-91-97> <https://www.elibrary.ru/nbiftf>

37. Sletova M.E., Korotzeva I.B., Kameneva A.V., Chizhik V.K., Belov S.N. Identification and study of the pathogenic properties of the fungus *Podosphaera xanthii*, the causative agent of powdery mildew on crops of the *Cucurbitaceae* family. Modern mycology in Russia. T. 10. Materials of the international mycological forum. M.: National Academy of Mycology,

2024. P.280-282. ISBN 978-5-901578-47-6. (In Russ.)
38. Korotseva I.B., Belov S.N., Sletova M.E. Cucumber breeding for spring film greenhouses for resistance to real powdery mildew. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(1):61-67. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-1-61-67> <https://www.elibrary.ru/kclgdx>
39. Sinichenko N.A., Kozar E.G., Vanyushkina I.A., et al. Creation of tomato source material for resistance to *Alternaria* pathogens. Innovative technologies in the agro-industrial complex: Materials of the international scientific and practical conference, Voronezh, May 23, 2023. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2023. P. 242-248. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/kthvix>
40. Engalycheva I.A., Kozar E.G., Kameneva A.V., Kornilova M.S. *Cucumis melo* L. micromycetes pathocomplex composition and aggressiveness in dry farming land in Volgograd Region. *Biosfera*. 2022;14(4):311-315. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/ssenrd>
41. Scholthof K.B.G., Adkins S., Czosnek H., Palukaitis P., Jacquot E., Hohn T., Hohn B., Saunders K., Candresse T., Ahlquist P., Hemenway C., Foster G.D. Top 10 plant viruses in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*. 2011;12(9):938-954. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00752.x>
42. Yu L., Zhang C., Shang H., Wang X., Wei M., Yang F., Shi Q. Exogenous hydrogen sulfide enhanced antioxidant capacity, amylase activities and salt tolerance of cucumber hypocotyls and radicles. *Journal of Integrative Agriculture*. 2013;12(3):445-456. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60245-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60245-2)
43. 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 bacterial pathogens and clubroot. *Agricultural biology*. 1995;30(3):115.
44. Ignatov A.N., Polyakov K.L., Samokhvalov A.N. Quantitative analysis of serological characteristics of *Xanthomonas campestris*. *Agricultural biology*. 1998;33(1):106-169. (In Russ.)
45. Samokhvalov A.N., Ignatov A.N., Rogachev Yu.B., Kolesnikov I.M. Vascular bacteriosis of cabbage: biology and methods of protection. *Potato and vegetables*. 1997;(2):25. (In Russ.)
46. Ushakov A.A., Kozar E.G., Engalycheva I.A. Influence of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* on the growth of etiolated and photosynthetic seedlings of Brassica oleracea. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(6):133-140. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-133-140> <https://www.elibrary.ru/wgpius>
47. Engalycheva I.A., Pavlova O.V. Interspecies hybridization of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in selection for resistance to tomato aspermy cucumovirus. *Plant protection news*. 2016;3(89):68-70. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/wyrczt>
48. Engalycheva I.A., Kozar E.G., Antoshkin A.A., Pronina E.P., Volkov Y.G., Kakareka N.N., Shchelkanov M.Y., Gapeka A.V. Perspectives of breeding of vegetable crops of Fabaceae family to bean yellow mosaic virus (Potyvirus, Potyviridae) resistance in the conditions of Moscow region. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(6):77-83. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-6-77-83>
49. Engalycheva I.A., Kozar E.G. Key research areas for vegetable crops in Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) (monitoring, immunity, resistance sources). *Agrarian science*. 2019;(S3):79-85. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-79-85> <https://www.elibrary.ru/irkfmy>
50. Engalycheva I.A., Kozar E.G., Domblides A.S., Antoshkin A.A., Pivovarov V.F., Ushakov A.A., Ushakov V.A. Development peculiarities of bean common mosaic virus (potyvirus, potyviridae) in Moscow region and initial material for resistance breeding. *Agricultural biology*. 2020;55(5):901-919. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.5.901rus> <https://www.elibrary.ru/huvkhl>
51. Timin N.I., Agafonov A.F., Gurkina L.K. and others. Interspecific hybridization in the genus *Allium* L. and its use (methodological recommendations). M., 2007. 47 p. (In Russ.)
52. Pivovarov V.F., Pyshnaya O.N., Mamedov M.I. and others. Methodological recommendations for the evaluation and creation of source material of sweet pepper with resistance to tomato bronze virus. M., 2007. 24 p. (In Russ.)
53. Timin N.I., Pyshnaya O.N., Agafonov A.F. etc. Interspecific hybridization of vegetable plants (*Allium* L. - onion, *Daucus* L. - carrot, *Capsicum* L. - pepper). M., 2013. 188 p. ISBN: 978-5-901695-59-3. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/vrqhyt>
54. Engalycheva I.A., Pavlova O.V. Interspecies hybridization of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in selection for resistance to tomato aspermy cucumovirus. *Plant protection news*. 2016;(3):68-69. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/wyrczt>
55. Engalycheva I.A., Pyshnaya O.N., Jos E.A. and others. The use of interspecific hybridization in the selection of pepper and lettuce for resistance to viral infection. *Russian Agricultural Science Review*. 2015;(6):2-4. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/ubzyuj>
56. Pivovarov V.F., Balashova I.T., Balashova N.N., Kozar' E.G., Skvortsova R.V., Mamedov M.I., Pyshnaya O.N., Gurkina L.K., Bespal'ko A.V., Ursul N.A., Pinchuk E.V., Poletaeva I.A. Selective technologies created in All-Russian Scientific Research Institute of Selection and Seed Growing of Vegetable Crops on the basis of molecular analysis and selection on microgametophyte. *Agricultural biology*. 2005;40(3):92-100. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/pgckoh>
57. Pinchuk E.V. Initial material for the selection of tomato with complex resistance to abiotic and biotic stressors of the non-chernozem zone, obtained on the basis of molecular analysis and gamete selection methods. M., 2005. (In Russ.)
58. Martynov V.V., Kozar' E.G., Engalycheva I.A. Features of the primary structure of the ph-3 gene, revealed by development of a new gene-based marker of late blight resistance in tomato. *Agricultural biology*. 2022;57(5):954-964. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.5.954rus> <https://www.elibrary.ru/hbxwcl>
59. Gar K.A. New technological developments and seed production of vegetable crops. M.: VNISSOK. 1987. 12 p. (In Russ.)
60. Golyshin N.M. Fungicides in agriculture. M.: VNISSOK. 1982. 15 p. (In Russ.)
61. Golyshin N.M. Chemical and biological plant protection products. M.: VNISSOK. 1989. 25-37 p. (In Russ.)
62. Sinichenko N.A., Vanyushkina I.A., Kozar E.G., Markarova M.Yu. Influence of biological preparations of various nature on the development of alternariosis and the yield of tomato plants in the conditions of Primorsky krai. *News of FSVC*. 2023;(1):25-31. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2023-1-25-31> <https://www.elibrary.ru/wovluf>
63. Markarova A.E., Markarova M.Y., Razin O.A., Nadezhkin S.M. The microorganisms natural consortia effectiveness in the white cabbage crop cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. P. 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/953/1/012035> <https://www.elibrary.ru/jfmsqa>
64. Ushakova O.V., Markarova M.Yu., Nadezhkin S.M. Prospects of using biological products to neutralize cadmium stress in vegetable crops (on the example of root crops). Problems of pollution of environmental objects with heavy metals: proceedings of the international conference, Tula, September 28-30, 2022. Tula: Tula State Pedagogical University named after L.N. Tolstoy, 2022. P. 226-229. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/lstntuj>
65. Kaygorodova I.M., Kozar E.G., Engalycheva I.A., Ushakov V.A. The influence of pre-sowing treatment with herbal preparations on the productivity of vegetable pea plants (*Pisum sativum* L.). Achievements and prospects for the development of the Russian agro-industrial complex: Materials XIII All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, dedicated to the memory of R.G. Gareeva, Kazan, March 30-31, 2023. Kazan: Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2023. P. 261-264. (In Russ.) <https://doi.org/10.37071/conferencearticle.65817337b539b7.19907362> <https://www.elibrary.ru/bboexa>
66. Kozar E.G., Engalycheva I.A., Antoshkin A.A., Mashchenko N.E. Screening of biological activity of phytopreparations based on secondary metabolites of plants on the culture of *Phaseolus vulgaris*. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(5):89-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-89-97>
67. Gins M.S., Gins V.K., Kononkov P.F. The effect of amarantine on the stress-resistance of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) invaded by the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Agricultural Biology*. 2020;55(1):97-106. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.1.97rus> <https://www.elibrary.ru/phcpeb>
68. Alekseeva K.L., Derevshchukov S.N., Vanyushkina I.A., Shishkina E.V., Mishurov N.P., Shchegolikina T.A. Methods of protection of vegetable crops of open ground from diseases and pests. 2022. 112 p. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/gdsgss>
69. Shishkina E.V., Oderova E.V. The of modern protection products for white cabbage from leaf-eating pests. Ensuring food security: strategy and solutions: Collection of materials from the international scientific and practical agricultural forum, Yekaterinburg, July 26-27, 2023. Ekaterinburg: 2023. P. 24-30. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/wxmxiz>

Об авторах:

Ирина Александровна Енгальчева – кандидат с.-х. наук, зав. лаб. молекулярно-иммунологических исследований, <https://orcid.org/0000-0003-4843-111X>, SPIN-код: 2084-2830, автор для переписки, engirina1980@mail.ru

Елена Георгиевна Козарь – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаб. молекулярно-иммунологических исследований, SPIN-код: 1148-5177, <https://orcid.org/0000-0002-1319-5631>, kozar_eg@mail.ru

Александр Анатольевич Ушаков – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаб. молекулярно-иммунологических исследований, <https://orcid.org/0000-0003-0386-4595>, SPIN-код: 5512-8772, usasa74@rambler.ru

About the Authors:

Irina A. Engalycheva – Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Laboratory of Molecular Immunological Research, <https://orcid.org/0000-0003-4843-111X>, SPIN-code: 2084-2830, Correspondence Author, engirina1980@mail.ru

Elena G. Kozar – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Laboratory of Molecular Immunological Research, <https://orcid.org/0000-0002-1319-5631>, SPIN-code: 1148-5177, kozar_eg@mail.ru

Alexander A. Ushakov – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory of Molecular Immunological Research, <https://orcid.org/0000-0003-0386-4595>, SPIN-code: 5512-8772, usasa74@rambler.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-15-22>
УДК 635.656:632.484.21

С.П. Кузьмина*, Н.Г. Казыдуб,
Л.Я. Плотникова, М.Ю. Куколева

ФГБОУ ВО «Омский государственный
аграрный университет имени П.А. Столыпина»
644008, г. Омск-8,
ул. Институтская площадь, 1

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

Конфликт интересов. Авторы данной статьи указывают на отсутствие финансовой поддержки/конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Вклад авторов: Кузьмина С.П.: проведение полевых опытов по оценке устойчивости к ржавчине, обработка и анализ экспериментальных данных, написание и редактирование рукописи. Казыдуб Н.Г.: научное руководство исследованиями, методология, написание и редактирование рукописи. Плотникова Л.Я.: редактирование рукописи. Куколева М.Ю.: проведение полевых исследований.

Для цитирования: Кузьмина С.П., Казыдуб Н.Г., Плотникова Л.Я., Куколева М.Ю. Скрининг селекционного материала гороха овощного по устойчивости к ржавчине в Омском ГАУ. *Овощи России*. 2024;(4):15-22.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-15-22>

Поступила в редакцию: 24.04.2024

Принята к печати: 07.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

Svetlana P. Kuzmina*, Nina G. Kazydub,
Lyudmila Y. Plotnikova, Marina Yu. Kukoleva

Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education
"Omsk State Agrarian University"
1, Institutskaya square St.,
Omsk-8, 644008, Russia

*Corresponding Author: sp.kuzmina@omgau.org

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

Authors' contributions: Kuzmina S.P.: conducting field experiments to assess rust resistance, processing and analysis of experimental data, writing and editing the manuscript. Kazydub N.G.: scientific supervision of research, methodology, writing and editing the manuscript. Plotnikova L.Ya.: editing the manuscript. Kukoleva M.Yu.: conducting field research.

For citation: Kuzmina S.P., Kazydub N.G., Plotnikova L.Y., Kukoleva M.Yu. Screening of vegetable pea breeding material on rust resistance at Omsk State Agrarian University. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):15-22. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-15-22>

Received: 24.04.2024

Accepted for publication: 07.06.2024

Published: 08.07.2024

Скрининг селекционного материала гороха овощного по устойчивости к ржавчине в Омском ГАУ

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Ржавчина гороха регулярно наносит ущерб урожаю гороха овощного в Омской области. Вредоносность заболевания в последние годы стала усиливаться, в благоприятные для развития болезни годы поражение восприимчивых сортов может составлять 100 %. В связи с чем селекционеры вынуждены постоянно искать новые источники генов устойчивости из-за быстрой эволюции возбудителей ржавчины.

Цель наших исследований – провести скрининг образцов коллекции гороха овощного в полевых условиях в южной лесостепи Западной Сибири и выделить источники устойчивости.

Материал и методика. В качестве объекта для изучения были взяты 72 образца гороха овощного из «Федерального государственного бюджетного научного центра овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) и «Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР). Исследования проводились в течение четырех лет с 2020 по 2023 гг. в условиях южной лесостепи Омской области. Учеты вели в соответствии с «Методическими указаниями по изучению коллекции зерновых бобовых культур».

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований установлено, что устойчивость гороха овощного к ржавчине зависит как от генотипа, так и погодных условий. Наибольшее влияние на развитие заболевания оказывали погодные условия (доля фактора составила 51,5%), вклад генотипа также достоверный и составляет 44,8%. Устойчивость коллекционных образцов к ржавчине в условиях Омской области варьировала от низкой (2,8 балла) при теплой и влажной погоде до очень высокой (7,8 баллов) при сухой и жаркой. Основное влияние на распространение ржавчины оказывают гидротермические условия периода «цветение – созревание» ($r = -0,98 \pm 0,11$). Устойчивость растений к ржавчине характеризуется сильным варьированием в зависимости от условий выращивания ($Cve = 20,2-54,6\%$). Наименьшую изменчивость признака по годам имел сорт Дарунок ($Cve = 20,2\%$), который будет наиболее стабильно сохранять устойчивость при усилении инфекционной нагрузки. В результате скрининга коллекционного материала гороха овощного выделены источники частичной устойчивости к ржавчине для селекции в Западной Сибири: сорта Дарунок, Самородок (ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО)), Орел, Крейсер, Витязь, Флагман-8, Немчиновский 46, В-579, Памяти Хангильдина (коллекция ВИР).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

ржавчина гороха, источники устойчивости, горох овощной, селекция.

Screening of vegetable pea breeding material on rust resistance at Omsk State Agrarian University

ABSTRACT

Relevance. Pea rust regularly damages the vegetable pea crop in the Omsk region. The harmfulness of the disease has begun to intensify in recent years; in years favorable for the development of the disease, the damage to susceptible varieties can be 100%. Therefore, breeders are forced to constantly search for new sources of resistance genes due to the rapidly developing rust pathogens.

The goal of our research is to screen samples of a vegetable pea collection under field conditions in the southern forest-steppe of Western Siberia and identify sources of resistance.

Material and Methodology. As an object for study, 72 samples of vegetable peas were taken from the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVS) and the "Federal Research Center of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov" (VIR). The research was conducted over four years from 2020 to 2023. In the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region. The records were carried out in accordance with the "Methodological instructions for studying the collection of grain legumes".

Results and Discussion. As a result of the studies, it was established that the resistance of vegetable peas to rust depends on both the genotype and weather conditions. Weather conditions had the greatest influence on the development of the disease (the factor's share was 51.5%), the contribution of the genotype was also significant and amounted to 44.8%. The resistance of collection samples to rust in the conditions of the Omsk region varied from low (2.8 points) in warm and humid weather to very high (7.8 points) in dry and hot weather. The main influence on the spread of rust is exerted by the hydrothermal conditions of the "flowering – ripening" period ($r = -0.98 \pm 0.11$). Plant resistance to rust varies greatly depending on growing conditions ($Cve = 20.2-54.6\%$). The variety Darunok had the least variability of the trait over the years ($Cve = 20.2\%$), which will most consistently maintain resistance when the infectious load increases. As a result of screening of collection material of vegetable peas, sources of partial resistance to rust were identified for breeding in Western Siberia: varieties Darunok, Namorodok (Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVS)), Orel, Cruiser, Vityaz, Flagman-8, Nemchinovsky 46, B-579, In Memory of Khangildin (VIR collection).

KEYWORDS:

pea rust, sources of resistance, vegetable peas, selection

Введение

Овощной горох широко распространен в мире, его ценят за высокое содержание витаминов, клетчатки и белка, что делает его ценным диетическим продуктом для здорового питания [1-5].

Горох овощной поражается чаще всего ржавчиной, аскохитозом, корневыми гнилями и мучнистой росой. Ржавчина гороха стала серьезным возбудителем для культуры во всем мире с середины 1980-х годов [6, 7]. В последнее время зафиксировано повышение вредности ржавчины на горохе также в разных регионах РФ, в том числе и в Омской области [8-12].

Создание высокоурожайных и устойчивых к стрессовым биотическим и абиотическим факторам среды сортов гороха овощного является приоритетным направлением в селекции, что обеспечивает конкурентоспособность и продовольственную безопасность РФ [13-17].

Селекция на устойчивость остается одним из наиболее экономичным и экологичным методом борьбы с ржавчиной. В связи с чем необходимо изучение устойчивости растений к данному патогену и поиск источников устойчивости к ржавчине.

Возбудителями ржавчины гороха являются виды – *Uromyces pisi* и *Uromyces viciae-fabae* [7]. *U. viciae-fabae* основной возбудитель ржавчины гороха в тропических и субтропических регионах, для распространения которого нужны теплые влажные погодные условия [18-20], *U. pisi* вызывает ржавчину гороха в регионах с умеренным климатом [21]. Оба гриба микроскопически идентичны на уредальной стадии, но их можно отличить по морфологии телейтостадии [22]. Известно, что *U. viciae-fabae* вызывает потери урожая от 57 до 100% [23], тогда как снижение урожая гороха из-за *U. pisi* достигает 30 % [6]. Основные различия между этими двумя видами ржавчины представлены в таблице 1.

У *U. pisi* инфицирование растений происходит на уредальной стадии, тогда как у *U. viciae-fabae* инфицирование может происходить как на уредальной, так и эцидиальной стадии. Генетика устойчивости гороха к ржавчине до сих пор недостаточно изучена. Известно, что устойчивость к патогену может контролироваться олигогенами [24-26] и полигенно [19, 27]. Современные исследования о генетике устойчивости к ржавчине расширяются, у гороха идентифицированы

молекулярные маркеры, связанные с генами устойчивости QTL. Это дает возможность эффективного их использования в селекционных программах и ускорить выведение новых сортов [28-31]. Идентифицированы гены устойчивости к возбудителю ржавчины гороха *U. Pisi*: Uvf-1, Uvf-2, Uvf-3, Uf2, Ur-3, Ur-4, Ur-5, Ur-6, Ur-7, Ur-9, Ur-11, Ur-12 [7].

В разных исследованиях олигогены проявляли как полное, так и частичное доминирование устойчивости; полигены, контролирующие частичную устойчивость к ржавчине, имели небольшие индивидуальные эффекты [32,33].

Частичная устойчивость к ржавчине обеспечивает средний уровень поражения ко всем расам патогена [34], при этом отмечается снижение скорости развития заболевания в течение сезона [35]. Частичная устойчивость может вызывать отставание в развитии гаусторий и сокращение их количества, что влияет на развитие колоний ржавчины [36]. Такое взаимодействие связано с образованием лигнина и каллозы [37-39]. Более высокое накопление лигнина наблюдается у частично устойчивых сортов гороха по сравнению с восприимчивыми формами. По мнению ученых, лигнификация может считаться индикатором частичной устойчивости гороха к ржавчине [40].

Количественный характер устойчивости гороха к ржавчине затрудняет полевую селекционную оценку. Однако площадь под кривой развития заболевания может являться эффективным инструментом для оценки частичной устойчивости к ржавчине [41].

Сорта с неполной устойчивостью сдерживают развитие болезни за счет сохранения листового аппарата и, как следствие, формированию более высокой продуктивности по сравнению с восприимчивыми растениями [32].

Учитывая высокую востребованность гороха необходимо изучение генетического материала культуры по устойчивости к ржавчине, что является серьезной задачей, которую необходимо решать в приоритетном порядке.

Цель исследований – провести скрининг образцов коллекции гороха овощного в полевых условиях в южной лесостепи Западной Сибири и выделить источники устойчивости.

Таблица 1. Отличительные особенности возбудителей ржавчины гороха (по А.К. Singh, 2023)
Table 1. Distinctive features of pea rust pathogens (according to A.K. Singh, 2023)

Характеристика	<i>Uromyces pisi</i>	<i>Uromyces viciae-fabae</i>
Распространение	Регионы Европы, Австралии, Канады и России с умеренным климатом	Тропические и субтропические регионы юго-восточной Азии
Условия развития	Сравнительно прохладная и менее влажная погода	Теплая и влажная погода
Гриб	Двудомный макроциклический гриб, завершает жизненный цикл на молочае кипарисовом (<i>Euphorbia cyparissias</i> L.).	Аутогенный макроциклический
Стадия инфицирования	Уредальная	Уредальная и эцидиальная
Гены устойчивости	Uvf-1, Uvf-2, Uvf-3, Uf2, Ur-3, Ur-4, Ur-5, Ur-6, Ur-7, Ur-9, Ur-11, Ur-12	Не идентифицированы
Контроль устойчивости	Полигенный	Моногенный, полигенный

Материал и методы проведения исследований

В качестве объекта для скрининга устойчивости растений гороха овощного к ржавчине были использованы 72 образца из Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) и Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Набор сортов по годам не изменялся. Стандарт – сорт Неистошмый 195. Полевые испытания проводились в течение четырех лет с 2020 по 2023 годы в условиях южной лесостепи Омской области. Посев проводили вручную на делянках 2 м². Повторность трехкратная. Учеты велись в соответствии с «Методическими указаниями по изучению коллекции зерновых бобовых культур». Устойчивость гороха овощного к ржавчине определяли по методике ВИР, где 1 балл соответствует очень низкой устойчивости, 9 баллов – очень высокой устойчивости [42].

Результаты исследований

Погодные условия в годы проведения опытов были контрастными и, в целом, способствовали развитию ржавчины гороха: 2020 и 2021 годы были очень засушливыми (ГТК=0,51-0,56); 2022 год –

слабо засушливым (ГТК=1,2); 2023 год – засушливым (ГТК= 0,89).

Условия второй половины вегетации (период «цветение-созревание») растений гороха овощного в 2022 и 2023 годах способствовали массовому развитию ржавчины и позволили провести достоверную оценку селекционного материала (ГТК соответственно 1,91 (избыточно влажные условия) и 1,22 (слабо засушливые условия)), худшие условия для развития болезни сложились в 2021 году (ГТК=0,61 (очень засушливые условия)), в 2020 году условия были засушливые (ГТК=0,72), рисунок 1.

Проведенный нами однофакторный дисперсионный анализ показал, что между изученными образцами гороха овощного имеются достоверные различия по устойчивости к ржавчине (табл. 2). Установлено, что наибольшее влияние на развитие заболевания в условиях Омской области оказывали погодные условия – 51,5%, доля генотипа в общем варьировании признака составила 44,8%. Ряд исследований также указывает на то, что факторы окружающей среды оказывают сильное влияние на изменчивость признака [5, 10, 33, 35].

В условиях Омской области заболевание особенно интенсивно развивается в теплую и влажную погоду, которая наблюдается во второй половине вегетации растений, когда растения находятся на стадии цветения или образования бобов [3], рис. 2.

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа по устойчивости гороха овощного к ржавчине
Table 2. Results of analysis of variance for stability vegetable peas to rust

Варьирование	Суммы квадратов, С	Число степеней свободы, df	Средний квадрат (дисперсия), S ²	Значение критерия F		Доля влияния фактора, %
				F _{факт}	F ₀₅	
Общее, С _y	183,89	35,00				100
Условия, С _p	94,78	3,00				51,5
Генотип, С _v	82,39	8,00	10,30	36,77	2,36	44,8
Ошибка, С _z	6,72	24,00	0,28			3,7

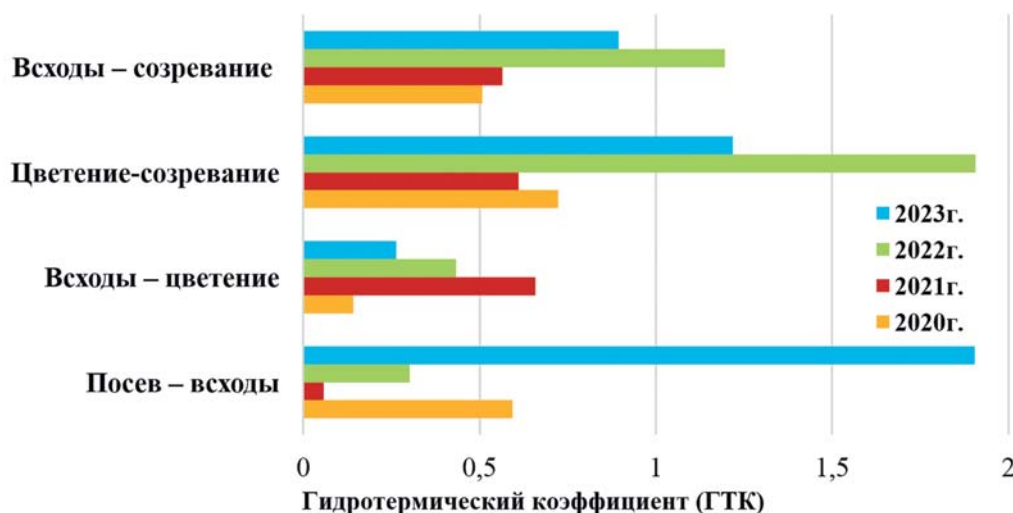


Рис. 1. Гидротермические условия в годы проведения опытов
Fig. 1. Hydrothermal conditions during the years of experiments



Рис. 2. Проявление ржавчины на горохе
Fig. 2. Rust on peas

В период исследований ржавчина гороха в Омской области проявлялась с разной интенсивностью: от низкой в 2022 году до очень высокой в 2021 году (табл. 3). Степень поражения листьев у восприимчивого стандарта Неистоцкий 195 за время исследований варь-

ировала от 35-75%, что указывает на низкую устойчивость к патогену и свидетельствует о высоком естественном инфекционном фоне болезни.

Скрининг образцов коллекции гороха овощного в полевых условиях позволил установить, что большая часть образцов по результатам четырёхлетних данных имела очень высокую устойчивость к ржавчине – 45%, высокая устойчивость проявлялась у 16% образцов коллекции, средняя устойчивость – у 15%, низкая устойчивость – у 20% и очень низкая устойчивость – у 4% (рис. 3).

Максимальное поражение растений ржавчиной было зафиксировано при влажной и теплой погоде в период «цветение – созревание» гороха овощного в 2022 году (в среднем 2,8 балла). При этом большая часть образцов гороха овощного имела низкую (2-3 балла) устойчивость к патогену (67% образцов), среднюю устойчивость (4-5 баллов) показали 23% растений, доля образцов с очень низкой устойчивостью увеличилась до 9%.

Минимальное поражение гороха ржавчиной отмечено в сухом и жарком 2021 году (в среднем 7,8 баллов). Причем, большая часть образцов проявила очень высокую устойчивость к болезни – 8-9 баллов (74% коллекционных образцов), 15% образцов были высокоустойчивыми, 6% – среднеустойчивыми и 4% – низко устойчивыми.

Таблица 3. Распределение образцов коллекции гороха овощного по устойчивости к ржавчине, шт.
Table 3. Distribution of vegetable pea collection samples by rust resistance, pcs.

Год	Тип устойчивости									
	очень низкая	низкая		средняя		высокая		очень высокая		среднее, балл
	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов	6 баллов	7 баллов	8 баллов	9 баллов	
2020	2	3	3	4	4	3	10	23	13	6,9
2021	0	1	2	2	2	4	7	19	31	7,8
2022	4	16	13	7	5	0	0	0	0	2,8
2023	1	2	5	3	6	6	6	5	6	4,7
Среднее	1,8	5,5	5,8	4,0	3,8	3,3	5,8	12,5	12,8	6,2

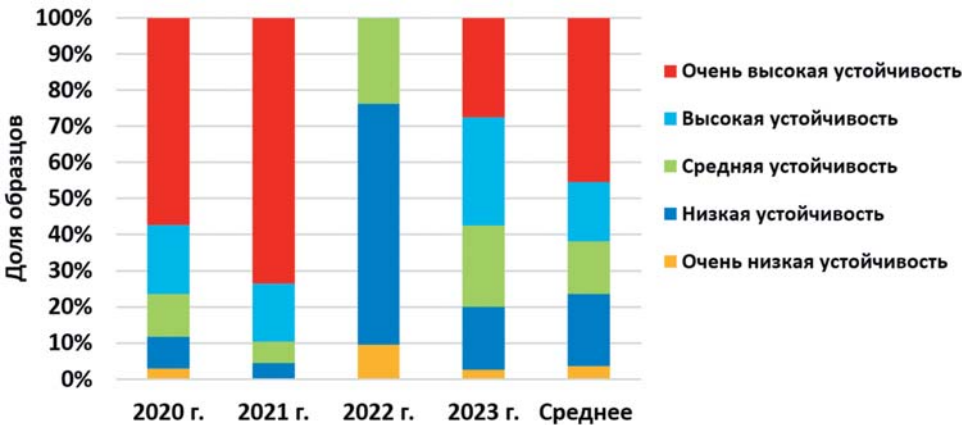


Рис. 3. Распределение образцов гороха овощного по устойчивости к ржавчине, 2020-2023 годы
Fig. 3. Distribution of vegetable pea samples by rust resistance, 2020-2023

Таблица 4. Источники устойчивости к ржавчине у гороха овощного
Table 4. Sources of rust resistance in pea

Сорт, образец	Происхождение	Устойчивость к ржавчине, балл					Коэффициент экологической изменчивости (Cve, %)
		2020 год	2021 год	2022 год	2023 год	Среднее	
Неистошимый 195, стандарт	ФГБНУ ФНЦО	4	4	1	2	2,8	54,6
Дарунок	ФГБНУ ФНЦО	8	8	5	7	7,0	20,2
Самородок	ФГБНУ ФНЦО	9	9	5	8	7,8	24,4
Флагман-8	ВИР, (К-8767, Орловская область)	9	9	5	8	7,8	24,4
Орел	ВИР (К-9039, Орловская область)	8	9	4	8	7,3	30,6
Крейсер	ВИР (К-9589, Московская область)	9	9	5	8	7,8	24,4
Витязь	ВИР (К-6631)	7	9	4	8	7,0	30,9
Немчиновский 46	ВИР (К-9518, Московская область)	9	9	5	8	7,8	24,4
В-579	ВИР (К-113, Московская область)	9	9	4	8	7,5	31,7
Памяти Хангильдина	ВИР (К-9420, Башкортостан)	8	8	4	7	6,8	28,0
В среднем по коллекции		6,9	7,8	2,8	4,7	5,6	29,4

В 2020 году зафиксировано снижение устойчивости растений к ржавчине. У изученных образцов наблюдалась высокая устойчивость в среднем по коллекции (6,9 баллов), причем, большая часть образцов (57% образцов) сохраняли очень высокую устойчивость. Доля высокоустойчивых образцов в коллекции составила 19%, среднеустойчивых – 12%, увеличилась доля образцов с низкой и очень низкой устойчивостью (9 и 3% образцов соответственно).

В условиях 2023 года растения имели среднюю устойчивость к ржавчине (в среднем по коллекции 4,7 баллов). Большая часть образцов коллекции гороха овощного имела высокую устойчивость – 30% образцов, доля очень высокоустойчивых форм составила 18%, среднеустойчивых – 23%, низко устойчивых – 17%, очень низко устойчивых – 3%.

В ходе исследований нами выделены образцы гороха овощного демонстрирующие устойчивость к ржавчине, которые могут служить источниками ценного признака и рекомендованы для включения в гибридизацию: сорта Федерального научного центра овощеводства – Дарунок, Самородок; образцы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова – Орел (К-9039, Орловская область), Крейсер (К-9589, Московская область), Витязь (К-6631), Флагман-8 (К-8767, Орловская область), Немчиновский 46 (К-9518, Московская область), В-579 (К-113, Московская область), Памяти Хангильдина (К-9420, Башкортостан) (табл. 4).

На выделенных сортах отмечалось снижение скорости развития заболевания в течение сезона по сравнению с восприимчивыми образцами из коллекции горо-

ха овощного. Частичная устойчивость к ржавчине у выделенных сортов свидетельствует, вероятно, о полигенном контроле признака с небольшими индивидуальными эффектами генов.

Коэффициент экологической изменчивости устойчивости растений к ржавчине у выделенных сортов варьировал от 20,2 до 31,7% и в среднем составил 26,6%, тогда как у восприимчивого стандарта Неистошимый 195 составил 54,6%, что указывает на сильную изменчивость признака в разных погодных условиях. Следовательно, устойчивость растений к ржавчине может быть сильно модифицирована условиями выращивания и в благоприятных для развития патогена условиях выделенные сорта и образцы могут поражаться (иметь частичную устойчивость). Однако при равных условиях их поражение будет меньше, чем у остальных образцов в среднем по коллекции. Сорта, стабильно сохраняющих высокую устойчивость к ржавчине при высокой инфекционной нагрузке или меняющихся погодных условиях не обнаружено. Таким образом, высокоэффективных генов к имеющимся местным расам патогена изученные сорта не имеют.

Коэффициент экологической изменчивости у выделенных образцов существенно отличался в зависимости от генотипа. Наименьшую изменчивость признака по годам имел сорт Дарунок (Cve=20,2%), следовательно, он наиболее стабильно будет сохранять устойчивость при усилении инфекционной нагрузки, наибольшую – стандарт Неистошимый 195 (Cve=54,6 %).

Определение коэффициента корреляции между устойчивостью образцов гороха овощного к ржавчине и гидротермическими показателями в разные фазы

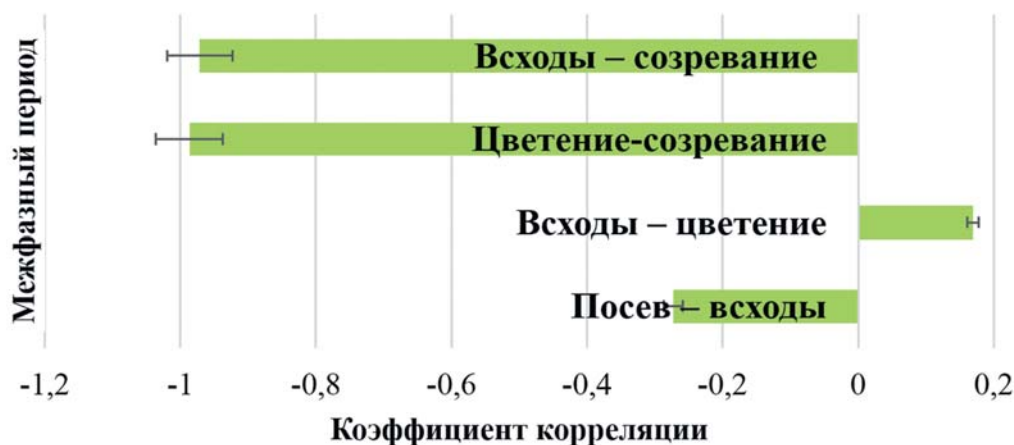


Рис. 4. Зависимость между устойчивостью образцов гороха овощного к ржавчине и показателем ГТК в разные межфазные периоды

Fig. 4. Dependence between the resistance of vegetable pea samples to rust and the HTC index in different interphase periods

развития растений показало, что основное влияние в условиях южной лесостепи Западной Сибири имеют погодные условия межфазного периода «цветение – созревание» (рис. 4).

Между устойчивостью растений к ржавчине и показателем ГТК в период «цветение – созревание» установлено наличие достоверной сильной отрицательной связи ($r=-0,98\pm0,11$). Зависимость между устойчивостью растений гороха овощного к ржавчине в период «всходы-цветение» и погодными условиями была не достоверна.

Выводы

1. В условиях южной лесостепи Западной Сибири установлено, что устойчивость гороха овощного к ржавчине зависит как от генотипа, так и погодных условий. Наибольшее влияние на развитие заболевания оказывают погодные условия (доля фактора составила 51,5%), вклад генотипа в общем варьировании признака составил 44,8%.

2. Устойчивость коллекционных образцов к ржавчине в условиях Омской области варьировала от низкой

(2,8 балла) при теплой и влажной погоде до очень высокой (7,8 баллов) при сухой и жаркой.

3. Основное влияние на распространение ржавчины на горохе овощном оказывают гидротермические условия периода «цветение – созревание». Коэффициент корреляции между показателем ГТК и устойчивостью растений к ржавчине сильный отрицательный ($r=-0,98\pm0,11$).

4. Устойчивость растений к ржавчине характеризуется сильным варьированием в зависимости от условий выращивания (коэффициент экологической изменчивости, C_{ve} от 20,2 до 54,6%. Наименьшую изменчивость признака по годам имел сорт Дарунок ($C_{ve}=20,2\%$), который будет наиболее стабильно сохранять устойчивость при усилении инфекционной нагрузки.

5. В результате скрининга коллекционного материала гороха овощного выделены источники частичной устойчивости к ржавчине для селекции в Западной Сибири: сорта Дарунок, Самородок (ФГБНУ ФНЦО), Орел, Крейсер, Витязь, Флагман-8, Немчиновский 46, В-579, Памяти Хангильдина (коллекция ВИР).

Литература

- Семенова Е.В., Проскурякова Г.И. Результаты изучения образцов гороха (*Pisum sativum* L.) из коллекции ВИР в Тамбовской области в 1995–2017 гг. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021;1(37):5-13. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-1-5-13>
<https://www.elibrary.ru/kzveub>
- Вишнякова М.А., Александрова Т.Г., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Егорова Г.П., Семенова Е.В., Сеферова И.В., Суворова Г.Н. Видовое разнообразие коллекции генетических ресурсов зернобобовых вир и его использование в отечественной селекции (Обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(2):109-123. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-109-123>
<https://www.elibrary.ru/kneohg>
- Путина О.В., Беседин А.Г. Адаптивная способность и стабильность генотипов овощного гороха разных групп спелости. *Овощи России*. 2020;(4):45-49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-4-45-49>
<https://www.elibrary.ru/qyftm>
- Kazydub N., Kuzmina S., Yfimceva S. Leguminous Crops as a Valuable Product in Functional Nutrition. *The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector* (TFTS). 2019. P. 199–203. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.168>
- Кайгородова И.М., Ушаков В.А., Голубкина Н.А., Котляр И.П., Пронина

Е.П., Антошкина М.С. Пищевая ценность, качество сырья и продовольственное значение культуры гороха овощного (*Pisum sativum* L.). *Овощи России*. 2022;(3):16-32.

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-16-32>

<https://www.elibrary.ru/wlxvhj>

6. EPPO Standards Pea.

http://archives.eppo.org/EPPOStandards/PP2_GPP/pp2-14-e.doc.

7. Singh A.K., Kushwaha C., Singh A.K. et al. Rust (*Uromyces viciaefabae* Pers. de-Bary) of Pea (*Pisum sativum* L.): Present Status and Future Resistance Breeding Opportunities. *Genes*. 2023;14(2):374. <https://doi.org/10.3390/genes14020374>

8. Кузьмина С.П., Казыдуб Н.Г. Изучение образцов коллекции гороха овощного на устойчивость к аскохитозу в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Овощи России*. 2019;(1):94-97. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-94-97>

<https://www.elibrary.ru/yohxcp>

9. Борзенкова Г.А. Система рационального применения протравителей и оптимизация их совместного использования с биопрепаратами и ФАВ в защите гороха от болезней в условиях нечерноземной зоны России. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2012;(1):90-98. <https://www.elibrary.ru/qcraavp>

10. Бударина Г.А., Соболева Г.В. Источники устойчивости гороха к болезням и вредителям для практической селекции. *Земледелие*. 2017;(3):43-45. <https://www.elibrary.ru/ynauv>

11. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Омской области в 2017 году и прогноз появления вредителей, болезней и сорняков на 2023 год. 2023. 172 с.
12. Зотиков В.И., Бударина Г.А. Болезни гороха и основные приемы защиты культуры в условиях средней полосы России. *Защита и карантин растений*. 2015;(5):11-15. <https://www.elibrary.ru/trkkdz>
13. Кайгородова И.М., Котляр И.П., Ушаков В.А., Енгальцева И.А., Козарь Е.Г. Приоритетные направления современной селекции гороха овощного (*Pisum sativum* L.). *Овощи России*. 2023;(4):5-12. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-5-12>
<https://www.elibrary.ru/aegaad>
14. Семенова Е.В., Бойко А.П., Новикова Л.Ю., Вишнякова М.А. Фенотипические признаки, определяющие дифференциацию генофонда гороха (*Pisum sativum* L.) по направлениям использования. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(7):599-608. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-74> <https://www.elibrary.ru/jktgfl>
15. Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Магафурова Ф.Ф. Сравнительное изучение хозяйственно-биологических признаков у сортов гороха, созданных в Республике Башкортостан за последние 30 лет. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020;4(84):72-77. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-84-4-72-77>
<https://www.elibrary.ru/skdyfb>
16. Зеленов А.А., Задорин А.М., Зеленов А.Н., Кононова М.Е. Селекция усаых сортов гороха в ФНЦ зернобобовых и крупяных культур. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020;1(33):4-10. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11147>
<https://www.elibrary.ru/bzyuw>
17. Плотникова Л.Я. Иммуитет растений и селекция на устойчивость к болезням и вредителям. 2007. 359 с. ISBN 978-5-9532-0356-2. <https://www.elibrary.ru/qkykhr>
18. Xue A.G., Warkentin T.D. Reactions of field pea varieties to three isolates of *Uromyces fabae*. *Can. J. Plant Sci.* 2002;(82):253-255. <https://doi.org/10.4141/P01-105>
19. Vijayalakshmi S., Yadav K., Kushwaha C., Sarode S.B., Srivastava C.P., Chand R., Singh, B.D. Identification of RAPD markers linked to the rust (*Uromyces fabae*) resistance gene in pea (*Pisum sativum*). *Euphytica*. 2005;(144):265-274. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-6823-2>
20. Kushwaha C., Chand R., Srivastava C.P. Role of aeciospores in outbreak of pea (*Pisum sativum* L.) rust (*Uromyces fabae*). *Eur. J. Plant Pathol.* 2006;(115):323-330. <https://doi.org/10.1007/s10658-006-9017-4>
21. Barilli E., Sillero J.C., Moral A., Rubiales D. Characterization of resistance response of pea (*Pisum* spp.) against rust (*Uromyces pisi*). *Plant Breed.* 2009;(128):665-670. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01622.x>
22. Emeran A.A., Sillero J.C., Niks R.E., Rubiales D. Infection structures of host-specialized isolates of *Uromyces viciae-fabae* and of others *Uromyces* infecting leguminous crops. *Plant Dis.* 2005;(89):17-22. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0017>
23. Upadhyay A.L., Singh V.K. Performance of pea varieties/ lines against powdery mildew and rust. *Indian J. Pulses Res.* 1994;(7):92-93.
24. Pal A.B., Brahmappa B., Sohi H.S., Rawal R.D. Studies on inheritance of resistance to rust (*Uromyces fabae* Pers. de Bary) on pea. *SABRAO J.* 1979;(11):101-103.
25. Katiyar R.P., Ram R.S. Genetics of rust resistance in pea. *Ind. J. Genet. Plant Breed.* 1987;(47):46-48.
26. Tyagi M.K., Srivastava C.P. Inheritance of powdery mildew and rust resistance in pea. *Ann. Biol.* 1999;(15):13-16.
27. Singh R., Ram H. Inheritance of days to flowering and rust resistance in peas. *Res. Crops.* 2001;(2):414-418. <https://doi.org/10.3390/genes14020374>
28. Singh J., Sirari A., Singh H. et al. Identifying and validating SSR markers linked with rust resistance in lentil (*Lens culinaris*). *Plant Breed.* 2021;(140):477-485. <https://doi.org/10.1111/pbr.12917>
29. Wu X., Wang B., Xin Y. et al. Unravelling the genetic architecture of rust resistance in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by combining QTL-Seq and GWAS analysis. *Plants*. 2022;11(7):953. <https://doi.org/10.3390/plants11070953>
30. Devi J., Mishra G.P., Sagar V. et al. Gene-based resistance to erysiphe species causing powdery mildew disease in peas (*Pisum sativum* L.). *Genes*. 2022;(13):316. <https://doi.org/10.3390/genes13020316>
31. Yan J., Chen J., Lin Y. et al. Mapping of quantitative trait locus reveals PsXI gene encoding xylanase inhibitor as the candidate gene for bruchid (*Callosobruchus* spp.) resistance in pea (*Pisum sativum* L.). *Front. Plant Sci.* 2023;(14):1057577. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1057577>
32. Chand R., Srivastava C.P., Singh B.D., Sarode S.B. Identification and characterization of slow rusting components in pea (*Pisum sativum* L.). *Genet. Resour. Crop Evol.* 2006;(53):219-224. <https://doi.org/10.1007/s10722-004-6149-2>
33. Kumar T.B.A., Rangaswamy K.T., Ravi K. Assessment of tall field pea genotypes for slow rusting resistance. *Leg. Res.* 1994;(17):79-82.
34. Caldwell R.M. Breeding for general and/or specific plant disease resistance. In *Proceedings of the 3rd International Wheat Genetic Symposium*, Canberra, Australia, 5–9 August 1968. P. 263–272.
35. Rubiales D., Niks R.E. Characterization of Lr34, a major gene conferring nonhypersensitive resistance to wheat leaf rust. *Plant Dis.* 1995;(79):1208-1212. <https://doi.org/10.1094/PD-79-1208>
36. Rubiales D., Sillero J.C. *Uromyces viciae-fabae* haustorium formation in susceptible and resistant faba bean lines. *Eur. J. Plant Pathol.* 2003;(109):71-73. <https://doi.org/10.1023/A:1022041106262>
37. Moldenhauer J.B.M., Moerschbacher W., van derWesthuizen A.J. Histological investigation of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) development in resistant and susceptible wheat cultivars. *Plant Pathol.* 2006;(55):469-474. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01385.x>
38. Habtu A., Zadoks J.C. Components of partial resistance in Phaseolus beans against Ethiopian isolates of bean rust. *Euphytica*. 1995;(85):95-102. <https://doi.org/10.1007/BF01678035>
39. Conner R.L., Bernier C.C. Slow rusting resistance in *Vicia fabae*. *Can. J. Plant Pathol.* 1982;(4):263-265. <https://doi.org/10.1080/07060668209501293>
40. Kushwaha C., Chand R., Singh A.K., Rai R., Srivastava C.P., Singh B.D., Mohapatra C. Lignification and early abortive colonies as indicators of partial resistance to rust in pea. *Trop. Plant Pathol.* 2016;(41):91-97. <https://doi.org/10.1007/s40858-016-0071-y>
41. Jeger M.J., Viljanen-Rollinson S.L.H. The use of area under 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>
42. Корсаков Н.И., Адамова О.А., Будакова В.И. Методические указания по изучению коллекции зерновых бобовых культур. Л.: ВИР. 1975. 59 с.

References

1. Semenova E.V., Proskuryakova G.I. Results of the assessment of pea accessions (*Pisum sativum* L.) from VIR collection in Tambov region in 1995-2017. *Legumes and groat crops*. 2021;1(37):5-13. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-1-5-13>
<https://www.elibrary.ru/kzveub>
2. Vishnyakova M.A., Aleksandrova T.G., Buravtseva T.V., Burlyayeva M.O., Egorova G.P., Semenova E.V., Seferova I.V., Suvorova G.N. Species diversity of the VIR collection of grain legume genetic resources and its use in domestic breeding. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2019;180(2):109-123. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-109-123>
<https://www.elibrary.ru/kneohg>
3. Putina O.V., Besedin A.G. Adaptive ability and stability genotypes of vegetable peas of different ripeness groups. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(4):45-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-4-45-49>
<https://www.elibrary.ru/qyftm>
4. Kazydub N., Kuzmina S., Yfimceva S. Leguminous Crops as a Valuable Product in Functional Nutrition. *The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector* (TFTS). 2019. P. 199–203. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.168>
5. Kaigorodova I.M., Ushakov V.A., Golubkina N.A., Kotlyar I.P., Pronina E.P., Antoshkina M.S. Nutritional value, quality of raw materials and food value of vegetable pea culture (*Pisum sativum* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2022;(3):16-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-16-32>
<https://www.elibrary.ru/wlxvhj>
6. EPPO Standards Pea. http://archives.eppo.org/EPPOStandards/PP2_GPP/pp2-14-e.doc
7. Singh A.K., Kushwaha C., Singh A.K. et al. Rust (*Uromyces viciaefabae* Pers. de-Bary) of Pea (*Pisum sativum* L.): Present Status and Future Resistance Breeding Opportunities. *Genes*. 2023;14(2):374. <https://doi.org/10.3390/genes14020374>

8. Kuzmina S.P., Kazydub N.G. Study of samples of vegetable pea collection to resistance of ascochyta in the conditions of southern wood steppe of Western Siberia. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(1):94-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-94-97> <https://www.elibrary.ru/yohxcp>
9. Borzenkova G.A. System of rational application of seed dressers and optimization of their sharing with biological preparations and physiologically active substances in protection of peas against diseases in conditions of south of the Non-Chernozem zone of Russia. *Legumes and groat crops*. 2012;(1):90-98. <https://www.elibrary.ru/qcpavp> (In Russ.)
10. Budarina G.A., Soboleva G.V. Sources of pea resistance to diseases and pests for practical breeding. *Zemledelie*. 2017;(3):43-45. <https://www.elibrary.ru/ylnauv> (In Russ.)
11. Review of the phytosanitary state of agricultural crops in the Omsk region in 2017 and forecast of the appearance of pests, diseases and weeds for 2023. 2023. 172 p. (In Russ.)
12. Zotikov V.I., Budarina G.A. Diseases of peas and the basic techniques of protecting the crop in central Russia. *Plant protection and quarantine*. 2015;(5):11-15. <https://www.elibrary.ru/trkkdz> (In Russ.)
13. Kaigorodova I.M., Kotlyar I.P., Ushakov V.A., Engalycheva I.A., Kozar E.G. Priority directions of modern breeding of vegetable peas (*Pisum sativum* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2023;(4):5-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-5-12> <https://www.elibrary.ru/aegaad>
14. Semenova E.V., Boyko A.P., Novikova L.Y., Vishnyakova M.A. Phenotypic traits differentiating the genetic resources of pea (*Pisum sativum* L.) by the type of use. *Vavilov journal of genetics and breeding*. 2022;26(7):599-608. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-74> <https://www.elibrary.ru/jktgfl> (In Russ.)
15. Davletov F.A., Gainullina K.P., Magafurova F.F. A comparative study of economic and biological characters of pea varieties developed in the Republic of Bashkortostan over the past 30 years. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;4(84):72-77. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-84-4-72-77> <https://www.elibrary.ru/skdyfb> (In Russ.)
16. Zelenov A.A., Zadorin A.M., Zelenov A.N., Kononova M.E. Selection of leafletless pea varieties at FSC Federal Scientific Center of legumes and groat crops. *Legumes and groat crops*. 2020;1(33):4-10. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11147> <https://www.elibrary.ru/bzyuw> (In Russ.)
17. Plotnikova L.Ya. Plant immunity and selection for resistance to diseases and pests. 2007. 359 p. ISBN 978-5-9532-0356-2. <https://www.elibrary.ru/qkykhr> (In Russ.)
18. Xue A.G., Warkentin T.D. Reactions of field pea varieties to three isolates of *Uromyces fabae*. *Can. J. Plant Sci.* 2002;(82):253-255. <https://doi.org/10.4141/P01-105>
19. Vijayalakshmi S., Yadav K., Kushwaha C., Sarode S.B., Srivastava C.P., Chand R., Singh, B.D. Identification of RAPD markers linked to the rust (*Uromyces fabae*) resistance gene in pea (*Pisum sativum*). *Euphytica*. 2005;(144):265-274. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-6823-2>
20. Kushwaha C., Chand R., Srivastava C.P. Role of aeciospores in outbreak of pea (*Pisum sativum* L.) rust (*Uromyces fabae*). *Eur. J. Plant Pathol.* 2006;(115):323-330. <https://doi.org/10.1007/s10658-006-9017-4>
21. Barilli E., Sillero J.C., Moral A., Rubiales D. Characterization of resistance response of pea (*Pisum* spp.) against rust (*Uromyces pisi*). *Plant Breed.* 2009;(128):665-670. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01622.x>
22. Emeran A.A., Sillero J.C., Niks R.E., Rubiales D. Infection structures of host-specialized isolates of *Uromyces viciae-fabae* and of others *Uromyces* infecting leguminous crops. *Plant Dis.* 2005;(89):17-22. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0017>
23. Upadhyay A.L., Singh V.K. Performance of pea varieties/ lines against powdery mildew and rust. *Indian J. Pulses Res.* 1994;(7):92-93.
24. Pal A.B., Brahmappa B., Sohi H.S., Rawal R.D. Studies on inheritance of resistance to rust (*Uromyces fabae* Pers. de Bary) on pea. *SABRAO J.* 1979;(11):101-103.
25. Katiyar R.P., Ram R.S. Genetics of rust resistance in pea. *Ind. J. Genet. Plant Breed.* 1987;(47):46-48.
26. Tyagi M.K., Srivastava C.P. Inheritance of powdery mildew and rust resistance in pea. *Ann. Biol.* 1999;(15):13-16.
27. Singh R., Ram H. Inheritance of days to flowering and rust resistance in peas. *Res. Crops*. 2001;(2):414-418. <https://doi.org/10.3390/genes14020374>
28. Singh J., Sirari A., Singh H. et al. Identifying and validating SSR markers linked with rust resistance in lentil (*Lens culinaris*). *Plant Breed.* 2021;(140):477-485. <https://doi.org/10.1111/pbr.12917>
29. Wu X., Wang B., Xin Y. et al. Unravelling the genetic architecture of rust resistance in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by combining QTL-Seq and GWAS analysis. *Plants*. 2022;11(7):953. <https://doi.org/10.3390/plants11070953>
30. Devi J., Mishra G.P., Sagar V. et al. Gene-based resistance to erysiphe species causing powdery mildew disease in peas (*Pisum sativum* L.). *Genes*. 2022;(13):316. <https://doi.org/10.3390/genes13020316>
31. Yan J., Chen J., Lin Y. et al. Mapping of quantitative trait locus reveals PsXl gene encoding xylanase inhibitor as the candidate gene for bruchid (*Callosobruchus* spp.) resistance in pea (*Pisum sativum* L.). *Front. Plant Sci.* 2023;(14):1057577. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1057577>
32. Chand R., Srivastava C.P., Singh B.D., Sarode S.B. Identification and characterization of slow rusting components in pea (*Pisum sativum* L.). *Genet. Resour. Crop Evol.* 2006;(53):219-224. <https://doi.org/10.1007/s10722-004-6149-2>
33. Kumar T.B.A., Rangaswamy K.T., Ravi K. Assessment of tall field pea genotypes for slow rusting resistance. *Leg. Res.* 1994;(17):79-82.
34. Caldwell R.M. Breeding for general and/or specific plant disease resistance. In Proceedings of the 3rd International Wheat Genetic Symposium, Canberra, Australia, 5–9 August 1968. P. 263–272.
35. Rubiales D., Niks R.E. Characterization of Lr34, a major gene conferring nonhypersensitive resistance to wheat leaf rust. *Plant Dis.* 1995;(79):1208-1212. <https://doi.org/10.1094/PD-79-1208>
36. Rubiales D., Sillero J.C. *Uromyces viciae-fabae* haustorium formation in susceptible and resistant faba bean lines. *Eur. J. Plant Pathol.* 2003;(109):71-73. <https://doi.org/10.1023/A:1022041106262>
37. Moldenhauer J.B.M., Moerschbacher W., van derWesthuizen A.J. Histological investigation of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) development in resistant and susceptible wheat cultivars. *Plant Pathol.* 2006;(55):469-474. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01385.x>
38. Habtu A., Zadoks J.C. Components of partial resistance in Phaseolus beans against Ethiopian isolates of bean rust. *Euphytica*. 1995;(85):95-102. <https://doi.org/10.1007/BF01678035>
39. Conner R.L., Bernier C.C. Slow rusting resistance in *Vicia fabae*. *Can. J. Plant Pathol.* 1982;(4):263-265. <https://doi.org/10.1080/07060668209501293>
40. Kushwaha C., Chand R., Singh A.K., Rai R., Srivastava C.P., Singh B.D., Mohapatra C. Lignification and early abortive colonies as indicators of partial resistance to rust in pea. *Trop. Plant Pathol.* 2016;(41):91-97. <https://doi.org/10.1007/s40858-016-0071-y>
41. Jeger M.J., Viljanen-Rollinson S.L.H. The use of area under 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>
42. Korsakov N.I., Adamova O.A., Budakova V.I. Guidelines for studying the collection of grain legumes. L.: VIR. 1975:59. (In Russ.)

Об авторе:

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

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

Людмила Яковлевна Плотникова – доктор биологических наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, SPIN-код: 1577-3971, <https://orcid.org/0000-0002-9287-9870>, lplotnikova2010@yandex.ru

Марина Юрьевна Куколева – бакалавр 3 курса

About the Author:

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

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

Lyudmila Ya. Plotnikova – Dr. Sci. (Biology), Professor of the Department of Agronomy, Selection and Seed Production, SPIN code: 1577-3971, <https://orcid.org/0000-0002-9287-9870>, lplotnikova2010@yandex.ru

Marina Yu. Kukoleva – 3rd year bachelor

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-23-27>
УДК: 635.153:632.771:631.816.12

Nadezhda A. Golubkina*,
Vladimir A. Zayachkovsky

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

Correspondence: segolubkina45@gmail.com

Authors Contribution: Golubkina N.A.: conceptualization, biochemical analysis, writing the draft and final version of the manuscript; Zayachkovsky V.A.: plant growth and manuscript revision.

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

For citation: Golubkina N.A., Zayachkovsky V.A. Comparative evaluation of *Raphanus sativus* var. *lobo* defense efficiency against *Contarinia nasturtii* using foliar application of sodium selenate, ionic silicon form and garlic extract. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):23-27
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-23-27>

Received: 08.04.2024

Accepted for publication: 24.05.2024

Published: 08.07.2024

Н.А. Голубкина*,
В.А. Заячковский

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

*Автор для переписки:
segolubkina45@gmail.com

Вклад авторов: Н.А. Голубкина: концептуализация, проведение биохимических исследований, написание рукописи. В.А. Заячковский: выращивание и обработка растений, редактирование рукописи.

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

Для цитирования: Golubkina N.A., Zayachkovsky V.A. Comparative evaluation of *Raphanus sativus* var. *lobo* defense efficiency against *Contarinia nasturtii* using foliar application of sodium selenate, ionic silicon form and garlic extract. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):23-27.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-23-27>

Поступила в редакцию: 08.04.2024

Принята к печати: 24.05.2024

Опубликована: 08.07.2024

Comparative evaluation of *Raphanus sativus* var. *lobo* defense efficiency against *Contarinia nasturtii* using foliar application of sodium selenate, ionic silicon form and garlic extract

Check for updates



ABSTRACT

Relevance. *Contarinia nasturtii* Keiffer is one of the most dangerous insect pests of Brassicaceae plants dramatically affecting plant yield and seed productivity.

Material and Methods. The effect of single foliar application of sodium selenate, ionic form of silicon (Siliplant fertilizer) and garlic extract on the efficiency of *Raphanus sativus* lobo defense against *Contarinia nasturtii* infestation was evaluated in condition of greenhouse. Concentrations of the applied reagents were: sodium selenate 26.4 mM; Siliplant – 1 ml/l; garlic extract – 8 g/l. Seed productivity and *C. nasturtii* infestation levels under Se, Si and garlic extract administration under infestation were determined along with the analysis of plant antioxidant status and sugar content.

Results. Foliar application of Siliplant singular or in combination with Se provided the highest seed productivity and mass of 1000 seeds. Plants treated with Si, garlic extract and Si+Se demonstrated lack of *C. nasturtii* infestation only a week after the preparation supply. Contrary, selenate provided less pronounced defense. Among biochemical parameters tested the values of the total dissolved solids were the highest in plants treated with Se and Se+Si. Changes in the intensity of plant defense due to garlic, Se and Si supply were reflected in the increase of the total phenolic content compared to the values typical for control plants and in a significant accumulation increase of disaccharides, participating in tissue recovery after herbivory attack. Silicon application also provided an increase of selenium accumulation by lobo leaves.

KEYWORDS:

Raphanus sativus var. *lobo*, *Contarinia nasturtii*, selenium, silicon, garlic extracts, protection against pests

Сравнительная оценка эффективности защиты *Raphanus sativus* var. *lobo* от крестоцветной галлицы (*Contarinia nasturtii*), используя внекорневое внесение селената натрия, ионной формы кремния и экстракта чеснока

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Крестоцветная галлица *Contarinia nasturtii* Keiffer – один из наиболее опасных вредителей растений семейства Brassicaceae, снижающих семенную продуктивность растений.

Материал и методика. Исследована эффективность однократного внекорневого внесения селената натрия, ионной формы кремния (удобрение Силиплант) и экстракта чеснока на эффективность защиты растений лобо *Raphanus sativus* lobo от *Contarinia nasturtii* в условиях закрытого грунта. Используемые концентрации: селена 26.4 mM раствор, Силипланта – 1 мл/л, экстракта чеснока – 8 г/л. Проводили оценку семенной продуктивности и уровней инфицирования растений крестоцветной галлицей, а также определяли показатели антиоксидантного статуса растений и содержания сахаров.

Результаты. Использование Силипланта без и совместно с селенатом натрия обеспечивало наибольшую семенную продуктивность растений лобо и наибольшую массу 1000 семян. Обработка семенных растений кремнием, экстрактом чеснока и совместное применение кремния и селена обеспечивали 100% защиту растений от *C. nasturtii* уже через неделю после обработки. Напротив, применение селената натрия обеспечивало лишь частичную защиту. Среди исследованных биохимических показателей уровень водорастворимых соединений (TDS) был наибольшим у растений, обработанных селеном без и на фоне использования кремния. Изменения в интенсивности защиты растений от крестоцветной галлицы благодаря использованию экстракта чеснока и растворов селената натрия и Силипланта отражались в возрастании уровней накопления полифенолов в листьях по сравнению с данными для контрольных полностью инфицированных растений и в значительном возрастании накопления дисахаридов, участвующих в восстановлении тканей после атаки вредных насекомых. Установлено также, что кремний стимулирует аккумуляцию селена листьями растений как без, так и при обработке растений селенатом натрия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Raphanus sativus var. *lobo*, *Contarinia nasturtii*, селен, кремний, экстракт чеснока, защита от вредных насекомых

Introduction

One of the most dangerous insect pests of *Brassicaceae* plants is *Contarinia nasturtii* Keiffer dramatically affecting yield and seed productivity of broccoli, cauliflower, cabbage, Brussels sprouts, turnip, radish, etc. It is widely distributed in Europe, Scandinavia, Mediterranean countries, Turkey and western Russia [1]. *Contarinia nasturtii* lays eggs in inflorescences, causing severe damage to seed yield, loba seeds in particular, preventing seed set. Literature data indicate that seed yield losses caused by *C. nasturtii* may reach more than 85% [2].

The main methods of *C. nasturtii* control include synthetic insecticides application (such as neonicotinoids) and crop rotation [3-6]. On the other hand, numerous investigations indicate high prospects of garlic extract utilization [7] and application of selenium (Se) and silicon (Si) preparations [8-10] in insect pest control. Thus, the silicon application provides reduced oviposition, feeding and digestibility of insects. Selenium in relatively high concentrations results in low pest reproduction, increased mortality and reduced pest longevity. Aqueous garlic extract is a plant biostimulant, improves crop quality and provides the defense responses of receiver plants [11].

The attractiveness of Se, Si and garlic extract application in protection of plants is also connected with a well-known fact of the growth-stimulation effect, increase in plant immunity and tolerance to various biotic and abiotic stresses [8]. In this respect, the aim of the present investigation was evaluation of the efficiency of *Raphanus sativus* var. lobo protection against *Contarinia nasturtii* using foliar application of sodium selenate, potassium silicate (Siliplant fertilizer) and garlic extract. Margelan radish (*Raphanus sativus* var. lobo) is originated from China and is grown in most countries of the world. Its popularity is connected with high nutritional value, pleasant taste and low content of radish oil. *C. nasturtii* infestation of plants is a serious problem of Lobo seed production.

2. Material and Methods

2.1. Growing Conditions and Experimental Protocol

Planting of seed plants of Loba cv Krasavitsa Podmoskovya was carried out in a greenhouse on 20 April with spacing of 30 cm between the plants along the rows which were 70 cm apart. Before planting, milling was carried out to a depth of 20 cm. Regular watering (three times per week), double $N_{15}P_{15}K_{15}$ fertilization at a rate of 40 kg/Ha during the peduncle formation phase were applied. During the period of the peduncle formation – the beginning of budding/flowering, with the primary signs of the manifestation of flower infection foliar treatments with selenium, silicon and garlic extract preparations began (15 June). Treatments were carried out three times with an interval of 4-7 days in the evening hours, after watering, when the temperature in closed ground dropped to 20...25 °C. The experimental treatments, applied to Loba were carried out according to the following scheme: (1) control (water foliar spray), (2) sodium selenate solution, 26.4 mM (50 mg L⁻¹), (3) Siliplant treatment, 1 ml/L; (4) sodium selenate + Siliplant (the same concentrations), and (5) garlic extract. Garlic extract was prepared via the homogenization and extraction of fresh garlic bulbs with distilled water (8 g:1000 mL) and the filtration of a mixture. A split plot design was used for the treatment distribution, with three replicates and each experimental unit covering 10 m².

2.2. Sample Preparation

2.2.1. Seeds

On the 10 of September after full ripening, number of pods, number of seeds per pod, mass of 1000 seeds were measured.

2.2.2. Samples for biochemical analysis

A small amount (3-5) of fresh leaves from each plant were gathered at the stage of seed formation (15 August), homogenized and used for the determination of nitrates and the ascorbic acid content. The remaining parts of plant homogenates were dried at 70 °C to constant weight and homogenized for obtaining fine powders. The latter were used for the determination of the total antioxidant activity (AOA), total polyphenols (TP), sugar and Se content.

2.3. Dry Matter

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

2.4. Selenium

Selenium content was analyzed using the fluorimetric method previously described for tissues and biological fluids [12]. Dried homogenized samples were digested via heating with a mixture of nitric and perchloric acids, subsequent reduction of selenate (Se⁺⁶) to selenite (Se⁺⁴) with a solution of 6 N HCl, and the formation of a complex between Se⁺⁴ and 2,3-diaminonaphthalene. Se concentration was calculated by recording the piazoselenol fluorescence value in hexane at 519 nm λ emission and 376 nm λ excitation. Each determination was performed in triplicate. The precision of the results was verified using the mitsuba reference standard of Se-fortified stem powder in each determination, with a Se concentration of 1865 μ g kg⁻¹ (Federal Scientific Vegetable Center).

2.5. Total Polyphenols (TP)

Total polyphenols were determined in 70% ethanol extracts of samples using the Folin–Ciocblteu colorimetric method as previously described [13]. Half a gram of dry homogenates was extracted with 20 mL of 70% ethanol/water at 80°C for 1 h. The mixture was cooled down and quantitatively transferred to a volumetric flask, and the volume was adjusted to 25 mL. The latter mixture was filtered through filter paper, and 1 mL of the resulting solution was transferred to a 25 mL volumetric flask, to which 2.5 mL of saturated Na₂CO₃ solution and 0.25 mL of diluted (1:1) Folin–Ciocblteu 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 absorption of the reaction mixture at 730 nm. As an external standard, 0.02% gallic acid was used. The results were expressed as mg of gallic acid equivalent per g of dry weight (mg GAE g⁻¹ d.w.).

2.6. Antioxidant Activity (AOA)

The antioxidant activity of Lobo leaves was assessed on 70% ethanolic extracts of dry leaf powder using a redox titration method [13]. The values were expressed in mg gallic acid equivalents (mg GAE g⁻¹ d.w.).

2.7. Ascorbic acid

The ascorbic acid content in leaves was determined by visual titration of plant extracts in 3% trichloroacetic acid with Tillman's reagent [14]. Three grams of fresh leaf homogenates were mixed with 5 mL of 3% trichloroacetic acid and quantitatively transferred to a measuring cylinder. The volume was brought to 60 mL using trichloroacetic acid, and the mixture was filtered through filter paper 15 min later. The concentration of ascorbic acid was determined from the amount of Tillman's reagent that went into titration of the sample.

2.8. Sugars

The monosaccharides were determined using the ferricyanide colorimetric method, based on the reaction of monosaccharides with potassium ferricyanide [15]. 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.

2.9. Total Dissolved Solids (TDS)

Portable conductivity meter TDS-3 (Korea) was used for the determination of the total dissolved solids.

2.10. Nitrates

Nitrates were assessed using ion-selective electrode with ionomer Expert-001 (Econix Inc., Moscow, Russia) according to [16].

2.11. Statistical Analysis

Data were processed by analysis of variance, and mean separations were performed through Duncan's multiple range test, with reference to the 0.05 probability level, using the SPSS software version 28 (Armonk, NY, USA).

3. Results and Discussion

Raphanus sativus lobo is easily infested by *Contarinia nasturtii* (Fig. 1). Single spraying of lobo plants by (1) sodium selenate solution, (2) Siliplant fertilizer as a source of ionic silicon and (3) garlic extracts during the period of active gall midge infestation resulted in 100% larvae mortality only one week later in cases of Siliplant application, either singly or in combination with sodium selenate and garlic extract supplementation (Table 1). The lack of a significant positive effect of sodium selenate supplementation may be connected both with the lower gall midge sensitivity to Se and/or the necessity



Fig. 1. *Raphanus sativus* var. *lobo* infested by *Contarinia nasturtii*
Рис. 1. Растение *Raphanus sativus* var. *lobo*, зараженное *Contarinia nasturtii*

for a longer period of exposure. Neither Se nor Si have been earlier used for plant protection against *C. nasturtii*. Contrary, garlic oil along with eucalyptus oil were shown to act as repellents for *C. nasturtii* [17]. Selenium protection against pests is connected with the toxic effect of the element, while silicon application along with the anti-feeding effect was shown to induce the emission of plant volatile attractants of natural predators and parasitoids [8, 18, 19].

Furthermore, it should be indicated that all three supplements (Se, Si and garlic extract) are known as powerful growth stimulators improving plant immunity, antioxidant defense and stimulating photosynthesis that positively affect seed productivity and quality. Thus, investigations on lettuce seed plants revealed the increase in seed productivity, proline and phenolic content increase due to foliar application of sodium selenate, sole or in combination with garlic extract [20]. In the present research mass of 1000 seeds varied from 13.5 to 25.2 g being the highest for plants treated with Siliplant separately or in combination with sodium selenate. Thus, the most promising method for lobo protection against *C. nasturtii* was Siliplant foliar supplementation.

Changes in biochemical characteristics of plants due to Se, Si and garlic extract application are directly connected with the improvement of plant adaptability and participation of the antioxidant defense system [8, 21].

Table 1. Seed productivity and *C. nasturtii* infestation levels under Se, Si and garlic extract administration under infestation.
Таблица 1. Семенная продуктивность и уровни инфицирования крестоцветной галлицей в условиях использования препаратов селена, кремния и экстракта чеснока

Parameter Параметр	Control Контроль	Siliplant Силиплант	Se	Se + Siliplant Se+ Силиплант	Garlic Чеснок
Seed productivity, g/plant Семенная продуктивность, г/растений	0.2*	22.3	6.1	20.3	10.4
Mass of 1000 seeds, g Масса 1000 семян, г	13.5	25.2	14.4	22.1	14.8
Presence of alive larvae Присутствие живых личинок	+++	-	+	-	-

'+++'- fully infested plants; '-' = 100% mortality of larvae, '+'- 50 % reduction of live larvae

Table 2. Dry matter, total dissolved solids (TDS), nitrate and ash content in lobo leaves.
Таблица 2. Содержание сухого вещества, водорастворимых соединений (TDS) и золы в листьях лобы

Parameter Параметр	Control Контроль	Siliplant Силиплант	Se	Se + Siliplant Se+Силиплант	Garlic Чеснок
Dry matter, % Сухое вещество, %	12.29 a	11.67 a	11.25 a	12.48 a	11.56 a
Water-soluble compounds TDS, mg/g Водорастворимые соединения, мг/г	57.1 b	72.8 a	70.4 a	56.3 b	58.0 b
Nitrates, mg/Kg d.w. Нитраты, мг/кг с.м.	2968 a	3112 a	3306 a	2326 b	2750 ab
Ash, % Зола, %	10.0 a	10.9 a	11.3 a	9.1a	9.1 a

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

Data presented in Table 2 indicate lack of significant Se, Si and garlic extract effect on the dry matter content of plants and ash content. Only Siliplant and Se application increased significantly the water-soluble compound content (TDS) exceeding that of the control plants by 1.23-1.27 times. The same tendency was registered for nitrate accumulation with the lowest values being typical to Se+Siliplant treated plants.

Antioxidant status of plants is directly connected with the protection against different stresses including insect pest infestation [21]. The results of the present work indicate lack of any differences in the total antioxidant activity between fully infested (control) plants and plants treated with Si, Se and garlic extract. Contrary, all treatments provided a significant increase in the polyphenol content with the highest positive effect of garlic extract confirming the known results of polyphenols importance in plant protection against herbivories [21]. It should be specially noted that the presented values of both total antioxidant activity (AOA) and total phenolics (TP) refer to the antioxidants soluble in 70% ethanol. Numerous investigations in optimization of polyphenol extraction conditions indicate significantly lower levels of TP in water extracts compared to ethanol utilization [22,23].

Among other biochemical parameters tested, a significant disaccharide content increase was recorded under all treatments, especially intensive in the case of garlic extract (Figure 5).

The detected phenomenon is directly connected with the active participation of carbohydrates in plant protection [24,25]. Infestation of plants by insect pests affect several

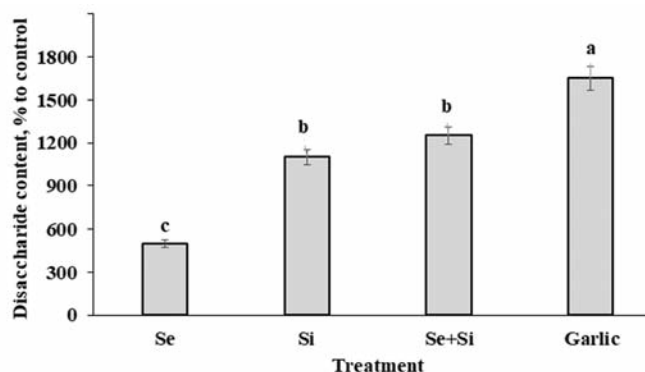


Fig. 2. Changes in disaccharide content in *Raphanus sativus* var. lobo treated with Siliplant, Se and garlic extract under *Contarinia nasturtii* infestation
Рис. 2. Изменения в содержании дисахаридов в инфицированных растениях лобо в результате обработок Силиплантом, селеном и экстрактом чеснока

secondary metabolites biosynthesis participating in plant resistance to the biotic stress [26,27]. In this respect, sucrose is known to participate in wounded tissues repair as an energy and carbon structure source and as a signal molecule for activation of the defense gene expression [28] and it is actively transported from injured sites to undamaged organs for growth recovery [29]. In this respect sucrose invertases and sucrose transporters are known to be highly affected by herbivory attack [30]. Thus, plant carbohydrate restoration due to Se, Si and garlic extract supply is reflected in a significant

Table 3. Effect of foliar application of Si (Siliplant), sodium selenate and garlic extract on biochemical characteristics of *Raphanus sativus* var. lobo under *Contarinia nasturtii* infestation.
Таблица 3. Влияние обработок лобы Силиплантом, селенатом натрия и экстрактом чеснока на биохимические характеристики растений в условиях инфицирования крестоцветной галлицей

Parameter Параметр	Control Контроль	Siliplant Силиплант	Se	Se + Siliplant Se+Силиплант	Garlic Чеснок
AOA*, mg GAE/g d.w. Антиоксидантная активность, мг-экв ГК/г с.м.	46.1a	44.1a	48.6a	46.1a	50.5a
TP**, mg GAE/g d.w. Полифенолы, мг-экв ГК/г с.м.	13.0b	15.0ab	16.0a	16.1a	17.1a
Se, µg/Kg d.w. Se, мкг/кг с.м.	146c	213b	1080a	1295a	150c
Monosaccharides, % Моносахара, %	17.0a	16.9a	12.6b	13.9b	16.5a
Disaccharides, % Дисахара, %	0.2d	1.0c	2.2b	2.5b	3.3a
Total sugar, % Общее содержание сахара, %	17.2ab	17.9a	14.8b	16.4ab	19.8a

* AOA—total antioxidant activity, **TP—polyphenols. Along each line, values with the same letters do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$

* AOA—общая антиоксидантная активность, **TP—полифенолы. Значения в рядах с одинаковыми индексами не различаются статистически согласно тесту Дункана при $p < 0.05$

increase in disaccharide content of the infested plants leaves with the highest effect typical for garlic extract application.

The lower efficiency of sodium selenate treatment compared to that of Siliplant and garlic extract, and the different intensities in biochemical changes (Table 2, Figure 4) indicate that Se protective effects require more time than those of Si and garlic extracts.

In conditions of the present experiment Se biofortification levels of lobo plants reached 7.4–8.9 indicating a tendency of the increase of Se assimilation due to Si supply which was in agreement with the results of the previous research on chervil [31]. Furthermore, significant increase in lobo leaf Se level in

plants treated with Siliplant without Se application confirms the existence of the Se-Si interaction phenomenon.

Conclusion

The results of the present investigation indicate high prospects of garlic extract, silicon and selenium supply for protection of *Raphanus sativus* var. lobo against *Contarinia nasturtii* attack. Further research is necessary to optimize the conditions of treatments and to confirm the efficiency of Se, Si, garlic extract supply for protection of other *Brassicaceae* representatives against infestation with *Contarinia nasturtii*.

References / Литература

1. Darvas B., Skuhrava M., Andersen A. Agricultural Dipteran pests of the Palearctic region. In: Papp, L. and Darvas, B. (eds) Contributions to a Manual of Palearctic Diptera, with Special Reference to Flies of Economic Importance. Science Herald, Budapest, Hungary, 2000.
2. Hallett R.H., Heal J.D. First Nearctic record of the swede midge (*Diptera: Cecidomyiidae*), a pest of cruciferous crops from Europe. *Can. Entomol.* 2001;(133):713–715
<https://doi.org/10.4039/ent133713-5>
3. Wu Q.-J., Zhao J.-Z., Taylor A.G., Shelton A.M. Evaluation of insecticides and application methods against *Contarinia nasturtii* (*Diptera: Cecidomyiidae*), a new invasive insect pest in the United States. *J. Economic Entomol.* 2006;(99):117–122.
4. Chen M., Zhao J.-Z., Shelton A.M. Control of *Contarinia nasturtii* Kieffer (*Diptera: Cecidomyiidae*) by foliar sprays of acetamiprid on cauliflower transplants. *Crop Protection.* 2007;(26):1574–1578.
5. Hallett R.H., Chen M., Sears M.K., Shelton A.M. Insecticide management strategies for control of swede midge (*Diptera: Cecidomyiidae*) on cole crops. *J. Economic Entomol.* 2009;(102):2241–2254.
6. Abram P.K., Boivin G., Haye T., Mason P.G. *Contarinia nasturtii* Kieffer, Swede Midge (*Diptera: Cecidomyiidae*) Chapter 18 CAB International 2013. Biological Control Programs in Canada 2001–2012 (eds P.G. Mason and D.R. Gillespie).
7. Rinaldi S., Casorri L., Masciarelli E., Ficociello B., Visconti U., Papetti P., Neri U., Beni C. Prospects of using garlic extracts for pest control in sustainable agriculture. *Fresenius Environ. Bull.* 2019;28(2):535–540.
8. Golubkina N., Zayachkovsky V., Sheshnitsan S., Skrypnik L., Antoshkina M., Smirnova A., Fedotov M., Caruso G. Prospects of the application of garlic extracts and selenium and silicon compounds for plant protection against herbivorous pests: a review. *Agriculture.* 2022;(12):64.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12010064>
9. Li Q., Xian L., Yuan L., Lin Z., Chen X., Wang J., Li T. The use of selenium for controlling plant fungal diseases and insect pests. *Front. Plant Sci.* 2023;(14):1102594.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1102594>
10. Kalleshwaraswamy C.M., Kannan M., Prakash N.B. Chapter 16 - Silicon as a natural plant guard against insect pests, Editor(s): H. Etesami, A.H. Al Saeedi, H. El-Ramady, M. Fujita, M. Pessarakli, M.A. Hossain, Silicon and Nano-silicon in Environmental Stress Management and Crop Quality Improvement, Academic Press, 2022. P.219–227.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91225-9.00004-2>
11. Hayat S.H., Ali A.M., Hayat K., Khan M.A., Cheng Z. Aqueous Garlic Extract as a Plant Biostimulant Enhances Physiology, Improves Crop Quality and Metabolite Abundance, and Primes the Defense Responses of Receiver Plants. *Appl. Sci.* 2018;(8):1505. <https://doi.org/10.3390/app8091505>
12. Alfthan G.V. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry. *Anal. Chim. Acta.* 1984;(165):187–194. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)85199-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)85199-5)
13. 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.* 181 p. ISBN 978-5-16-015666-8. <https://doi.org/10.12737/1045420>.
<https://elibrary.ru/vtgigm> (In Russ.)
14. AOAC Association Official Analytical Chemists. The Official Methods of Analysis of AOAC International; 22 'Vitamin C'; AOAC: Rockville, MD, USA, 2012.
15. Swamy P.M. Laboratory manual on biotechnology. 2008, Rastogi Publications: Meerut, India, 617.
16. Application Bulletin 121/2 e Metrohm International Headquarters Determination of nitrate with an ion-selective electrode; 5–10.
17. Chase S. Repelling *Contarinia Nasturtii* (diptera: Cecidomyiidae), A Brassica Specialist, Using Non-Host Essential Oils 2019. *Graduate College Dissertations and Theses.* 2018. <https://scholarworks.uvm.edu/grad-dis/1018>.
18. Golubkina N., Sheshnitsan S., Kapitalchuk M. Ecological Importance of Insects in Selenium Biogenic Cycling. *Int. J. Ecol.* 2014;(2014):835636. <https://doi.org/10.1155/2014/835636>.
19. Golubkina N., Skryabin K. Anomalous accumulation of selenium by genetically modified potato, stable to Colorado beetle. *J. Food Comp. Anal.* 2010;(23):190–193.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.08.011>
20. Golubkina N., Kharchenko V., Moldovan A., Antoshkina M., Ushakova O., Sekara A., Stoleru V., Murariu O.C., Tallarita A.V., Sannino M. Effect of Selenium and Garlic Extract Treatments of Seed-Addressed Lettuce Plants on Biofortification Level, Seed Productivity and Mature Plant Yield and Quality. *Plants.* 2024;(13):1190. <https://doi.org/10.3390/plants13091190>
21. War A.R., Paulraj M.G., Ahmad T., Buhroo A.A., Hussain B., Ignacimuthu S., Sharma H.C. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signal Behav.* 2012;7(10):1306–20.
<https://doi.org/10.4161/psb.21663>
22. Golubkina N., Kharchenko V., Moldovan A., Zayachkovsky V., Stepanov V., Pivovarov V., Sekara A., Tallarita A., Caruso G. Nutritional Value of Apiaceae Seeds as Affected by 11 Species and 43 Cultivars. *Horticulturae.* 2021;(7):57. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030057>
23. de Souza Vieira T.M.F., Shimano M.Y.H., da Silva Lima R., de Camargo A.C. Optimization of extraction of antioxidants from aromatic herbs and their synergistic effects in a lipid model system. *J. Food Bioact.* 2019;(7):63–72. <https://doi.org/10.31665/JFB.2019.7200>
24. Keunen E., Peshev D., Vangronsveld J., Van Den Ende W., Cuypers A. Plant sugars are crucial players in the oxidative challenge during abiotic stress: Extending the traditional concept. *Plant Cell Environ.* 2013;(36):1242–1255.
<https://doi.org/10.1111/pce.12061>
25. Chang Y.-A., Dai N.-C., Chen H.-J., Tseng C.-H., Huang S.-T., Wang S.-J. Regulation of rice sucrose transporter 4 gene expression in response to insect herbivore chewing. *J. Plant Interactions.* 2019;14(1):525–532. <https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1662099>
26. War A.R., Paulraj M.G., Ahmad T., Buhroo A.A., Hussain B., Ignacimuthu S., Sharma H.C. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signal Behav.* 2012;(7):1306–1320.
27. Mithöfer A., Maffei M.E.. General mechanisms of plant defense and plant toxins. In: Gopalakrishnakone P., Carlini C., Ligabue-Braun R., editors. *Plant toxins. Toxicology.* 2017, Dordrecht: Springer. P. 3–24.
28. Rolland F., Baena-Gonzalez E., Sheen J. Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. *Ann. Rev. Plant Biol.* 2006;(57):675–709.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105441>
29. Schwachtje J., Minchin P.E.H., Jahnke S., van Dongen J.T., Schittko U., Baldwin I.T. SNF1-related kinases allow plants to tolerate herbivory by allocating carbon to roots. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2006;(103):12935–12940.
30. Schwachtje J., Baldwin I.T. Why Does Herbivore Attack Reconfigure Primary Metabolism? *Plant Physiol.* 2008;146(3):845–851.
<https://doi.org/10.1104/pp.107.112490>
31. Golubkina N., Moldovan A., Fedotov M., Kekina H., Kharchenko V., Folmanis G., Alpatov A., Caruso G. Iodine and selenium biofortification of chervil plants treated with silicon nanoparticles. *Plants.* 2021;(10):2528. <https://doi.org/10.3390/plants10112528>

Об авторах:

Надежда Александровна Голубкина – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, автор для переписки, segolubkina45@gmail.com, SPIN-код: 9284-3454, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Владимир Александрович Заячковский – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатория селекции и семеноводства корнеплодных культур, <https://orcid.org/0000-0001-9821-5381>, SPIN-код: 9397-8691, vladimir898542178114@mail.ru

About the Authors:

Nadezhda A. Golubkina – Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher of Laboratory-Analytical Department, Corresponding Author, segolubkina45@gmail.com, SPIN-code: 9284-3454, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

Vladimir A. Zayachkovsky – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Laboratory of Breeding and Seed Production of Root Crops, <https://orcid.org/0000-0001-9821-5381>, SPIN-code: 9397-8691, vladimir898542178114@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-28-34>
УДК: 635.11:632.488

Л.Н. Тимакова*, К.Л. Алексеева,
Л.М. Соколова

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:

ljubovtimakova@rambler.ru

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

Вклад авторов: Тимакова Л.Н.: формулирование идеи, проведение исследований в полевых условиях, подготовка первоначального текста статьи. Алексеева К.Л.: информационный поиск, обобщение полученных результатов, написание и оформление текста статьи. Соколова Л.М.: выполнение лабораторных опытов, проведение учетов, подготовка фото для статьи

Для цитирования: Тимакова Л.Н., Алексеева К.Л., Соколова Л.М. Оценка устойчивости инбредных линий свеклы столовой к церкоспорозу (*Cercospora beticola* Sacc.) в полевых и лабораторных условиях. *Овощи России*. 2024;(4):28-34. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-28-34>

Поступила в редакцию: 15.04.2024

Принята к печати: 29.05.2024

Опубликована: 08.07.2024

Lyubov N. Timakova*, Ksenia L. Alekseeva,
Lyubov M. Sokolova

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:

ljubovtimakova@rambler.ru

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

Authors' Contribution: Timakova L.N.: formulation of an idea, conducting research in the field, preparation of the initial text of the article. Alekseeva K.L.: information search, generalization of the obtained results, writing the original text of an article and final design of the manuscript. Sokolova L.M.: performing laboratory experiments, accounting based on the results of experiments, preparing of photo illustrations for the article.

For citation: Timakova L.N., Alekseeva K.L., Sokolova L.M. Assessment of the resistance of inbred beet lines to (*Cercospora beticola* Sacc.) in field and laboratory conditions. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):28-34. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-28-34>

Received: 15.04.2024

Accepted for publication: 29.05.2024

Published: 08.07.2024

Оценка устойчивости инбредных линий свеклы столовой к церкоспорозу (*Cercospora beticola* Sacc.) в полевых и лабораторных условиях

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Церкоспорозная пятнистость листьев (*Cercospora beticola*) – повсеместно распространенное заболевание свеклы столовой, снижающее урожайность корнеплодов во многих регионах свеклосеяния. Ежегодные потери от церкоспороза составляют до 30-40%, а в годы эпифитотий – 50% и более. Гриб имеет сложную внутривидовую структуру, включает множество патотипов и рас, что следует учитывать при селекции на устойчивость. Основным методом создания устойчивых форм свеклы столовой к *C. beticola* является отбор церкоспоростойких линий при естественном проявлении болезни и на искусственных фонах. В условиях открытого грунта проведение оценки устойчивости свеклы столовой к церкоспорозу не всегда возможно, так как в отдельные жаркие и засушливые годы церкоспороз проявляется слабо. Поэтому для ускорения селекционного процесса важное значение имеют лабораторные методы оценки.

Цель исследований – провести иммунологический анализ линий свеклы столовой в полевых и лабораторных условиях для отбора устойчивого материала.

Материал и методика. Оценка сортообразцов свеклы столовой на устойчивость к церкоспорозу проводилась в условиях открытого грунта на базе Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства – филиале ФГБНУ ФНЦО (Московская обл.). В лабораторных условиях проводилось искусственное инфицирование отделенных листьев свеклы столовой. Объектами исследования явились инбредные линии свеклы столовой 1-6 поколения.

Результаты и обсуждение. В результате оценки и отбора выделены линии № 713 и 790 свеклы столовой с повышенной устойчивостью к церкоспорозу. Установлено, что для практической селекции необходимо постоянно и строго вести отбор по признаку устойчивости к церкоспорозу. В лабораторных условиях разработан метод искусственного заражения отделенных листовых пластинок, который позволяет в короткие сроки проводить предварительную оценку большого числа образцов свеклы столовой на устойчивость к церкоспорозу.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

свекла столовая, церкоспороз, селекция на устойчивость, иммунологическая оценка сортообразцов, естественный и искусственный инфекционный фон, экспресс метод оценки устойчивости

Assessment of the resistance of inbred table beet lines to cercosporosis (*Cercospora beticola* Sacc.) in field and laboratory conditions

ABSTRACT

Relevance. Cercospora leaf spot (*Cercospora beticola*) is a widespread disease of table beet that reduces the yield of root crops in many beet-growing regions. Annual losses from cercosporosis amount to 30-40%, and in the years of epiphytotic diseases – 50% or more. The fungus has a complex intraspecific structure, includes many pathotypes and races, which should be taken into account when breeding for resistance. The main method of creating resistant forms of table beet to *C. beticola* is the selection of cercospore-resistant lines in the natural manifestation of the disease and on artificial backgrounds. In open ground conditions, it is not always possible to assess the resistance of table beet to cercosporosis, since cercosporosis is weak in some hot and dry years. Therefore, laboratory assessment methods are important to accelerate the breeding process. The purpose of the research is to carry out an immunological analysis of beet lines in the field and laboratory conditions for the selection of sustainable material.

Materials and methods. The assessment of beet variety samples for resistance to cercospora blight was carried out in open ground conditions on the basis of the All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of the FSBSI Federal Scientific Vegetable Center (Moscow region). In laboratory conditions, artificial infection of separated red beet leaves was carried out. The objects of the study were inbred lines of red beets of the 1st-6th generation.

Results and discussion. As a result of evaluation and selection, red beet lines No. 713 and 790 with increased resistance to cercospora blight were identified. It has been established that for practical breeding it is necessary to constantly and strictly select for resistance to cercospora blight. In laboratory conditions, a method of artificial infection of separated leaves has been developed, which allows for a short period of time to carry out a preliminary assessment of a large number of beetroot samples for resistance to cercospora blight.

KEYWORDS:

table beet, cercosporosis, selection for resistance, immunological assessment of cultivars, natural and artificial infectious background, express method of resistance assessment

Введение

Церкоспорозная пятнистость листьев (церкоспороз) – повсеместно распространенное заболевание свеклы столовой, снижающее урожайность корнеплодов во многих регионах свеклосеяния. Ежегодные потери от церкоспороза составляют до 30-40%, а в годы эпифитотий – 50% и более [1]. Усиление вредности церкоспороза свеклы столовой за последние годы в различных регионах России связано как с изменением климата, так и с широким использованием гибридов западной селекции, которые характеризуются восприимчивостью к болезням и не пригодны для длительного хранения [2, 3, 4].

Симптомы церкоспороза проявляются в виде образования на листьях нижнего и среднего яруса розетки характерных некротических пятен округлой формы 2-6 мм в диаметре с характерной каймой темно-красного или бурого цвета (рис. 1). По мере развития болезни число пятен на поверхности листовых пластин быстро увеличивается, сильно пораженные листья усыхают и отмирают. У больных растений сокращается площадь ассимиляционной поверхности, снижается интенсивность фотосинтеза, нарушаются процессы формирования корнеплодов, что приводит к недобору товарной части урожая, вызывает снижение качества корнеплодов и их сохраняемости [5,6,7].



Рис. 1. Церкоспорозная пятнистость листьев свеклы столовой (автор фото: Тимакова Л.Н.)
Fig. 1. Cercospora leaf spot of red beet (photo by Timakova L.N.)

Возбудитель церкоспороза – фитопатогенный гриб *Cercospora beticola* Sacc., в цикле развития имеет только бесполое конидиальное спороношение. Конидии нитевидной или игловидной формы с перегородками, размером 3-5х27-250 мкм (рис. 2), переносятся на здоровые растения аэрогенным путем, вызывая их заражение [8].

Обильному спороношению *C. beticola* и быстрому распространению болезни в посевах свеклы столовой способствует теплая и влажная погода и увлажнение листовой розетки. При оптимальных условиях для прорастания конидий и внедрения инфекции – (температура воздуха +20...+25°C, относительная влажность воздуха 90%) инкубационный период



Рис. 2. Игловидные конидии *C. beticola* в поле зрения светового микроскопа при увеличении 16 x 40 (автор фото: Соколова Л.М.)
Fig. 2. Needle-shaped conidia of *C. beticola* in the field of view of a light microscope at a magnification of 16 x 40 (photo by L.M. Sokolova)

составляет 3 дня. Возбудитель церкоспороза *C. beticola* поражает, не только столовую свеклу, но и сахарную, свеклу кормовую, а также мангольд, шпинат и многие виды сорных растений семейства Маревые [7, 9, 10]. Зимует гриб в виде мицелия и стромовидных образований на сохраняющихся растительных остатках

Гриб имеет сложную внутривидовую структуру, включает множество патотипов и рас, что следует учитывать при селекции на устойчивость [11,12,13]. Основным методом создания устойчивых форм свеклы столовой к *C. beticola* является отбор церкоспорозоустойчивых линий при естественном проявлении болезни и на искусственных фонах. В условиях открытого грунта проведение оценки устойчивости линий свеклы столовой к церкоспорозу не всегда возможно, так как в отдельные жаркие и засушливые годы церкоспороз проявляется слабо. Поэтому для ускорения селекционного процесса важное значение имеют лабораторные методы оценки селекционного материала на устойчивость к патогену [14, 15]. Описание этих методов для свеклы столовой в литературе отсутствует, поэтому их разработка имеет важное значение.

Цель исследований – провести иммунологический анализ линий свеклы столовой в полевых и лабораторных условиях для отбора устойчивого материала и включения его в дальнейший селекционный процесс создания межлинейных гибридов F₁, устойчивых к церкоспорозу,

Условия, материалы и методы исследований

Оценка сортообразцов свеклы столовой на устойчивость к церкоспорозу проводилась в полевых условиях в 2018-2023 годах на базе Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства – филиале ФГБНУ ФНЦО (Московская обл.). Почва опытного участка относится к типу аллювиальных луговых, среднесуглинистая, насыщенная, влагоем-

кая. Глубина пахотного слоя – 27 см, глубина залегания грунтовых вод – более 2 м. Отличается высоким содержанием гумуса – 3,5–3,8%, близким к нейтральной реакцией солевой вытяжки – 5,5–6,1, общего азота – 0,19–0,24%, нитратного азота – 2,0–2,8 мг/100 г, содержание подвижных форм фосфора – 17,6–19,1 мг/100 г, калия – 7,0–8,2 мг/100 г соответственно.

Агроклиматические условия в годы проведения исследований были различными. В 2018 году все летние месяцы были теплыми и солнечными с неравномерным выпадением осадков. Средняя температура июля и августа составляла +20...+25 °С. Первые симптомы церкоспороза были отмечены в посевах свеклы столовой в первой декаде июля. К концу вегетационного периода распространенность болезни достигала 100%.

Погодные условия в 2020 году в целом были также благоприятными для развития болезни. Показатели атмосферных осадков в мае-июле существенно превышали среднемноголетние показатели, и первые симптомы церкоспороза были отмечены в посевах свеклы столовой во второй декаде июня. В августе осадков выпало на 30-60% меньше среднемноголетних значений, что замедлило распространение болезни во второй половине вегетационного периода.

В 2022 году преобладала жаркая и сухая погода. Количество выпавших осадков было значительно ниже нормы и составило в июне, июле, августе соответственно 50,8%, 87,8% и 19,9% от среднемноголетних значений. Среднесуточная температура воздуха со 2-ой декады июня по 3-ю декаду августа превышала многолетнюю норму. В этих условиях развитие болезни имело депрессивный характер.

Объектом исследований явились одноростковые инцухт линии 1-6 поколений, источниками которых стали образцы Хавская, Креолка, Монополи, Модана, 594 (табл. 1).

Таблица 1. Перечень сортообразцов инцухт линии
Table 1. List of varieties of breeding line

№ образца	Источник – сорт, гибрид	Поклоение
708	Хавская	2
713	Хавская	2
714	Креолка односемянная	1
715	Креолка односемянная	1
734	Монополи	2
736	Монополи	2
739	594-1-3	6
790	594-1-1	6
805	Модана	1



А – Отделенная листовая пластина
(1 способ – опрыскивание суспензией спор *C. beticola*)



Б – Отделенные листья
(2 способ – опрыскивание суспензией спор *C. beticola*)

Рис. 3. Способы заражения отделенных листьев свеклы столовой
Fig. 3. Methods for infecting separated beet leaves



Рис. 4. Приготовление суспензии спор *C. beticola*
Fig. 4. Preparation of *C. beticola* spore suspension

Семена высевали в третьей декаде мая. Оценку поражения листовой розетки растений церкоспорозом проводили методом визуальной диагностики в фазу технической спелости корнеплодов. В работе использовали стандартную 5-балльную шкалу поражения (по Салунской (1959) [16].

При выполнении лабораторных исследований за основу была принята методика искусственного инфицирования отделенных листовых пластин. Выборку листьев проводили в полевых условиях рендомизировано, с каждого сортообразца отбирали по 30 листьев без признаков поражения.

Материал в лабораторных условиях, отмывали от почвенных частиц и просушивали на стерильной фильтровальной бумаге в течение 3 часов до полного высыхания.

В опытах использовали два способа поддержания жизнеспособности отделенных листовых пластин.

Первый способ – раскладка листьев в лабораторные кюветы на фильтровальную бумагу (рис.3 А). Перед закладкой опыта кюветы и пленку дезинфицировали спиртом, фильтровальную бумагу стерилизовали при температуре 150°C, 2 часа. В кюветы укладывали фильтровальную бумагу, увлажняли её дистиллированной стерильной водой, затем черешок листа обматывали мокрой ватой (для предотвращения потери тургора) и раскладывали в кюветы.

Второй способ – размещение листовых пластин в лабораторных пробирках на гидрогеле (рис. 3 Б). Перед закладкой опыта в пробирки насыпали гидрогель по 0,1 г, затем заливали дистиллированную стерильную воду и оставляли на сутки для набухания. По истечении времени в пробирки с гелем помещали листовые пластины.

Для приготовления суспензии спор *C. beticola* использовали листья свеклы столовой, сильно пораженные церкоспорозом. Идентификацию

гриба проводили в поле зрения светового микроскопа. Пораженные листья резали на мелкие фракции, помещали в лабораторный стакан с дистиллированной стерильной водой, встряхивали на качалке в течение 1 часа, после чего центрифугированием отделяли надосадочную жидкость, содержащую споры патогена (рис. 4).

Концентрацию спор в суспензии подсчитывали в камере Горяева. Опрыскивание листовых пластин суспензией спор патогена (титр 10⁶ спор/мл) проводили ручным пульверизатором. В контроле листья опрыскивали дистиллированной стерильной водой. Затем листовые пластины в кюветах или пробирках с гидрогелем накрывали полиэтиленовой пленкой для поддержания влажности и ставили на инкубацию в световую комнату, где поддерживалась температура воздуха +25°C.

Полевые и лабораторные учеты проводили в баллах по следующей шкале: 0 до 0,8 – практически устойчивые; 0,9–1,5 – слабовосприимчивые; 1,6–2,4 – средневосприимчивые; 2,5–3,2 – восприимчивые; 3,3– 4,0 – сильновосприимчивые.

Результаты исследований

Первичную оценку инбредных линий (I₁–I₆) свеклы столовой на поражаемость церкоспорозом проводили в 2018 году (табл. 2).

Как показали проведенные учеты, в 2018 году все образцы свеклы столовой поражались церкоспорозом. Распространённость болезни варьировала от 30% (№790) до 100% (№708, 713, 714, 715, 734). Наиболее восприимчивой к поражению церкоспорозом оказалась линия 708 со средним баллом поражения 2,5 и распространённостью болезни 100%. Ещё у 4-х образцов отмечен балл поражения 1,0–1,5 со 100% распространённостью болезни. Незначительное поражение листовой розетки церкоспорозом отмечено у номера 790 (табл. 2).

Расчет среднеарифметического значения распространённости болезни по всем изучаемым образцам, показал, что в условиях 2018 года балл поражения церкоспорозом составил 1,1.

Отбор генотипов, устойчивых к церкоспорозу в 2018 году позволил снизить средний балл поражения растений в 2020 году, в среднем по образцам до 0,3. Устойчивым к *C. beticola* оказался номер 713, у которого не выявлено признаков поражения возбудителем. Единичные пятна церкоспороза на листовой пластинке были отмечены у № 739, 790, 805 (балл поражения 0,1). Наибольший балл поражения отмечен у линий 714 (0,8) и 715 (1,0), полученные на основе сортопопуляции Креолка.

В 2022 году количество линий в номерах увеличилось и составляло от 2 (№734, №805) до 13 шт. (№715).

В результате оценки отмечено, что у линий произошло расщепление на устойчивые и восприимчивые к церкоспорозу формы. Если рассматривать

Таблица 2. Средний балл поражения листовой розетки свеклы столовой во время вегетации растений (2018, 2020, 2022 годы)
Table 2. Average score of damage to the leaf rosette of red beets during the plant growing season (2018, 2020, 2022)

Номер линии	2018		2020		2022			
	распространенность болезни, р%	средний балл поражения	распространенность болезни, р%	средний балл поражения	распространенность болезни, р%		средний балл поражения	
					Среднее	min-max	среднее	min-max
708	100	2,5	13,3	0,13	79,5	50-100	0,8	0,5-1,0
713	100	1,0	0	0	50	0-100	0,7	0-1,0
714	100	1,0	40	0,8	71,3	50-100	0,8	0,5-1,2
715	100	1,5	18-100	0,2-1,0	85,3	87-100	0,96	0,9-1,7
734	100	1,5	39,8	0,5	57,5	25-90	0,5	0,2-0,9
736	80	0,8	20	0,4	90	60-100	0,9	0,6-0,1
739	50	0,5	13	0,1	44,3	14,5-100	0,4	0,1-1,0
790	30	0,3	6	0,1-0,2	20	0-100	0,2	0-1,1
805	50	0,5	13-26,7	0,1-0,3	40	30-50	0,4	0,3-0,5
Средняя	78,8	1,1		0,3			0,6	

средние показатели, то в целом отмечено снижение данного показателя по сравнению с 2018 годом, но увеличение по сравнению с 2020 годом.

Проведенная иммунологическая оценка не выявила невосприимчивых сортообразцов свеклы столовой. Установлено, что при отборе в полевых условиях повышается устойчивость образцов к церкоспорозу. Средний балл поражения снизился к 2020 году с 1,1 до 0,3. Но потомства линий без признаков поражения в дальнейшем не всегда полностью устойчивы к поражению патогеном. Например, линия 713, которая в 2020 году выделялась как невосприимчивая, расщепилась на невосприимчивую (балл поражения 0) и слабовосприимчивую (балл поражения от 0,5 до 1,0). В связи с этим, для практической селекции необходимо постоянно и строго вести отбор по признаку устойчивости к церкоспорозу.

В лабораторных условиях иммунологическую оценку проводили по линиям из номеров 708, 714, 715, 734. В полевых условиях линии 708-2, 714-1, 734-4 характеризовались как слабовосприимчивые

к поражению церкоспорозом с баллом поражения от 0,5 до 0,9, линия 715-2 характеризовалась как средневосприимчивая с баллом поражения церкоспорозом 1,7. В лабораторных условиях первые симптомы поражения были отмечены на 5-е сутки после инфицирования листьев в виде единичных некротических пятен (рис 5а). На 7-е сутки от момента закладки опыта, было выявлено, что на образце 734-4 некротические пятна покрывали менее 20% поверхности листовой пластины. Балл поражения этого образца составил 1,4, что позволяет считать его слабовосприимчивыми (табл. 3).

У образцов 708-2 и 714-1 наблюдалось обесцвечивание листьев, некротические пятна покрывали от 21% до 40% листовой пластины. Балл поражения у этих образцов составил 1,6-1,8, что свидетельствует об их средней восприимчивости к патогену. В лабораторных условиях наблюдали побурение листовых пластинок у номера 715-2 (рис. 5). Балл поражения у этого образца составил 2,8.

При искусственном заражении листовой пластинки балл поражения выше, по сравнению с оцен-



Рис. 5. Симптомы церкоспороза на инфицированных листовых пластинках
(А – единичные некрозы; Б – сильная степень некротизации)
Fig. 5. Symptoms of *Cercospora beticola* on infected leaf blades
(A – single necrosis; B – severe degree of necrosis)

Таблица 3. Оценка восприимчивости сортов свеклы столовой к церкоспорозу методом отделенных листьев
Table 3. Assessment of the susceptibility of beet varieties to *Cercospora beticola* using the separated leaf method

Наименование образца	Балл поражения	Степень восприимчивости	Симптомы
734-4	1,4	слабовосприимчивый	Листья сохраняют зеленую окраску, некротические пятна, мелкие 2-3 мм в диаметре, покрывают менее 20% поверхности листовой пластинки.
708-2	1,8	средневосприимчивый	Листья приобретают светло-зеленую и желтую окраску, некротические пятна 3-5 мм в диаметре, покрывают от 21% до 40% листовой пластинки
714-1	1,6	средневосприимчивый	-----« »-----
715-2	2,8	восприимчивый	Некроз покрывает более 40% поверхности листовой пластинки и придает ей бордово-бурую окраску

кой в полевых условиях. Это связано с тем, что в лабораторных условиях (межсезонный период) делается принудительное заражение агрессивным штаммом, который поражал свеклу столовую в период вегетации. Заражение в лаборатории проводилось при контролируемом уровне температуры и влажности. На естественном фоне сдерживающим фактором дальнейшего развития болезни могли стать погодные условия, а именно повышение температуры и снижение влажности воздуха, которые позволили снизить порог вредоносности. Результаты иммунологической оценки сортов свеклы столовой в лабораторных условиях согласуются с данными полевых испытаний на естественном инфекционном фоне. Разработанный метод искусственного заражения отделенных листовых пластин в лабораторных условиях позволяет в короткие сроки проводить предварительную оценку большого числа исходных сортов свеклы

свеклы столовой на устойчивость к церкоспорозу. Метод инфицирования отделенных листьев свеклы столовой суспензией спор *Cercospora* (с применением гидрогеля) может быть рекомендован для первичной оценки устойчивости селекционного материала, а также новых сортов и гибридов свеклы столовой.

Выводы

Определены сорта свеклы столовой с повышенной устойчивостью и отобран линейный материал для ведения дальнейшей селекции на устойчивость к церкоспорозу. Установлено, что для практической селекции необходимо постоянно и строго вести отбор по данному признаку. Для ускорения селекционного процесса создания сортов и гибридов с повышенной устойчивостью к болезни предложен лабораторный экспресс метод оценки устойчивости селекционного материала

• Литература

1. Ахатов А.К., Ганнибал Ф.Б., Мешков Ю.И., Джалилов Ф.С., Чижов В.Н., Игнатов А.Н., Полищук В.П., Шевченко Т.П., Борисов Б.А., Стройков Ю.М., Белошапкина О.О. Болезни и вредители овощных культур и картофеля. Москва, Товарищество научных изданий КМК, 2013. 463 с. ISBN 978-5-87317-918-3. <https://elibrary.ru/ubbgid>
2. Апасов И.В., Смирнов М.А. Производственно-техническая база свекловодства России. *Сахар*. 2020;(10):26-31. <https://elibrary.ru/boeeql>
3. Малько А.М. Потребность Российской Федерации в семенах сахарной свеклы – наличие и качество. *Сахарная свекла*. 2016;(3):17-19. <https://elibrary.ru/wzsudb>
4. Тимакова Л.Н., Борисов В.А., Фильрозе Н.А., Успенская О.Н., Соколова Л.М. Оценка качества сортов свеклы столовой в условиях Московской области. *Картофель и овощи*. 2020;(7):28-32. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.83.92.004> <https://elibrary.ru/jytrroo>
5. Pethybridge S.J., Sharma S., Hansen Z., Vaghefi N., Hanson L. Improving fungicide-based management of *Cercospora* leaf spot in table beet in New York, USA. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2019;42(3):353-366.
6. Sharma S., Heck D.W., Branch E., Kikkert J.R., Sarah J. *Cercospora* Leaf Spot of Table Beet. *Plant Pathology*. 2022;(22). <https://doi.org/10.1094/PHI-P-2022-02-0101>
7. Pethybridge S.J., Sharma S., Hansen Z., Kikkert J.R., Olmstead D.L., Hanson L.E. Optimizing *Cercospora* leaf spot control in table beet using action thresholds and disease forecasting. *Plant Disease*. 2020;104(6):1831-1840. <https://doi.org/10.1094/pdis-02-20-0246-re>
8. Knight N.L., Koenick L.B., Sharma S., Pethybridge S.J. Detection of *Cercospora beticola* and *Phoma betae* on Table Beet Seed using Quantitative PCR. *Phytopathology*. 2020;110(4):943-951. <https://doi.org/10.1094/phyto-11-19-0412-r>
9. Pethybridge S.J., Vaghefi N., Kikkert J. Management of *Cercospora* Leaf Spot in Conventional and Organic Table Beet Production. *Plant Disease*. 2017;101(9):1642-1651. <https://doi.org/10.1094/pdis-04-17-0528-re>
10. Heck D.W., Kikkert J.R., Hanson L., Pethybridge S.J. Development of a Sequential Sampling Plan using Spatial Attributes of *Cercospora* Leaf Spot Epidemics of Table Beet in New York. *Plant Disease*. 2021;(105):2453-2465.
11. Pethybridge S.J., Vaghefi N., Kikkert J. Horticultural Characteristics and Susceptibility of Table Beet Cultivars to *Cercospora* Leaf Spot in New York. *HortTechnology*. 2017;27(4):530-538.
12. Козарь Е.Г., Ветрова С.А., Енгальцева И.А., Федорова М.И. Оценка устойчивости селекционного материала свеклы столовой к церкоспорозу на фоне эпифитотии в условиях защищенного грунта Московской области. *Овощи России*. 2019;(6):124-132. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-124-132> <https://elibrary.ru/xxchhd>
13. Vaghefi N., Kikkert J.R., Hay F.S., Carver G.D., Koenick L.R., Bolton M.D., Hanson L.E., Secor G.A., Pethybridge S.J. Cryptic diversity, pathogenicity, and evolutionary species boundaries in *Cercospora* populations associated with *Cercospora* leaf spot of *Beta vulgaris*. *Fungal Biol.* 2018;122(4):264-282. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.01.008>
14. Демидова Е.С., Садыкина, Е.И., Сайчук А.И. Методы селекции томата на устойчивость к альтернариозу. Приднестровский НИИСХ, Тирасполь, 2006. 100 с.
15. Стогниенко О.И., Мелькумова Е.А., Корниенко А.В. Экспресс метод лабораторного скрининга устойчивости селекционного материала сахарной свеклы к церкоспорозу // Мат-лы Всероссийской научно-практической конференции «Индукцированный иммунитет сельскохозяйственных культур – важное направление в защите растений»- Большие Вяземы, Московской области, 2006. С.113-115.
16. Салунская Н.И. Пятнистость листьев, или церкоспороз. Свекловодство. Под. ред. Савченко Е.Н. Киев: ВНИС. 1959. 431 с.

• References

1. Akhatov A.K., Hannibal F.B., Meshkov Yu.I., Jalilov F.S., Chizhov V.N., Ignatov A.N., Polishchuk V.P., Shevchenko T.P., Borisov V.A., Stroikov Yu.M., Beloshapkina O.O. Diseases and pests of vegetables and potato. Moscow, Association of Scientific Publications of the KMK, 2013. 463 p. ISBN 978-5-87317-918-3. (In Russ.) <https://elibrary.ru/ubbgid>
2. Apasov I.V., Smirnov M.A. Production and technical base of beet farming in Russia. *Sugar*. 2020;(10):26-31. (In Russ.) <https://elibrary.ru/boeeql>
3. Malko A.M. Need of the Russian Federation in sugar beet seeds. *Sugar beet*. 2016;(3):17-19. (In Russ.) <https://elibrary.ru/wzsudb>
4. Timakova L.N., Borisov V.A., Filroze N.A., Uspenskaya O.N., Sokolova L.M. Assessment of the quality of beet varieties in the Moscow region. *Potato and vegetables*. 2020;(7):28-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.83.92.004> <https://elibrary.ru/jytrroo>
5. Pethybridge S.J., Sharma S., Hansen Z., Vaghefi N., Hanson L. Improving fungicide-based management of *Cercospora* leaf spot in table beet in New York, USA. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2019;42(3):353-366.
6. Sharma S., Heck D.W., Branch E., Kikkert J.R., Sarah J. *Cercospora* Leaf Spot of Table Beet. *Plant Pathology*. 2022;(22). <https://doi.org/10.1094/PHI-P-2022-02-0101>
7. Pethybridge S.J., Sharma S., Hansen Z., Kikkert J.R., Olmstead D.L., Hanson L.E. Optimizing *Cercospora* leaf spot control in table beet using action thresholds and disease forecasting. *Plant Dis.* 2020;104(6):1831-1840. <https://doi.org/10.1094/pdis-02-20-0246-re>
8. Knight N.L., Koenick L.B., Sharma S., Pethybridge S.J. Detection of *Cercospora beticola* and *Phoma betae* on Table Beet Seed using Quantitative PCR. *Phytopathology*. 2020;110(4):943-951. <https://doi.org/10.1094/phyto-11-19-0412-r>
9. Pethybridge S.J., Vaghefi N., Kikkert J. Management of *Cercospora* Leaf Spot in Conventional and Organic Table Beet Production. *Plant Disease*. 2017;101(9):1642-1651. <https://doi.org/10.1094/pdis-04-17-0528-re>
10. Heck D.W., Kikkert J.R., Hanson L., Pethybridge S.J. Development of a Sequential Sampling Plan using Spatial Attributes of *Cercospora* Leaf Spot Epidemics of Table Beet in New York. *Plant Disease*. 2021;(105):2453-2465.
11. Pethybridge S.J., Vaghefi N., Kikkert J. Horticultural Characteristics and Susceptibility of Table Beet *Cultivars* to *Cercospora* Leaf Spot in New York. *HortTechnology*. 2017;27(4):530-538.
12. Kozar E.G., Vetrova S.A., Engalycheva I.A., Fedorova M.I. Evaluation of the resistance of the breeding material beetroot to *Cercospora* amid epiphytity in greenhouses the Moscow region. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(6):124-132. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-124-132> <https://elibrary.ru/xxchhd>
13. Vaghefi N., Kikkert J.R., Hay F.S., Carver G.D., Koenick L.R., Bolton M.D., Hanson L.E., Secor G.A., Pethybridge S.J. Cryptic diversity, pathogenicity, and evolutionary species boundaries in *Cercospora* populations associated with *Cercospora* leaf spot of *Beta vulgaris*. *Fungal Biol.* 2018;122(4):264-282. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.01.008>
14. Demidova E.S., Sadykina, E.I., Saichuk A.I. Methods of tomato breeding for resistance to alternariasis. Pridnestrovian Research Institute, Tiraspol, 2006. 100 p. (In Russ.)
15. Stognienko O.I., Melkumova E.A., Kornienko A.V. Express method of laboratory screening of the resistance of sugar beet breeding material to cercosporosis. Materials of the All-Russian scientific and practical conference "Induced immunity of agricultural crops – an important direction in plant protection"- Bolshye Vyazemye, Moscow region, 2006. pp.113-115. (In Russ.)
16. Salunskaya N.I. Leaf spot, or cercosporosis. Beet growing. Ed. Savchenko E.N. Kiev: VNIS. 1959. 431 p. (In Russ.)

Об авторах:

Любовь Николаевна Тимакова – кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, SPIN-код: 9553-8830, <http://orcid.org/0000-0003-3628-6728>, автор для переписки, ljubovtimakova@rambler.ru

Ксения Леонидовна Алексеева – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, SPIN-код: 8212-0261, <https://orcid.org/0000-0001-5474-0256>, alexenleon@yandex.ru

Любовь Михайловна Соколова – доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, lsokolova74@mail.ru, SPIN-код: 2187-0416, <https://orcid.org/0000-0001-6223-4767>

About the Authors:

Lyubov N. Timakova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, SPIN-code: 9553-8830, <http://orcid.org/0000-0003-3628-6728>, Corresponding Author, ljubovtimakova@rambler.ru

Ksenia L. Alekseeva – Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, SPIN-code: 8212-0261, <https://orcid.org/0000-0001-5474-0256>, alexenleon@yandex.ru

Lyubov M. Sokolova – Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, lsokolova74@mail.ru, SPIN-code: 2187-0416, <https://orcid.org/0000-0001-6223-4767>

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-35-42>
УДК: 635.655:631.547:632.937.15

Н.А. Еремина¹, Л.М. Соколова^{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. Веря, стр. 500

*Автор для переписки: Isokolova74@mail.ru

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

Вклад авторов: Соколова Л.М.: научное руководство исследованием. Еремина Н.А., Соколова Л.М.: проведение лабораторной оценки, работа с литературой, подготовка материалов для статьи, анализ полученных результатов, подготовка черновика рукописи. Еремина Н.А.: статистическая обработка данных.

Для цитирования: Еремина Н.А., Соколова Л.М. Проблемы при производстве органических проростков сои овощной, связанные с проявлением патогенной микробиоты. *Овощи России*. 2024;(4):35-42. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-35-42>

Поступила в редакцию: 15.05.2024

Принята к печати: 17.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

Nadezhda A. Eremina¹, Lyubov M. Sokolova^{2*}

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Selektsionnaya str., VNISSOK, 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: Isokolova74@mail.ru

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

Authors' Contribution: Sokolova L.M.: scientific leadership of the study. Eremina N.A., Sokolova L.M.: laboratory assessment, work with literature, preparation of materials for the manuscript, analysis of the results, preparation of the draft manuscript. Eremina N.A.: statistical data processing. All authors took part in writing the manuscript.

For citation: Eremina N.A., Sokolova L.M. Problems in the production of organic vegetable soybean seedlings associated with the manifestation of pathogenic microbiota. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):35-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-35-42>

Received: 15.05.2024

Accepted for publication: 17.06.2024

Published: 08.07.2024

Проблемы при производстве органических проростков сои овощной, связанные с проявлением патогенной микробиоты

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Употребление в пищу натурального продукта проростков может полностью восполнить организм недостающими витаминами, но существуют проблемы в получении проростков – поражение семян комплексом фитопатогенов. Получение соевых проростков высокого качества является актуальной задачей.

Цель исследований – выявить основные проблемы, связанные с проявлением и снятием патогенной микробиоты при производстве проростков сои овощной.

Материал и методика. Материалом служили семена отечественных и зарубежных сортов сои. Определение всхожести и зараженности семян проводили по ГОСТ 12038-84 в 4х повторностях. Способы обеззараживания семян: ультрафиолетовое излучение и озонирование.

Результаты и обсуждение. Выявлено, что сорт Hidaka имеет большую зараженность семян 48,7%, и низкую всхожесть. Сорта Сибирячка и Лидия обладают высокой всхожестью, зараженность патогенами 6 и 8% соответственно. Заражение семян сорта Бара было минимальным 2,7%, этот сорт был взят в дальнейшую работу. Выделены патогены из родов *Mucor* spp., *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Pythium* spp., *Penicillium*. Определены фазы водопотребления сои овощной, что позволяет определить массу семени в конкретный период времени и использовать данные для предпосевной обработки семян. Апробированы экологические методы обеззараживания семенного материала – обработка ультрафиолетовым излучением, применение озоновой мойки и озонирование воды. Анализ процентного соотношения выхода здоровых и пораженных проростков в зависимости от способа обработки семян показал, что вариант без обработки имеет самое низкое количество здоровых проростков – 10,76%. Обработка сухих семян УФ и обработка в озоновой мойке позволили увеличить выход здоровых проростков до 14,24 и 14,30% соответственно. Обработка УФ замоченных семян позволила увеличить выход здоровой продукции на 62%, а вариант применения озоновой мойки с дальнейшим использованием озонированной воды позволил получить максимальный выход здоровых проростков – 20,04%, что в 2 раза выше по отношению к контролю.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

проростки сои, органическое питание, качество семян, патогены, бактериоз, *Mucor* spp., *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Pythium* spp., *Penicillium*

Problems in the production of organic vegetable soybean seedlings associated with the manifestation of pathogenic microbiota

ABSTRACT

Relevance. Eating a natural product of seedlings can completely replenish the body with missing vitamins, but there are problems in obtaining seedlings – damage to seeds by a complex of phytopathogens. Obtaining high-quality soy seedlings is an urgent task.

The purpose of the research is to identify the main problems associated with the manifestation and removal of pathogenic microbiota in the production of vegetable soybean seedlings.

Material and Methods. The seeds of domestic and foreign soybean varieties served as the material. Patent No. 2349098 of the Russian Federation. The determination of germination and infection of seeds was carried out according to GOST 12038-84 in 4 repetitions. Methods of disinfection of seeds: ultraviolet radiation and ozonation.

Results and Discussion. It was revealed that the Hidaka variety has a high seed contamination of 48.7%, and low germination. The varieties Sibirychka and Lydia have high germination, pathogen infestation is 6 and 8%, respectively. The contamination of the seeds of the Bar variety was a minimum of 2.7%, this variety was taken into further work. Pathogens from the genera *Mucor* spp., *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Pythium* spp., *Penicillium* have been isolated. The phases of water consumption of vegetable soybeans have been determined, which makes it possible to determine the weight of the seed in a specific period of time and use the data for pre-sowing seed treatment. Ecological methods of disinfection of seed material have been tested – treatment with ultraviolet radiation, the use of ozone washing and ozonation of water. An analysis of the percentage of the yield of healthy and affected seedlings, depending on the method of seed treatment, showed that the untreated option has the lowest number of healthy seedlings – 10.76%. UV treatment of dry seeds and treatment in an ozone sink allowed to increase the yield of healthy seedlings to 14.24 and 14.30%, respectively. UV treatment of soaked seeds allowed to increase the yield of healthy products by 62%, and the option of using an ozone sink with further use of ozonated water allowed to obtain the maximum yield of healthy seedlings – 20.04%, which is 2 times higher relative to the control.

KEYWORDS:

soybean seedlings, organic nutrition, seed quality, pathogens, bacteriosis, *Mucor* spp., *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Pythium* spp., *Penicillium*

Введение

В зимний период сложно найти натуральные, богатые витаминами продукты, особенно в мегаполисе. В процессе хранения фрукты и овощи теряют большое количество витаминов. В последние десятилетия внимание экспертов, занимающихся исследованием здорового питания, все больше и больше акцентируется на биологической ценности пищевых проростков. Употребление в пищу такого простого натурального продукта как проростки может полностью восполнить организм недостающими витаминами [1].

Согласно ГОСТ 20290 74, проросток – это росток вместе с развившимися зародышевыми корешками. Пророщенные семена обладают колоссальной питательной ценностью и содержат высокую концентрацию витаминов, минералов, белков, ферментов и антиоксидантов [2,3].

Во время прорастания семени выделяют основные фазы: водопоглощения, набухания, роста первичных корешков, развития ростка, фаза становления проростка. В течение фазы водопоглощения сухие семена в состоянии покоя поглощают определенное количество влаги из воздуха или субстрата. При появлении в семенах свободной воды начинается фаза набухания семян. Набухание семян это одно из основных условий для их прорастания. Во время набухания, происходит изменение физического состояния семени (оболочки семян становятся эластичными, семена увеличиваются в объеме), тем самым создаются условия для начала жизненных процессов в семени [4,5]. Окончанием фазы является наклевывание семени, для этого требуется определенное количество поглощенной воды. Количество воды, поглощаемое семенами, зависит от состава преобладающих в них запасных веществ [6]. Начало фазы роста первичных корешков характеризуется первым делением клеток первичного корешка, однако путем наблюдения его можно определить позже по появлению над оболочкой семени первичного корешка - [7]. Фаза развития проростка начинается с появлением ростка. Рост корешков в это время продолжается [8]. Завершающей фазой прорастания семян является фаза становления проростка, и оканчивается она переходом проростка на автотрофное питание [9]. Для использования в пищу проростки сои должны быть не более 4-5 см длиной, так как далее проросток становится грубым и жестким.

Биохимический состав семян существенно изменяется во время прорастания. Количество изменений белковых фракций, доля азотсодержащих фракций смещаются в сторону меньших белковых фракций, олигопептидов и свободных аминокислот. Помимо этого во время прорастания происходят изменения

количества аминокислот (некоторые из них растут, другие уменьшаются или не изменяются), образуются небелковые аминокислоты. Питательная ценность соевых проростков изменяется во время прорастания семян: увеличивается содержание свободных аминокислот, каротин, витамины группы В и С до 200-кратной величины по сравнению с сухими семенами, в то же время снижается содержание фитиновой кислоты и активность ингибитора трипсина [10]. Вследствие этих изменений биологическая ценность белка проростков возрастает [11].

Соя широко используется для выращивания проростков, употребляемых в пищу в сыром виде, а также для приготовления супов, салатов, бутербродов [12,13,14]. При помощи этого продукта можно эффективно бороться с авитаминозом. Ростки содержат практически все известные микроэлементы. Следует отметить, что лецитин защищает желчные протоки от появления камней и холестериновых бляшек [15,16,17]. Пророщенная соя благотворно влияет на обмен веществ, улучшает память, концентрирует внимание, нормализует работу головного мозга в целом. При онкологических заболеваниях ростки сои незаменимы [18].

Однако известные способы проращивания соевых семян не позволяют получать соевые проростки высокого качества. Одна из первых причин получения соевых ростков максимальной возможной массы (длины), с максимальным содержанием аскорбиновой кислоты, что связано с одновременным появлением грубой волокнистой структуры ростков. В то же время, при получении ростков мягкой и безволокнистой структуры сохраняется высокая уреазная активность в семядолях. В этой связи, получение соевых проростков высокого качества (безволокнистой структуры с допустимой уреазной активностью, максимальным содержанием аскорбиновой кислоты и максимальным массовым выходом) для последующего использования в поликомпонентных пищевых продуктах, например в салатах, является задачей актуальной [19].

Вторая причина – это поражение семян и проростков комплексом фитопатогенов, среди которых особую опасность представляют возбудители фузариоза, альтернариоза, бактериоза и плесневения семян. Из всех грибных болезней сои наиболее вредоносны корневые гнили. Корневую гниль сои вызывает комплекс грибов. Основными патогенами являются *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, *Ascochyta sojaecola*, *Pythium* spp. и др. [20]. Доминирующими являются грибы фузариозной этиологии. На всходах болезнь проявляется в виде побурения корневой шейки и корня. На семядолях – глубокие бурые язвы с последующим появлением в них во

влажной среде розоватого налета с ярко-розовыми подушечками. Семена без внешних признаков заболевания, несущие внутреннюю инфекцию, дают больные проростки. Заражённость проростков сои может составлять около 50% [21].

Плесневение семян не только причиняет вред в период их хранения, но и является причиной изреженности всходов и плесневения оболочки семени при получении проростков. На пораженных оболочках семян появляется зеленый, жёлтый, розовый, темный или другого цвета налет, вызываемый грибами из родов *Penicillium* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp., *Alternaria* spp. На увлажненных семенах грибы быстро развиваются, так как после увлажнения они инкубируются в термостате с температурой 250С [22,23]

Во влажных условиях на пораженных бактериозом семенах после набухания, появляются светло-желтые, светло-бурые или темно-коричневые пятна. Семена покрываются бактериальным экссудатом и проростки гибнут. Поражение проростков бактериозом может достигать 70% и более [24,25].

Вопросы использования конкретных сортов сои для выращивания проростков, способов подготовки семян к посеву изучены недостаточно. В связи с этим изучение данных вопросов в настоящее время актуально. Исходя из выше изложенного **целью** исследований является выявить основные проблемы, связанные с проявлением и снятием патогенной микрофлоры при производстве органических проростков сои овощной.

Материал и методика

Исследования проводили во ВНИИО – филиале ФГБНУ ФНЦО (Московская область) в лабораторных условиях. Объектом исследований служили семена отечественных и зарубежных сортов сои: сорт **Бара** – Воронежская овощная опытная станция – филиал ФГБНУ ФНЦО, **Hidaka** – Япония, **Сибирячка** – ФГБНУ Омский аграрный научный центр, **Лидия** – ФГБНУ

Всероссийский научно-исследовательский институт сои. Семена проращивали в термостате ТС 1/80 СПУ при температуре 25°С. Промывание семян производили под проточной водой 3 раза в сутки. В варианте применения озонированной воды промывание производилось озонированной водой.

Определение всхожести, энергии и зараженности семян проводили согласно ГОСТ 12038-84 в 4-х повторностях. Эксперимент организован с четырьмя повторностями.

Наиболее распространенными способами обеззараживания семян являются температура, различного рода излучения и химические вещества. При выращивании проростков особенно важное значение имеет биологическая безопасность применяемых способов. В нашем эксперименте использовались ультрафиолетовое излучение и озонирование.

Ультрафиолетовое излучение занимает спектральный диапазон между видимым и рентгеновским излучениями. По данным ряда исследователей, предпосевное УФ-облучение семян положительно влияет на стойкость к различным заболеваниям и неблагоприятным климатическим факторам. В результате УФ-облучения, в семенах изменяется уровень окисления липидов, pH и активность АТФ, что ведет к усилению биоэнергетических процессов. Также облучение семян ультрафиолетом приводит к уничтожению фитопатогенов и становится экологически чистым аналогом традиционного химического протравливания [24].

Обработку ультрафиолетовым излучением проводили в боксе STERIX PROFESSIONAL MUSTER.

В связи с тем, что методических рекомендаций по обработке семян для получения проростков нет, наш опыт был построен на подборе вариантов изучения влияния УФ на снятие патогенной микрофлоры при производстве органических проростков сои овощной. Опыт включал в себя варианты:

1. Сухие и замоченные семена выдерживали в боксе в экспозиции 10 мин.

Таблица 1. Всхожесть, энергия и зараженность семян сои различных сортов
Table 1. Germination, energy and contamination of soybean seeds of various varieties

Сорт	Год репродукции	Масса 1000 семян, г	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Зараженность, %
Бара	2023	160,3	94,0	98,0	2,7
Hidaka	2023	289,0	87,3	92,7	48,7
Сибирячка	2023	184,7	95,3	99,3	6,0
Лидия	2023	159,4	91,3	96,0	8,0

2. Обработка УФ замоченных семян в воде на 24 часа в экспозиции 10 мин.

3. Для контроля использовали сухие семена.

Озон подавляет бактерии и вирусы, попадая внутрь клетки, разрушает ее клеточную оболочку, что приводит к их гибели. Причиной нарушения целостности оболочек бактериальных клеток является окисление фосфолипидов и липопротеидов [25]. Озон, как один из сильнейших окислителей, разрушает (расщепляет) сложные органические соединения на фрагменты. Макромолекулы липопротеидов разрушаются по месту связей липидной части и белковой, затем расщепление идет на более мелкие фрагменты [26]. Прекращается процесс размножения патогенов, и нарушается способность соединяться с клетками организма.

Озонирование проводили с использованием озоновой мойки IDELSTAR, модель IS – 19. В барабан мойки помещали образцы на 10 минут.

Опыт включал в себя варианты:

1. Семена, обработанные в озоновой мойке, заливали водопроводной водой.

2. Семена, обработанные в озоновой мойке, заливали озонированной водой.

Используемая озонированная вода приготавливалась в озоновой мойке в течение 10 минут непосредственно перед использованием.

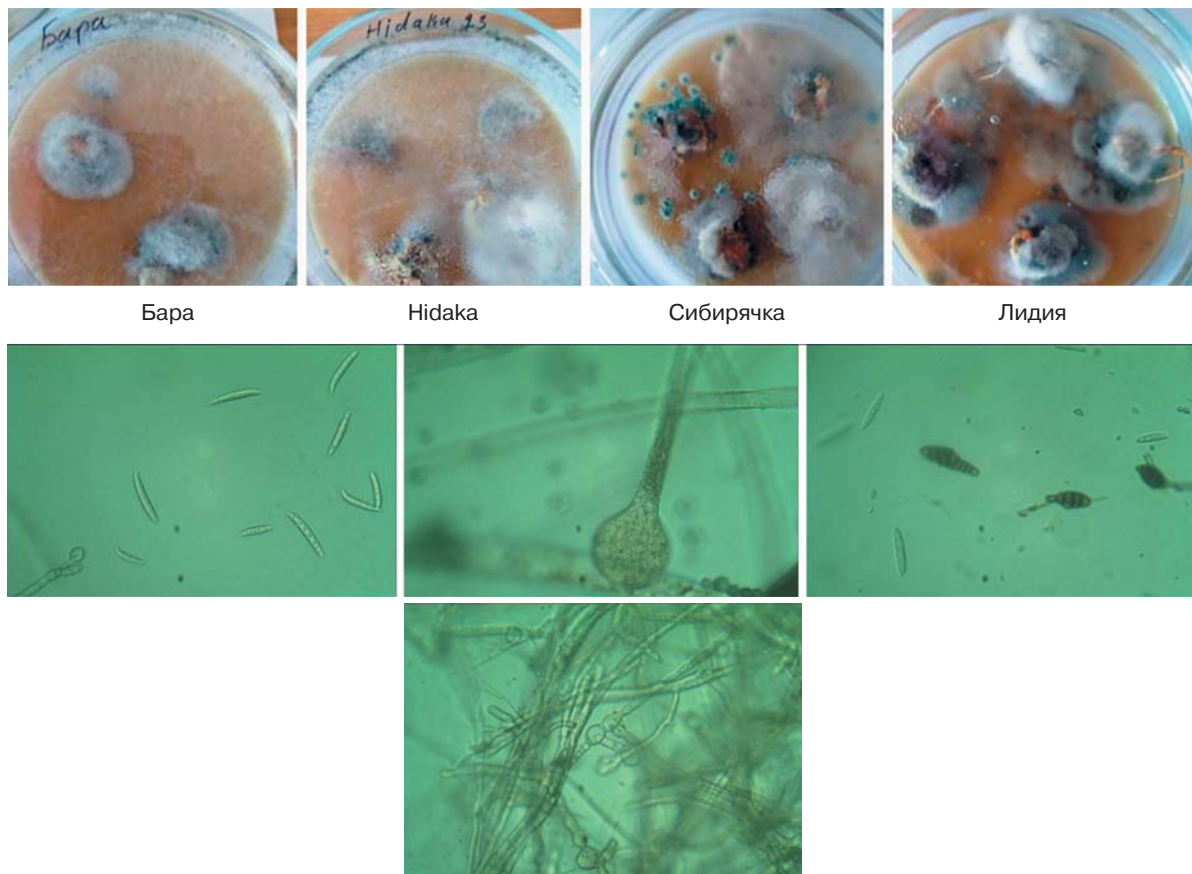
В работе были использованы следующие методики: Пат. РФ. №2349098. Способ получения соевых ростков [27].

Результаты и обсуждение

Для получения проростков необходимо использовать здоровые семена. Согласно ГОСТ 12038-84, было проведено определение энергии прорастания семян сои, всхожести, зараженности семян комплексом патогенов. В опыте были использованы семена различных сортов эколого-географического происхождения (табл. 1).

Сорт Hidaka обладает крупными семенами и высокой массой 1000 семян, что положительно должно сказаться на массе полученных проростков. Однако этот сорт показал самую большую зараженность семян 48,7% и, соответственно, низкие показатели энергии и всхожести. Семена сортов Сибирячка и Лидия мельче, но энергия и всхожесть у них значительно выше. Зараженность патогенами этих семян составила 6 и 8% соответственно. Семена сорта Бара достаточно мелкие – масса 1000 семян 160,3, но энергию и всхожесть показали в пределах нормы.

Проявление патогенов на семенах сои овощной связано с эколого-географическим происхождением сортов и агрометеорологическими условиями выращивания.



Fusarium spp., Mucor spp., Alternaria spp., Pythium spp., Penicillium spp.

Рис. 1. Анализ патогенной микрофлоры на различных сортах сои и родовая идентификация
Fig. 1. Analysis of pathogenic microflora on various soybean varieties and generic identification

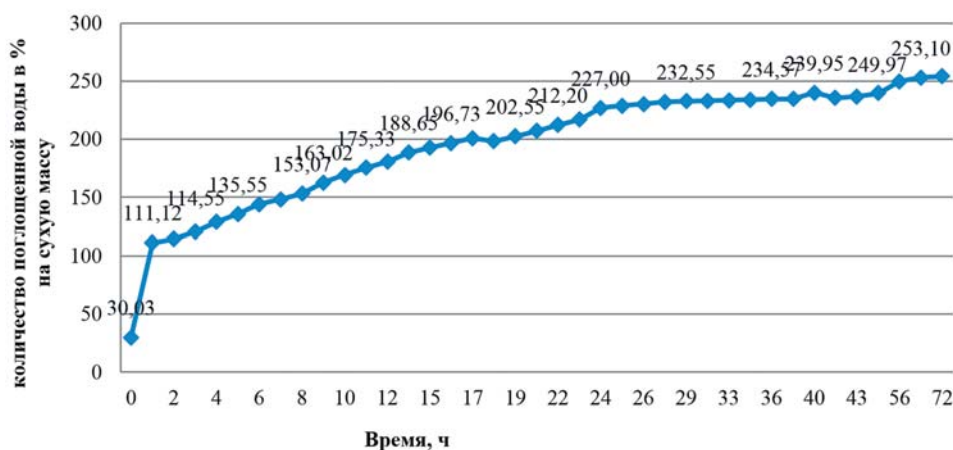


Рис. 2. Динамика набухания воздушно-сухих семян сорта Бара
Fig. 2. Dynamics of swelling of air-dry seeds of the *Bara* variety

На рисунке 1 представлена раскладка на питательной среде PDA и идентификация комплекса патогенов на семенах сои после определения всхожести.

В результате проведенного фитопатологического анализа с семян были выделены патогены из рода *Mucor* spp., это представитель плесневелых грибов и представители грибных болезней *Fusarium* spp., *Alternaria* spp. и *Pythium* spp., а также грибов рода *Penicillium*.

Из-за большой инфицированности остро встал вопрос о подборе экологических методов по обеззараживанию семян сои с целью получения здоровых проростков. Для этого были заложены серии опытов с подборкой способов обработки семян.

Заражение семян сорта Бара было минимальным в опыте – 2,7%, поэтому в дальнейшую работу были взяты семена сорта Бара.

В наших исследованиях изучали особенности прорастания семени на разных фазах: водопоглощения, набухания, роста первичных корешков, развития ростка, фаза становления проростка.

На рисунке 2 показана динамика набухания семян. Основное водопоглощение проходит в первые часы. Семена сои поглощают до 130% воздушно-сухой массы. Далее набор воды идет постепенно, и к 24

часам количество поглощенной воды составляет 237% от массы сухого семени.

После 24 часов поглощение воды замедляется, и кривая выходит на плато – семя вступает в фазу роста первичного корешка. С 48 часов идет активный рост корешка и ростка, и к 72 часам получается готовый к употреблению в пищу проросток.

Для определения наиболее подходящего способа обработки каждые 24 часа было проведено взвешивание образцов. На рисунке 3 представлена динамика увеличения сырой массы проростков, полученных с навески (30 г), в зависимости от способа обработки.

В первые 24 часа отмечены высокие показатели массы образцов в вариантах без обработки и варианте с применением озоновой мойки. Однако через 48 ч после начала опыта самая высокая масса образца была отмечена при применении озонированной воды – на 2,12 г выше к контролю. Также в варианте применения озоновой мойки мы наблюдали снижение набора массы образцов относительно контроля. Через 72 ч мы получили окончательную массу образцов. Все варианты обработок оказали положительное влияние на увеличение массы проростков. Так вариант обработки УФ сухих семян позволил увеличить массу проростков на

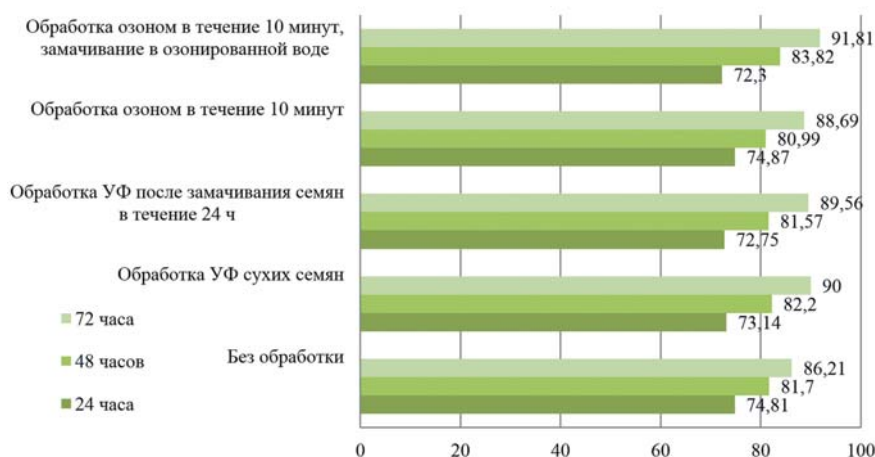


Рис. 3. Динамика увеличения сырой массы проростков под действием различных обработок, г
Fig. 3. Dynamics of the increase in the crude mass of seedlings under the influence of various treatments, g

Таблица 2. Коэффициент корреляции по вариантам опыта, r
Table 2. Correlation coefficient by experience variants, r

Вариант	24 часа	48 часов	72 часа	r
Без обработки	74,81	81,7	86,21	
Обработка УФ сухих семян	73,14	82,2	90,0	1,00
Обработка УФ после замачивания семян в течение 24 ч	72,75	81,57	89,56	1,00
Обработка озоном в течение 10 минут	74,87	80,99	88,69	0,98
Обработка озоном в течение 10 минут, замачивание в озонированной воде	72,3	83,82	91,81	1,00

4,4%, а вариант применения озоновой мойки с использованием озонированной воды – на 6,5%.

В данном опыте коэффициент корреляции (r) близок к 1, что свидетельствует о высокой взаимосвязи (табл. 2).

После 48 часов были отмечены первые признаки поражения проростков, которые представлены на рисунке 4. Данный признак проявлялся при расстрескивании семядолей в фазу набухания. Для выявления внутренней инфицированности семян образцы с признаками поражения были разложены на питательную среду PDA.

В результате было выявлено, что внутренняя инфицированность семян представлена бактериозом и черной гнилью, вызываемой грибами рода *Alternaria* spp.

Далее был проведен анализ процентного соотношения выхода здоровых и пораженных проростков в зависимости от способа обработки семян (рис. 5). Вариант без обработки показал самое низкое количество здоровых проростков – 10,76%. Низкий процент выхода здоровых проростков объясняется проявление внутренней инфекции семени при повышенном водопотреблении. Поскольку разви-

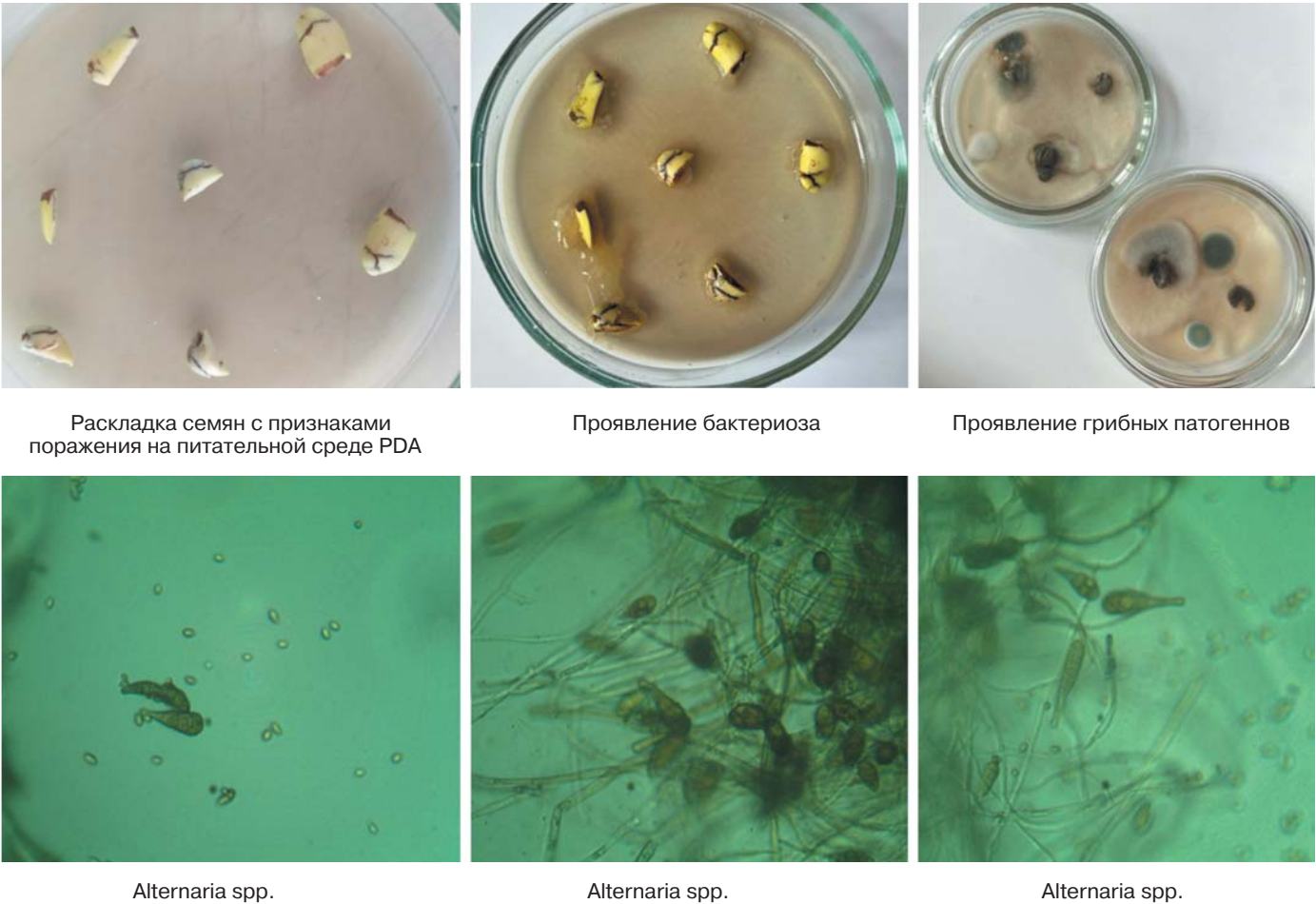


Рис. 4. Анализ внутренней инфицированности семян сои при набухании
Fig. 4. Analysis of internal infection of soybean seeds during swelling



Рис. 5. Выход здоровых проростков в зависимости от способа обработки семян, %
Fig. 5. The yield of healthy seedlings depending on the method of seed treatment, %

тие патогена происходит при повышенной влажности (более 80%) и повышенных температурах – выше 25°C. Обработка сухих семян УФ и обработка в озонной мойке позволили увеличить выход здоровых проростков до 14,24 и 14,30% соответственно.

Обработка УФ замоченных семян позволила увеличить выход здоровой продукции на 62%, а вариант применения озонной мойки с дальнейшим использованием озонированной воды позволил получить максимальный выход здоровых проростков – 20,04%, что в 2 раза выше по отношению к контролю.

Закключение

Определены фазы водопотребления сои овощной, что позволяет определить массу семени в конкретный период времени и позволяет использовать эти данные для предпосевной обработки семян.

В ходе комплексной оценки семенного материала

и проростков сои овощной были выявлены патогены рода: *Mucor* spp., *Fusarium* spp, *Alternaria* spp, *Pythium* spp., *Penicillium*.

Апробированы экологические методы обеззараживания семенного материала – обработка ультрафиолетовым излучением, применение озонной мойки и озонирование воды.

Доказано положительное влияние обработки семян озонном и ультрафиолетовым излучением. Обработка УФ замоченных семян позволила увеличить выход здоровой продукции на 62%, а вариант применения озонной мойки с дальнейшим использованием озонированной воды позволил получить максимальный выход здоровых проростков – 20,04%, что в 2 раза выше по отношению к контролю. Обозначены основные проблемы при получении проростков сои и перспективы на дальнейшие исследования для увеличения объемов здоровой продукции и отработки методики для товаропроизводителей.

Литература

1. Penas E., Gomez R., Frias J., Vidal-Valverde C. Application of high-pressure on alfalfa (*Medicago sativa*) and mung bean (*Vigna radiata*) seeds to enhance the microbiological safety of their sprouts. *Food Control*. 2008;19(7):698–705. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.07.010>
2. Finley J.W. Proposed criteria for assessing the efficacy of cancer reduction by plant foods enriched in carotenoids, glucosinolates, polyphenols and selenocompounds. *Annals of Botany*. 2005;(95):1075–1096. <http://doi.org/10.1093/aob/mci123>
3. Schenker S. Facts behind the headlines, Broccoli. *British Nutrition Foundation – Nutrition Bulletin*. 2002;(27):159–160. <http://doi.org/10.3167/2072-6724-2021-34-4-56-67>
4. Аскоченская Н.А. Состояние воды в семенах. М., 1971. 168 с.
5. Овчаров К.Е. Физиология формирования и прорастания семян. М.: Колос, 1976. 256 с.
6. Лотова Л.И. Морфология и анатомия высших растений. М.: КомКнига, 2007. 510 с.
7. Кефеле В.И. Рост растений. М.: Колос. 1973. 120 с.
8. Тимирязев К.А. Земледелие и физиология растений. Избранные сочинения. Т. 2. М.: Сельхозиздат, 2006. 423 с.
9. Николаева М.Г. Физиология и биохимия покоя и прорастания семян. М.: Колос, 1982. 495 с.
10. Kim S.D., Kim S.H., Hong E.H. Composition of soybean sprout and its nutritional value. *Korean Soybean Sigest*. 1993;(10):1–9. <http://doi.org/10.7740/kjcs.2011.56.3.226>
11. Marton M., Mandoki Zs., Csapo-Kiss Zs., Csapo J. The role of sprouts in human nutrition. A review. *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*. 2010;(3):81–117.
12. Иванова М.И., Кашлева А.И., Разин А.Ф. Проростки – функциональная органическая продукция (обзор). *Вестник Марийского государственного университета. Серия: сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. 2016;3(7):19–29. <https://elibrary.ru/wncrgt>
13. Зими́на Г. Микрозелень: огромная польза в маленьких ростках или очередная уловка маркетологов? [Электронный ресурс] URL: <https://www.ogorod.ru/ru/main/useful/14761/Mikrozelen-ogromnaya-polza-v-malenkikh-rostkakh-ili-ocherednaya-ulovka-marketologov.htm>
14. Шукис Е.Р., Шукис С.К. Изучение сортового состава сои в условиях Приобской лесостепи Алтайского края. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;(6):41–43. <https://elibrary.ru/ucraff>
15. Тутельян В.А., Шарафетдинов Х.Х., Кочеткова А.А. и др. Теоретические и практические аспекты диетотерапии при сахарном диабете 2 типа. М.: Библио-Глобус, 2017. 244 с. ISBN: 978-5-9909278-9-6. <http://doi.org/10.18334/9785990927896> <https://elibrary.ru/xqqjsh>

16. Высоцкий В.Г., Тутельян В.А. Методические проблемы исследования качества новых источников биологических белков. Медицина и здравоохранение. Сер.: Гигиена. Обзорная информация. Вып. 1. М.: ВНИИМИ, 1987. 63 с.
17. Княжев В.А., Большаков О.В. Задачи научных организаций по реализации Концепции Государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации на период до 2005 года. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 1999;(12):11-14. <https://elibrary.ru/scrsiv>
18. Рогов И.А., Титов Е.И., Неведова Н.В., Ганина В.И. Продукты питания с про- и пребиотическими свойствами. *Пищевая промышленность*. 2008;(2):38-39. <https://elibrary.ru/ilibht>
19. Петибская В.С., Ефремова Е.Г. Выбор сырья для производства соевых белковых продуктов. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2003;(4):109. <https://elibrary.ru/qcpiqr>
20. Шкаликов В.А., Белошапкина О.О. Защита растений от болезней. М.: Колос С. 2003, 255 с.
21. Простакова Ж.Г., Ганя А.И. Грибные болезни сои и меры борьбы с ними. АН Молдавской ССР. Киев: Штиинца. 1983. 35 с.
22. Новосадов И.Н., Дубовицкая Л.К., Положиёва Ю.В. Диагностика болезней сои. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2017. 62 с.
23. Попкова К.В. Общая фитопатология. Москва: Дрофа, 2005. 445 с. (Классики отечественной науки). ISBN 5-7107-7752-8. <https://elibrary.ru/qkwydyd>
24. Лебедева Н.Н., Девочкина Н.Л. Способы стимулирования прорастания семян при выращивании микрозелени. *Картофель и овощи*. 2023;(5):29-32. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.70.33.004> <https://elibrary.ru/xajgjm>
25. Нормов Д.А., Шевченко А.А., Шхалахов Р.С., Квитко А.В. Способ обработки яиц в инкубаторах. Патент на изобретение RU 2343700. 08.10.2007.
26. Потапенко И.А., Усков А.Е., Шевченко А.А., Квитко А.В. Устройство для предпосевной обработки семян. Патент на полезную модель RU 97237. 13.10.2009.
27. Дотсенко С.М., Кодирова Г.А. Пат. РФ. №2349098. Способ получения соевых ростков. 2009.
28. Kolos M. Seedlings – functional organic products (review). *Vestnik of Mari State University. Chapter: agriculture. Economics*. 2016;3(7):19-29. <https://elibrary.ru/wncrgt> (In Russ.)
29. Zimina G. Micro-greenery: a huge benefit in small sprouts or another trick of marketers? [Electronic resource] URL: <https://www.ogorod.ru/ru/main/useful/14761/Mikrozelen-ogromnaya-polzav-malenkikh-rostkakh-ili-ocherednaya-ulovka-marketologov.htm>. (In Russ.)
30. Shukis E.R., Shukis S.K. Investigation of varietal composition of soybean under conditions of forest-steppe ob region in Altai krai. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2015;(6):41-43. <https://elibrary.ru/ucraff> (In Russ.)
31. Tutelyan V.A.1, Sharafetdinov Kh.Kh.1, Kochetkova A.A.1, Vorobeve V.M., Vorobeve I.S., Glazkova I.V., Zhilinskaya N.V., Zorina E.E., Kiseleva T.L., Kodentsova V.M., Plotnikova O.A., Sarkisyan V.A., Smirnova E.A. Theoretical and practical aspects of dietary therapy at type 2 diabetes mellitus. Moscow: Biblio-Globus, 2017. 244 p. ISBN: 978-5-9909278-9-6. <http://doi.org/10.18334/9785990927896> <https://elibrary.ru/xqqjsh> (In Russ.)
32. Vysotsky V.G., Tutelyan V.A. Methodological problems of quality research of new sources of biological proteins. Medicine and healthcare. Ser.: Hygiene. Overview information. Issue 1. Moscow: VNIIMI, 1987. 63 p. (In Russ.)
33. Knyazhev V.A., Bolshakov O.V. Tasks of scientific organizations for the implementation of the Concept of State policy in the field of healthy nutrition of the population of the Russian Federation for the period up to 2005. *Storage and processing of farm products*. 1999;(12):11-14. <https://elibrary.ru/scrsiv> (In Russ.)
34. Rogov I.A., Titov E.I., Nefedova N.V., Ganina V.I. Food products with pro- and prebiotic properties. *Food industry*. 2008;(2):38-39. <https://elibrary.ru/ilibht> (In Russ.)
35. Petibskaya V.S., Efremova E.G. The choice of raw materials for the production of soy protein products. *Izvestiya Vuzov. Food technology*. 2003;(4):109. <https://elibrary.ru/qcpiqr> (In Russ.)
36. Shkalikov V.A., Beloshapkina O.O. Protection of plants from diseases. M.: Kolos S. 2003, 255 p. (In Russ.)
37. Prostakova Zh.G., Gania A.I. Fungal diseases of soybeans and measures to combat them. Academy of Sciences of the Moldavian USSR. Kiev: Shtiinets. 1983. 35 p. (In Russ.)
38. Novosadov I.N., Dubovitskaya L.K., Polozhieva Yu.V. Diagnosis of soybean diseases. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University Publishing House, 2017. 62 p. (In Russ.)
39. Popkova K.V. General phytopathology. Moscow: Bustard, 2005. 445 p. (Classics of Russian science). ISBN 5-7107-7752-8. <https://elibrary.ru/qkwydyd> (In Russ.)
40. Lebedeva N.N., Devochkina N.L. Ways to stimulate the germination of seeds for micro-greens. *Potato and vegetables*. 2023;(5):29-32. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.70.33.004> <https://elibrary.ru/xajgjm> (In Russ.)
41. Normov D.A., Shevchenko A.A., Shkhalakhov R.S., Kvitko A.V. Method of processing eggs in incubators. Patent for the invention RU 2343700. 08.10.2007. (In Russ.)
42. Potapenko I.A., Uskov A.E., Shevchenko A.A., Kvitko A.V. Device for pre-sowing seed treatment. Patent for the utility model RU 97237. 10/13/2009. (In Russ.)
43. Dotsenko S.M., Kodirova G.A. Patent. RF. No.2349098. The method of obtaining soy sprouts. 2009. (In Russ.)

References

1. Penas E., Gomez R., Frias J., Vidal-Valverde C. Application of high-pressure on alfalfa (*Medicago sativa*) and mung bean (*Vigna radiata*) seeds to enhance the microbiological safety of their sprouts. *Food Control*. 2008;19(7):698–705. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.07.010>
2. Finley J.W. Proposed criteria for assessing the efficacy of cancer reduction by plant foods enriched in carotenoids, glucosinolates, polyphenols and selenocompounds. *Annals of Botany*. 2005;(95):1075–1096. <http://doi.org/10.1093/aob/mci123>
3. Schenker S. Facts behind the headlines, Broccoli. *British Nutrition Foundation – Nutrition Bulletin*. 2002;(27):159–160. <http://doi.org/10.3167/2072-6724-2021-34-4-56-67>
4. Askochenskaya N.A. The state of water in seeds. M., 1971. 168 p. (In Russ.)
5. Ovcharov K.E. Physiology of seed formation and germination. M.: Kolos, 1976. 256 p. (In Russ.)
6. Lotova L.I. Morphology and anatomy of higher plants. Moscow: KomKniga, 2007. 510 p. (In Russ.)
7. Kefelev V.I. Plant growth. M.: Kolos. 1973. 120 p. (In Russ.)
8. Timiryazev K.A. Agriculture and plant physiology. Selected works. Vol. 2. M.: Agricultural publishing house, 2006. 423 p. (In Russ.)
9. Nikolaeva M.G. Physiology and biochemistry of seed dormancy and germination. M.: Kolos, 1982. 495 p. (In Russ.)

About the Authors:

Надежда Александровна Еремина – младший научный сотрудник сектора семеноведения, galanova.nadejda@yandex.ru, SPIN-код: 6736-3064, <https://orcid.org/0000-0003-3277-5794>; Researcher ID: AA/3384-2021

Любовь Михайловна Соколова – доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник сектора селекции и семеноводства корнеплодных культур, автор для переписки, Isokolova74@mail.ru, SPIN-код: 2187-0416, <https://orcid.org/0000-0001-6223-4767>

About the Authors:

Nadezhda A. Eremina – Junior Researcher at the Laboratory of Physiological Foundations of Vegetable Seed Science, galanova.nadejda@yandex.ru, SPIN-code: 6736-3064, <https://orcid.org/0000-0003-3277-5794>

Lyubov M. Sokolova – Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Corresponding Author, Isokolova74@mail.ru, SPIN-code: 2187-0416, <https://orcid.org/0000-0001-6223-4767>

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-43-48>
УДК: 635.63:632.35

Е.В. Шишкина¹, Е.В. Одерова^{2*}

¹ ООО «Гетерозисная селекция»
г. Миасс, Челябинская обл., Россия

² Западно-Сибирская овощная
опытная станция – филиал ФГБНУ ФНЦО
656904, Россия, Алтайский край, г. Барнаул,
с. Лебяжье, ул. Опытная станция, 22

*Автор для переписки:
elenaoderova@yandex.ru

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

Вклад авторов: Шишкина Е.В.: разработка
методики проведения опытов, проведение
полевых исследований, обработка и анализ
полученных данных, написание рукописи.
Одерова Е.В.: литературный поиск, написание
и редактирование рукописи.

Для цитирования: Шишкина Е.В., Одерова Е.В.
Защита растений огурца посевного, исходя из
биологических особенностей развития бакте-
риоза. *Овощи России*. 2024;(4):43-48.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-43-48>

Поступила в редакцию: 17.05.2024

Принята к печати: 19.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

Elena V. Shishkina¹, Elena V. Oderova^{2*}

¹ LLC Heterosis breeding
Miass, Chelyabinsk region,
Russian Federation

² West-Siberian vegetable experimental station –
branch of the Federal State Budgetary Scientific
Institution «Federal Scientific Vegetable Center»
(WSVES – branch of the FSBSI FVSC)
Lebyazhye, Barnaul, Altai Territory, 656904

*Corresponding Author: elenaoderova@yandex.ru

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

Authors' Contribution: Shishkina E.V.: development
of experimental methodology, conducting field
research, processing and analysis of the data
obtained, writing the manuscript. Oderova E.V.: lit-
erature search, writing and editing the manuscript.

For citation: Shishkina E.V., Oderova E.V.
Protection plants of cucumber (*Cucumis sativus*)
based on the biological characteristics of the
development of bacteriosis. *Vegetable crops of
Russia*. 2024;(4):43-48. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-43-48>

Received: 17.05.2024

Accepted for publication: 19.06.2024

Published: 08.07.2024

Защита растений огурца посевного, исходя из биологических особенностей развития бактериоза

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Большие различия в климатических условиях Алтайского края по годам определяют распространенность и вредоносность болезней, поэтому наблюдения за динамикой развития болезней и оценка их вредоносности являются актуальными и необходимыми мероприятиями. В современных технологиях защиты растений от болезней важную роль играют биофунгициды. Основные преимущества биофунгицидов по сравнению с химическими средствами защиты растений – безопасность для человека и окружающей среды, малые сроки ожидания и возможность применения на протяжении всего периода вегетации, отсутствие рисков появления устойчивых рас патогенов, создание условий для естественной саморегуляции агроценозов.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2018-2020 годах на полях Западно-Сибирской овощной опытной станции – филиала ФГБНУ ФНЦО. В опыте использовали гибрид F₁ Нежинский Сибири. Учеты фитосанитарного состояния посевов проводили в три срока с определением степени распространения и степени развития болезни. Изучали дозы и сроки применения биологических препаратов Фитолавин и Фитоплазмин в борьбе с бактериозом огурца в период вегетации. Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок в 4 яруса, площадь делянки – 10 м², учетная площадь – 3 м². Общая площадь – 0,05 га.

Результаты. Применение препаратов Фитолавин ВРК (2 л/га), Фитоплазмин ВРК (3 л/га), способствует снижению темпов развития бактериальной пятнистости огурца в открытом грунте. Наименьшее развитие болезни отмечено при применении препаратов Фитолавин ВРК, 2 л/га, Фитоплазмин ВРК, 3 л/га, Фитолавин ВРК, 2 л/га, с чередованием и интервалом 14 суток. Под влиянием бактерицидных обработок против бактериальной пятнистости огурца на всех вариантах получен более высокий вес семенных плодов по сравнению с контролем. Наилучший результат – 11,96% к контролю получен на варианте с применением препаратов Фитолавин ВРК, 2 л/га, Фитоплазмин ВРК 3 л/га с чередованием.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

огурец, бактериальная угловая пятнистость листьев, степень развития болезни, биобактерицид, Фитоплазмин, Фитолавин

Protection plants of cucumber (*Cucumis sativus*) based on the biological characteristics of the development of bacteriosis

ABSTRACT

Relevance. Large differences in the climatic conditions by the region Altai by years determine the prevalence and harmfulness of diseases, therefore, monitoring by the dynamics of disease development and assessing their harmfulness are relevant and necessary measures.

An important role in modern plant protection technologies against diseases play biofungicides. The main advantages of biofungicides as compared with chemical plant protection products are safety for humans and the environment, short waiting times and the possibility of use throughout the growing season, the absence by risks of the emergence of resistant pathogens, the creation of conditions for the natural self-regulation of agroecosystems.

Materials and Methods. The research was carried out in 2018-2020 on the fields of the West Siberian Vegetable Experimental Station of the branch of the West-Siberian vegetable experimental station –

branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Vegetable Center». In the experiment was used the F₁ hybrid Nezhinsky of Siberia. Accounting of the phytosanitary condition of crops were carried out in three periods with the determination by the degree of spread and the degree of development of the disease. Studied were the doses and timing of the use of biological preparations Phytoactivin and Phytoplasmin in the fight against cucumber bacteriosis during the growing season. The repeatability of the experience was 4-fold, the placement of plots in 4 tiers, the area of the plot was 10 m², the accounting area was 3 m². The total area were 0.05 hectares.

Results. The application of drugs Phytoactivin (2 l/ha), Phytoplasmin (3 l/ha), promotes to reduce the pace of development of bacterial spotting of cucumber in the open ground. The least development of the disease was noted by using the drugs Phytoactivin 2 l/ha, Phytoplasmin 3 l/ha, Phytoactivin 2 l/ha, with alternation and an interval of 14 days. By the influence of bactericidal treatments against bacterial spotting of cucumber, a higher weight of seed fruits was obtained in all variants compared to the control. The best result – 11.96% to the control was obtained on the variant by using the preparations Phytoactivin 2 l/ha, Phytoplasmin 3 l/ha with alternation.

KEYWORDS:

cucumber, bacterial angular spot of leaves, degree of disease development, biobactericide, Phytoplasmin, Phytoactivin

Введение

Огурец известен как овощное растение более 6 тыс. лет. Скороспелость культуры позволяет возделывать его от южных районов до центральной Якутии. В Государственный реестр селекционных достижений на 2023 год внесены 1728 сортов и гибридов огурца. Большею частью рекомендованы к использованию гетерозисные гибриды, которые, как правило, более устойчивы к абиотическим и биотическим стрессам [1].

Регион Сибири характеризуется континентальным климатом с частыми резкими перепадами температур и коротким вегетационным периодом, что обуславливает более высокую уязвимость растений. В результате интенсификации производства увеличивается вредоносность болезней за счет накопления инфекции, возникновения новых рас патогенов и резистентности к применяемым пестицидам, преодоления возбудителями устойчивости возделываемых сортов. Поэтому, по мнению Штерншис М.В., при защите сельскохозяйственных культур от вредных организмов желательно использовать более щадящие – биологические методы (применение биопрепаратов) [2].

В современных технологиях защиты растений от болезней важную роль играют биофунгициды – микробиологические препараты на основе микроорганизмов и их метаболитов. Основные преимущества биофунгицидов по сравнению с химическими средствами защиты растений – безопасность для человека и окружающей среды, малые сроки ожидания и возможность применения на протяжении всего периода вегетации, отсутствие рисков появления устойчивых рас патогенов, создание условий для естественной саморегуляции агроценозов. Многие биопрепараты обладают комплексным защитно-стимулирующим действием, сдерживают развитие широкого спектра патогенов, предотвращают массовое поражение растений, способствуют усилению ростовых процессов и повышению продуктивности.

Применение биофунгицидов в системах биологической защиты растений экономически эффективно, обеспечивает повышение урожайности на 25–30% и позволяет получать экологически безопасную продукцию [3, 4].

Биологическая эффективность таких препаратов в большей степени зависит от условий окружающей среды (температуры, влажности). Наибольший эффект действия достигается в результате профилактических обработок или на ранних стадиях развития болезни в условиях низкого инфекционного фона [5].

Из-за воздействия патогенных организмов на овощные культуры, значительно снижаются качество и объемы производимой продукции. Ежегодные потери от вредных организмов составляют в среднем 25% от потенциально возможного урожая, а в отдельные годы, благоприятные для массового развития патогенов, потери достигают 50% и более [6].

Огурец могут поражать около 25 видов вредных организмов. По сходству экологических ниш и факторов передачи во времени и в пространстве вредные организмы можно объединить в четыре группы экологических эквивалентов: почвенные, или корневые, наземно-воздушные, или листо-стеблевые, семенные и транс-

миссивные. При этом вредные организмы из разных экологических групп обладают в той или иной степени способностью передаваться из года в год через семена [7].

Первыми заселяют экологические ниши в пределах органов растений возбудители, которые передаются через семена, особенно антракноза, аскохитоза, бактериоза, черной плесени, или ожога, а также почвенные, или корневые – возбудители черной ножки огурца [8].

При появлении всходов и последующего роста и развития огурца значительный ущерб причиняют возбудители ложной мучнистой росы (пероноспороза), угловатой пятнистости (бактериоза) [9].

Наиболее распространенными и вредоносными болезнями в наших условиях являются: бактериальная угловатая пятнистость листьев (*Pseudomonas lachrymans*); ложная мучнистая роса (пероноспороз) огурцов (*Pseudoperonospora cubensis*); оливковая пятнистость или кладоспориоз (*Cladosporium cucumerinum* Ell et Arth) [10].

В результате проявления угловатой пятнистости на листьях появляются угловатые маслянистые, а затем при подсыхании коричневые пятна, которые при полном усыхании выпадают и листья становятся дырчатыми. На плодах образуются круглые небольшие язвы, неглубоко проникающие в мякоть. Бактериоз передается с семенами. Патогенные бактерии находятся внутри оболочки семян. Быстрому распространению болезни способствует теплая дождливая погода, так как идеальными условиями для развития патогена является наличие капельножидкой влаги, температура 19...24°C [11].

Агроклиматические условия краев и областей Сибири значительно отличаются друг от друга, и это обуславливает особенности видового состава вредителей и болезней. Зная насколько культуры севооборота повреждаются тем или иным вредителем или поражаются болезнями, с учетом погодных условий года, можно заранее выделить те из них, на которых может складываться опасная фитосанитарная обстановка и создаваться угроза для будущего урожая. Эти знания в рамках ведения современного сельского хозяйства важны производителю.

Большие различия в климатических условиях Алтайского края по годам определяют распространенность и вредоносность болезней поэтому наблюдения за динамикой развития болезней и оценка их вредоносности являются актуальными и необходимыми мероприятиями.

Урожайность огурца формируется из следующих основных элементов структуры урожая: густота стояния растений 8-10 шт./м², количество плодов на растении и массы каждого плода.

Формирование элементов урожайности происходит в следующие фазы онтогенеза огурца: семена, всходы, появление настоящих листьев, бутонизация, цветение, плодоношение, на протяжении которых может произойти поражение вредными организмами, поэтому возникает необходимость защиты, начиная с предпосевной обработки семян.

Таким образом, ежегодный мониторинг позволяет своевременно оценить распространение вредителей и болезней и не допустить их развития до хозяйственно ощутимого уровня.

Исходя из вышеизложенного, цель работы – выявить влияние использования современных средств биологической защиты растений на развитие болезней огурца для оптимизации фитосанитарного состояния посевов.

Методика и условия проведения исследований

Исследовательская работа проведена согласно «Методике полевого опыта в овощеводстве», «Методическим указаниям по испытанию инсектицидов, акарицидов и моллюскоцидов в растениеводстве» [12, 13].

Учеты фитосанитарного состояния посевов проведены в три срока с определением степени распространения и степени развития болезни. Степень развития болезни (сумма баллов, деленная на общее в пробе число растений), определяли, используя 5-балльную шкалу (ВИЗР, 2005).

Биохимические исследования проведены в химической лаборатории станции с определением содержания сухого вещества по сухому остатку, общего сахара – по методу Бертрана, витамина С – по Мурри.

Опыт по изучению дозы и сроков применения биологических препаратов в борьбе с бактериозом огурца в период вегетации проводился по следующей схеме:

Вариант 1 – контроль без обработки,

Вариант 2 – Фитолавин, 2 л/га, опрыскивание 3-кратно с интервалом 14 дней от момента появления первых признаков заболевания,

Вариант 3 – Фитоплазмин, 3 л/га, опрыскивание 3-кратно с интервалом 14 дней от момента появления первых признаков заболевания,

Вариант 4 – Фитолавин, 2 л/га, Фитоплазмин, 3 л/га, Фитолавин, 2 л/га опрыскивание с чередованием и интервалом 14 суток от момента появления первых признаков заболевания.

Повторность опыта 4-кратная, размещение делянок в 4 яруса, площадь делянки – 10 м², учетная площадь – 3 м². Общая площадь – 0,05 га.

Опыт проводили на посевах гибрида F₁ Нежинский Сибири. Нежинский Сибири – раннеспелый гетерозисный гибрид, обладает устойчивостью к отдельным болезням: кладоспориозу или оливковой пятнистости (*Cladosporium cucumerinum* Ell et Arth), настоящей мучнистой росе (*Erysiphe cichoracearum* DC *Sphaerotheca fuliginea* Poll), вирусу пожелтения жилок огурца (CVYY), обыкновенной огуречной мозаике (CMV). Товарная урожайность 44,8 т/га, масса плода 73 г, длина зеленца 9,8 см, диаметр 3,6 см.

Препараты вносили с помощью ранцевого опрыскивателя Kwazar. Обработки растений против бактериальной угловатой пятнистости проводили трехкратно. Первая обработка препаратами (согласно схеме опыта) была проведена при появлении первых признаков бактериоза, остальные – через 14 суток после предшествующей. Первый учет поражения листьев бактериозом был проведен через 10 суток после появления первых признаков болезни (19.07), второй учет – 29.07, третий учет – 10.08.

Фитолавин, ВРК («Фармбиомедсервис», Россия) – системный и контактный биобактерицид, фунгицид. Действующее вещество – фитобактериомицин (БА 120 000 ЕА/мл, 32 г/л) и комплекс стрептотрициновых антибиотиков – 32 г/л. Не совместим с бактериальными

препаратами. Период защитного действия 25-30 суток. Класс опасности – 3 (умеренно опасное соединение).

Фитоплазмин, ВРК («Фармбиомедсервис», Россия) – биологический бактерицид и фитоплазмод, обладает системным действием и эффективно применяется в борьбе с бактериальными заболеваниями. Не совместим с бактериальными препаратами. Действующее вещество – макролидный тилозиновый комплекс. Период защитного действия 25-30 суток. Класс опасности – 3 (умеренно опасное соединение).

Закладка опытов проведена на III поле селекционного севооборота. Предшественник – чистый пар. Посев 3-5 июня, вручную. Схема посева 2-х строчная 75+150 см.

Агротехнические мероприятия по обработке почвы и уходу за растениями проведены в оптимальные сроки по разработанной на станции технологии.

Результаты исследований и их обсуждение

Погодные условия и вредные организмы, нарушающие формирование структуры урожая

В годы проведения исследований (2018-2020 годы) погодные условия были близки между собой по характеру обеспеченности влагой и теплом в летние месяцы – все три вегетационных периода характеризуются дефицитом, выпавших осадков и повышенной суммой положительных температур. Так в 2018 году за вегетационный период май – сентябрь осадков выпало 84,3% от среднемноголетней нормы, при сумме декадных положительных температур на 120 % превышающих норму. В 2019 году в тот же период выпавшие осадки составили 71,3% от нормы, сумма декадных положительных температур составила 120% от среднемноголетних данных. Вегетационный период 2020 года по обеспеченности теплом и влагой не сильно отличался от предыдущих: осадков выпало 92%, при сумме декадных положительных температур 128% от среднемноголетних значений.

В результате трехлетнего мониторинга (2018-2020 годы) посевов огурца на ЗСОС выявлено, что в силу сложившихся погодных условий массовое развитие имела бактериальная угловатая пятнистость листьев (*Pseudomonas lachrymans*) в степени поражения растений от 13,1 до 41,9%. Наблюдения за динамикой развития болезни показали, что первые признаки проявления листовой формы данного заболевания на листьях растений огурца отмечены 5-12 июля в виде мелких светло-коричневых пятен. Массовое развитие болезни – 18-20 июля. Поражение плодов в слабой степени (изменение окраски) – 6% было отмечено единожды в 2018 году на сорте огурца Серпантин. Поражение плодов в сильной степени в виде изъязвлений за время проведения исследований отмечено не было.

Дозы и сроки применения биологических препаратов в борьбе с болезнями

Для снижения вредоносности бактериальных болезней огурца и получения экологически безопасной продукции в 2018-2020 годах были проведены экспериментальные исследования с препаратами нового поколения – биобактерицидами Фитолавин, ВРК и Фитоплазмин, ВРК. В результате исследований выявлено, что, начиная с первой обработки растений

огурца, проведенной в начале развития бактериальной угловой пятнистости, отмечено сдерживание распространности и степени развития болезни на всех вариантах опыта (кроме контроля).

Как показали учеты развития болезни, проведенные через 14 суток после первой обработки, степень развития при обработке Фитолавином (2 л/га) составила 0,76%, Фитоплазмином (3 л/га) – 1,0% и при совместном применении препаратов Фитолавин и Фитоплазмин с чередованием – 0,9%, на контрольном варианте (опрыскивание водой) этот показатель составил 3,3%. Распространенность болезни в этот период при обработке Фитолавином (2 л/га) составила 7,5%, Фитоплазмином (3 л/га) – 6,7% и при совместном применении препаратов Фитолавин и Фитоплазмин с чередованием – 3,1%, при 17,2% на контроле. Тенденция сдерживания болезни под влиянием препаратов сохранилась до конца вегетации растений огурца.

Наилучшие результаты в данном эксперименте обеспечивает вариант с применением препаратов Фитолавин (2 л/га) и Фитоплазмин (3 л/га) опрыскива-

ние 3-кратно с чередованием, где распространенность болезни к последнему учету составила – 70,7% при степени поражения 7,83%, по сравнению с контрольным вариантом (обработка водой) – 100% и 20,36% соответственно (рис. 1,2).

С момента начала плодообразования на завязях болезнь не проявлялась. Изменение зеленой окраски плодов проявилось в конце вегетации огурца – последние числа августа, и только на контрольном варианте (обработка водой) в незначительном количестве – 1%. Дальнейшего проявления болезни в виде водянистых округлых пятен, растрескиваний, язв и загнивания в опыте отмечено не было.

В период плодообразования были отобраны образцы, соответствующие вариантам опыта, для проведения биохимических анализов состава плодов. По результатам химических анализов сделан вывод, что обработки повлияли на показатели качества плодов огурца. Показатели опыта по биохимическому составу продукции (сухое вещество, общий сахар, содержание витамина С) превосходили таковые относительно конт-



Рис. 1. Влияние препаратов на степень развития угловой пятнистости огурца, 2018-2020 годы
Fig. 1. The influence of preparations on the degree of development of angular spotting of cucumber, 2018-2020



Рис. 2. Влияние препаратов на степень распространности угловой пятнистости огурца, 2018-2020 годы
Fig. 2. The influence of preparations on the degree of spreading of angular spotting of cucumber, 2018-2020

Таблица 1. Биохимические показатели плодов огурца в опыте (среднее за 2018-2020 гг.)
Table 1. Biochemical parameters fruits of cucumber in the experiment (average for 2018-2020)

Вариант	Биохимический состав			
	растворимое сухое вещество, %	общий сахар, %	витамин С, мг%	нитраты, мг/кг сырой массы
Контроль, без обработки	5,01	1,91	12,1	138,1
Фитолавин, 2 л/га	5,31	2,11	12,74	109,2
Фитоплазмин, 3 л/га	5,2	2,08	13,0	130,6
Фитолавин, 2 л/га, Фитоплазмин, 3 л/га, Фитолавин, 2 л/га	5,11	2,0	12,19	107,1
НСР _{0,5}	0,13	0,12	0,49	5,03

Таблица 2. Масса семенных плодов огурца в зависимости от обработок биопрепаратами (среднее 2018-2020 годы)
Table 2. Weight seed fruits of cucumber depending on treatments by biological preparations (average 2018-2020)

Вариант	Масса 100 шт. плодов (семенники), кг
Контроль, без обработки	36,6
Фитолавин, 2 л/га	39,6
Фитоплазмин, 3 л/га	40,6
Фитолавин, 2 л/га, Фитоплазмин, 3 л/га, Фитолавин, 2 л/га	42,1
НСР _{0,5}	2,4

роля на вариантах с обработкой растений препаратами Фитолавин, ВРК с нормой расхода 2 л/га и Фитоплазмин, 3 л/га.

Содержание нитратов во всех вариантах с обработками препаратами было значительно ниже контроля (табл. 1).

Для изучения пораженности семенных плодов огурца бактериальной пятнистостью во время дозаривания были заложены пробы соответствующие вариантам опыта. В течение 20 суток дозаривания и при выпуске семян плоды подвергали визуальному учету на предмет поражения бактериозом.

Пораженные плоды отмечены только в контрольном варианте (без обработок) со степенью распространения 1%. Под влиянием бактерицидных обработок против бактериальной пятнистости огурца на всех вариантах получен более высокий вес семенных плодов по сравнению с контролем. Наилучший результат получен на варианте с применением препаратов Фитолавин (2 л/га) и Фитоплазмин (3 л/га) опрыскивание 3-кратно с чередованием – 42,1 кг, что на 15% превышает контрольные показатели (табл. 2).

Заключение

В результате исследований определено:

1. Массовое развитие имела бактериальная угло-

ватая пятнистость листьев (*Pseudomonas lachrymans*) в степени поражения растений от 13,1 до 41,9%.

2. Все варианты опыта с применением препаратов способствуют снижению темпов развития бактериальной пятнистости огурца в открытом грунте. Наилучший результат достигается при совместном применении препаратов Фитолавин, 2 л/га, Фитоплазмин, 3 л/га, Фитолавин, 2 л/га, 3-кратно с чередованием и интервалом внесения 14 суток, где развитие болезни было наименьшим.

3. Показатели опыта по биохимическому составу продукции (сухое вещество, общий сахар, содержание витамина С) превосходили таковые относительно контроля во всех вариантах. Значительно выделяется вариант с обработкой растений препаратом Фитолавин, ВРК с нормой расхода 2 л/га. Превышение содержания растворимого сухого вещества составило 0,3%; общего сахара – 0,2%; витамина С – 0,64 мг% относительно контрольного варианта (обработка растений водой).

4. Под влиянием бактерицидных обработок против бактериальной пятнистости огурца увеличивается вес семенных плодов. Наилучший результат – 15% к контролю получен в варианте с применением препаратов Фитолавин, 2 л/га, Фитоплазмин, 3 л/га с чередованием.

• Литература

1. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 631 с.
2. Штерншис М.В. Биологическая защита растений в Сибири. *Защита и карантин растений*. 2013;(4):19-22. <https://elibrary.ru/pxwxnn>
3. Захаренко В.А. Биотехнологии и защита растений. *Защита и карантин растений*. 2015;(11):3-6. <https://elibrary.ru/umspld>
4. Новикова И.И. Микробиологическая защита растений – основа фитосанитарной оптимизации агроэкосистем. *Защита и карантин растений*. 2017;(4):3-6. <https://elibrary.ru/ypwhoh>
5. Алексеева К.Л. Биофунгициды в системе защиты овощных культур открытого грунта. *Картофель и овощи*. 2022;(5):12-14. <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.34.66.001> <https://elibrary.ru/vsmgfc>
6. Алексеева К.Л., Деревщюков С.Н., Ванюшкина И.А., Шишкина Е.В., Мишуров Н.П., Неменушная Л.А., Щеголихина Т.А. Современные подходы к защите овощных культур открытого грунта В сборнике: Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. Материалы XIV Международной научно-практической Интернет-конференции. Москва, 2022. С. 180-185. ISBN 978-5-7367-1707-9. <https://elibrary.ru/mmccppc>
7. Зубков А.Ф. Комплексная вредоносность сорняков, вредителей и болезней культур полевого севооборота юго-востока ЦЧП России. С. Петербург, 2005. 71 с.
8. Алексеева К.Л., Деревщюков С.Н., Ванюшкина И.А., Шишкина Е.В., Мишуров Н.П., Щеголихина Т.А. Методы защиты овощных культур открытого грунта от болезней и вредителей: практ. реком. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 112 с. ISBN 978-5-7367-1700-2. <https://elibrary.ru/gdsgss>
9. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я. Интегрированная защита растений: фитосанитарные системы и технологии. М.: Колос, 2009. 670 с.
10. Прокофьева Н.А., Рыбалко А.А. Комплексная защита овощных культур от вредных организмов в Сибири. ГНУ Западно-Сибирская овощная опытная станция ВНИИО РАСХН, Барнаул, 2007. 116 с.
11. Шишкина Е.В., Фитолавин и фитоплазмин против бактериальной угловатой пятнистости огурца. Материалы III межрегиональной научно-практической конференции (с международным участием) (7-8 ноября 2019 г.) «От биопродуктов к биоэкономике». Под ред. А.Н. Лукьянова. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2019. 341 с. ISBN 978-5-7904-2398-7. <https://elibrary.ru/uhnfmz>
12. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М., 2011. 648 с.
13. Методические указания по испытанию инсектицидов, акарицидов и моллюскоцидов в растениеводстве под ред. К.В. Новожилова. М.: типография ВАСХНИЛ, 1986. С. 5–29.

• References

1. State Register of breeding achievements approved for use. Vol. 1. "Plant varieties (official publication). M.: FSBI "Rosinformagrotex", 2023. 631 p. (In Russ.)
2. Sternshis M.V. Biological protection of plants in Siberia. *Plant protection and quarantine*. 2013;(4):19-22. (In Russ.) <https://elibrary.ru/pxwxnn>
3. Zakharenko V.A. Biotechnology and plant protection. *Plant protection and quarantine*. 2015;(11):3-6. (In Russ.) <https://elibrary.ru/umspld>
4. Novikova I.I. Microbiological plant protection – the basis of phytosanitary optimization of agroecosystems. *Plant protection and quarantine*. 2017;(4):3-6. (In Russ.) <https://elibrary.ru/ypwhoh>
5. Alekseeva K.L. Biofungicides in vegetable crops of open field protection. *Potato and vegetables*. 2022;(5):12-14. <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.34.66.001> (In Russ.) <https://elibrary.ru/vsmgfc>
6. Alekseeva K.L., Derevshchyukov S.N., Vanyushkina I.A., Shishkina E.V., Mishurov N.P., Nemenushchaya L.A., Shchegolikina T.A. Modern approaches to the protection of open-ground vegetable crops. In the collection: Scientific and information support for the innovative development of the agro-industrial complex. Materials of the XIV International Scientific and Practical Internet Conference. Moscow, 2022. P. 180-185. ISBN 978-5-7367-1707-9. (In Russ.) <https://elibrary.ru/mmccppc>
7. Zubkov A.F. Complex harmfulness of weeds, pests and diseases of crops of field crop rotation in the south-east of the Central black-earth region of Russia. St. Petersburg, 2005. 71 p. (In Russ.)
8. Alekseeva K.L., Derevshchyukov S.N., Vanyushkina I.A., Shishkina E.V., Mishurov N.P., Shchegolikina T.A. Methods of protection of vegetable crops of open ground from diseases and pests. M.: FSBI "Rosinformagrotech", 2022. 112 p. ISBN 978-5-7367-1700-2. (In Russ.) <https://elibrary.ru/gdsgss>
9. Chulkina V.A. Integrated protection of plants: phytosanitary systems and technologies / V.A. Chulkina, E.Y. Toropova, G.Ya. Stetsov. Edited by M.S. Sokolov and V.A. Chulkina. M.: Kolos, 2009. 670 p. (In Russ.)
10. Prokofieva N.A., Rybalko A.A. Complex protection of vegetable crops from harmful organisms in Siberia / Wildebeest West Siberian vegetable experimental station All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing of the Russian Agricultural Academy, Barnaul, 2007. 116 p. (In Russ.)
11. Shishkina E.V. Phytolavin and phytoplasmin against bacterial angular spotting of cucumber. Materials of the III interregional scientific and practical conference (with international participation) (november 7-8 2019) "From bioproducts to bioeconomics". Barnaul: Publishing House of the Alt. university, 2019. 341 p. ISBN 978-5-7904-2398-7. (In Russ.) <https://elibrary.ru/uhnfmz>
12. Litvinov S.S. Methodology of field experience in vegetable growing. M., 2011. 648 p. (In Russ.)
13. Methodological guidelines for the testing of insecticides, acaricides and molluscicides in crop production, edited by K.V. Novozhilov. M.: printing house of All-Union Academy of Agricultural Sciences named after V.I. Lenin, 1986. P. 5-29. (In Russ.)

Об авторах:

Елена Викторовна Шишкина – старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-3392-1215>, SPIN-код: 6317-8281, elen4a_70@mail.ru

Елена Владимировна Одерова – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, автор для переписки, elenaoderova@yandex.ru, SPIN-код: 7238-7565

About the Authors:

Elena V. Shishkina – Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-3392-1215>, SPIN-code: 6317-8281, elen4a_70@mail.ru

Elena V. Oderova – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Corresponding Author, elenaoderova@yandex.ru, SPIN-code: 7238-7565

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-49-53>
УДК: 635.347:631.524.82

Е. Алмуграби*, И.В. Галиев,
Р.П. Хакимзянова, А.А. Мостякова,
О.А. Тимофеева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ) 420008, Россия, Казань, ул. Кремлевская, д. 18

*Автор для переписки:
esraaalmgrabe@gmail.com

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

Вклад авторов: Алмуграби Е.: изучение литературы, проведение исследований и подготовка материала для статьи. Галиев И.В.: выполнение биохимических анализов. Хакимзянова Р.П.: выполнение биохимических анализов. Мостякова А.А.: проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов. Тимофеева О.А.: Формулирование идеи, разработка методологии исследования, написание первоначального текста рукописи. Все авторы принимали участие в написании статьи.

Для цитирования: Алмуграби Е., Галиев И.В., Хакимзянова Р.П., Мостякова А.А., Тимофеева О.А. Вариабельность фенольных соединений у разных сортов капусты кейл (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). Овощи России. 2024;(4):49-53. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-49-53>

Поступила в редакцию: 27.02.2024

Принята к печати: 29.05.2024

Опубликована: 08.07.2024

Esraa Almugrabi*, Insaf V. Galiev,
Rimma P. Khakimzyanova,
Antonina A. Mostyakova,
Olga A. Timofeeva

Federal state autonomous educational institution of higher education
"Kazan (Volga Region) federal university"
420008, Russia, Kazan, st. Kremlevskaya, 18

*Corresponding Author:
esraaalmgrabe@gmail.com

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

Authors' Contribution: Almugrabi E.: studying the literature, conducting research and preparing material for the article. Galiev I.V.: performing biochemical tests. Khakimzyanova R.P.: performing biochemical tests. Mostyakova A.A.: conducting the research process, in particular, conducting experiments. Timofeeva O.A.: Formulation of the idea, development of the research methodology, writing the initial text of the manuscript. All authors took part in writing the article.

For citation: Almugrabi E., Galiev I.V., Khakimzyanova R.P., Mostyakova A.A., Timofeeva O.A. Variability of phenolic compounds in different varieties of kale cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):49-53. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-49-53>

Received: 27.02.2024

Accepted for publication: 29.05.2024

Published: 08.07.2024

Вариабельность фенольных соединений у разных сортов капусты кейл (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*)

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Капуста кейл (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) – листовая овощная культура с зелеными, красными и фиолетовыми листьями, культивируется в Северной и Центральной Европе, а также в Северной Америке. Кейл занимает заслуженно высокое место в списке функциональных продуктов из-за большого содержания биологически активных веществ. Капуста кейл содержит витамины, минералы, антиоксидантные соединения, углеводы, ненасыщенные жирные кислоты, белки и пищевые волокна. Несмотря на высокую привлекательность в качестве функционального продукта питания, в России она в массовых масштабах не возделывается.

Материал и методика. Целью настоящей работы является изучение содержания фенольных соединений в двух сортах капусты кейл для обоснования рекомендаций по ее культивированию в России. В качестве объекта исследования использовали сорт и гибрид капусты кейл – Dwarf Blue Scotch с зелеными листьями и гибрид Redbor F₁ с красными листьями. Изучали содержание растворимых фенольных соединений и флавоноидов, а также качественный состав фенольных соединений в капусте кейл, определение проводили по общепринятым методикам. В качестве проб для анализа использовали выращенные растения в возрасте 16 недель. Опыт проводили в лабораторных условиях в 5-кратной повторности.

Результаты. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о достаточно высоком содержании фенольных соединений и флавоноидов у изученных сортов капусты кейл. Продemonстрировано, что гибрид Redbor F₁ характеризуется более высоким содержанием растворимых фенольных соединений, по сравнению с сортом Dwarf Blue Scotch в среднем на 20%. Сделано заключение, что данный гибрид Redbor F₁ может быть использован для разработки приемов повышения эффективности синтеза вторичных метаболитов, полезных для здоровья человека, и рекомендован фермерам для выращивания на территории РФ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

капуста кейл; сорт, фенольные соединения; флавоноиды; высокоэффективная жидкостная хроматография

Variability of phenolic compounds in different varieties of kale cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*)

ABSTRACT

Relevance. Cabbage Kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) is a green, red and purple leafy vegetable cultivated in Northern and Central Europe, as well as North America. Kale deservedly occupies a high place in the list of functional products due to its high content of biologically active substances. Kale contains vitamins, minerals, antioxidant compounds, carbohydrates, unsaturated fatty acids, proteins and dietary fiber. Despite its high attractiveness as a functional food product, it is not cultivated on a massive scale in Russia.

Methodology. The purpose of this work is to study the content of phenolic compounds in two varieties of kale cabbage to substantiate recommendations for its cultivation in Russia. The variety and hybrid of kale cabbage – Dwarf Blue Scotch with green leaves and the hybrid Redbor F₁ with red leaves – were used as the object of the study. The content of soluble phenolic compounds and flavonoids, as well as the qualitative composition of phenolic compounds in kale cabbage, was studied. Determination was carried out according to generally accepted methods. Grown plants at the age of 16 weeks were used as samples for analysis. The experiment was carried out in laboratory conditions in 5 replicates.

Results. The results of the studies indicate a fairly high content of phenolic compounds and flavonoids in the studied varieties of kale cabbage. It has been demonstrated that the Redbor F₁ hybrid is characterized by a higher content of soluble phenolic compounds compared to the Dwarf Blue Scotch variety by an average of ~20%. It was concluded that this Redbor F₁ hybrid can be used to develop methods for increasing the efficiency of the synthesis of secondary metabolites that are beneficial to human health, and is recommended to farmers for cultivation in the Russian Federation.

KEYWORDS:

kale; variety; phenolic compounds; flavonoids; high performance liquid chromatography.

Введение

Диету, включающую в себя высокое содержание овощей, широко рекомендуют благодаря полезным для здоровья свойствам. Овощи употребляют в сыром виде и в термически обработанном. Большинство овощей содержат большое количество питательных и биологически активных соединений, таких как флавоноиды, фенольные кислоты, антоцианы, сахара, эфирные масла, каротиноиды, витамины и минералы [1]. Потребление овощей связано со снижением риска хронических заболеваний и контролем массы тела [2]. Они обеспечивают организм многими ценными веществами и значительно снижают риски заболеваний сердечно-сосудистой системы и диабета, а также связанную с ними смертность [3]. Среди зеленых овощей капуста кейл (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) заслуживает особого внимания.

Родом из восточной Турции, капуста является одним из самых древних листовых зеленых овощей. В первом тысячелетии она попала в Европу, где она прижилась в различных культурах. Только в начале 1980-х годов капуста стала популярной в Америке [4]. Благодаря достаточной устойчивости к неблагоприятным погодным условиям и недорогой себестоимости производства, капуста стала важной культурой для сельского хозяйства и экономики.

Потребление капусты кейл значительно возросло в последние годы. Ареал выращивания данного растения достаточно невелик: Северная и Центральная Европа, а также в Северной Америке в качестве озимой культуры, что особенно актуально для климата России [5]. Капуста имеет множество разновидностей, в основном различающихся по цветовым оттенкам, размеру и типу листьев. Капуста кейл имеет более высокую питательную ценность по сравнению с другими продуктами. Согласно базе данных Министерства сельского хозяйства США, в 100 г сырой капусты содержится 2,9 г белка, 4,4 г углеводов, 4,1 г клетчатки и всего 1,49 г липидов. Кроме того, в ней содержится больше железа (1,6 мг/100 г), чем в мясе, в 2-3 раза больше кальция (254 мг/100 г), чем в молоке, в 3-4 раза больше фолиевой кислоты (241 мкг/100 г), чем в яйцах, и в два раза больше витамина С (93,4 мг/100 г) чем в апельсинах [4].

Существуют различные коммерческие сорта капусты кейл, имеющие разные цвета и форму листьев и отличающиеся, соответственно по содержанию биологически активных соединений. Капуста с красными и фиолетовыми листьями отличается высоким содержанием каротиноидов и антоцианов, что еще больше повышает ее ценность [6-8]. В частности, продукты питания, богатые антоцианином, становятся все более популярными из-за их привлекательного цвета и предполагаемой пользы для здоровья человека [9].

Несмотря на высокую привлекательность капусты кейл в качестве функционального продукта питания, в России она в массовых масштабах не возделывается.

Целью настоящей работы является изучение содержания растворимых фенольных соединений в разных сортах капусты кейл для обоснования рекомендаций по ее культивированию в России.

Материалы и методы

Объектом исследования были 2 образца капусты кейл – сорт Dwarf Blue Scotch с зелеными листьями и гибрид Redbor F₁ с красными листьями. Опыт проводили в 2023 году в лаборатории физиологии растений Казанского федерального университета, Татарстан, Россия.

Семена проращивали в чашках Петри на влажной фильтровальной бумаге (дата посева – 5 июля 2023 года), в течение 7

суток было получено по 10 проростков капусты сорта Dwarf Blue Scotch и 10 – Redbor F₁. Затем растения выращивали в горшках в лабораторных условиях. Горшки заполняли 500 г сухой супесчаной почвы. Кислотность почвы была нейтральной с pH=6,9. Содержание органического вещества (гумуса) составило 1,96%, азота нитратного – 35,5 мг/кг, азота аммиачного – 11,3 мг/кг, содержания подвижного фосфора – 584 мг/кг, количества обменного кальция – 13,25 ммоль/100 г и обменного магния – 1,5 ммоль/100 г.

В качестве проб для анализа использовали выращенные растения в возрасте 16 недель (дата сбора материала – 6 ноября 2023 года). Этот возраст был выбран, поскольку многие исследователи показывают, что в возрасте 16 недель содержание фенолов высокое в листьях капусты кейл [10-12].

Листья высушивали в сушильном шкафу при 60°C.

Содержание фенольных соединений и флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом [13].

Экстракцию фенольных соединений проводили 90% этанолом (в соотношении 16:1 навеска: этанол) на водяной бане при 60°C в течение 10 мин 3 раза.

После получения экстракта проводили идентификацию фенольных соединений на обращенно-фазовом высокоэффективном жидкостном хроматографе от компании BIO-RAD – BioLogic DuoFlow на колонке C18 SN-421001911, 5µm, 4×250 мм с двухволновым УФ детектором QuadTec UV-Vis. Детекцию пиков проводили при длине волны 280 нм и 360 нм (рекомендованные для фенольных кислот и флавоноидов).

Подвижная фаза состояла из: Раствор А – бидистиллированная вода 98% + ацетонитрил 1% + уксусная кислота 1%, Раствор Б – ацетонитрил 99% + ледяная уксусная кислота 1%.

Последовательность концентрации подвижной фазы хроматографии относительно раствора А 70-65% (5 мин), 65-61% (12 мин), 61-10% (5 мин), 10% изократический режим (5 мин), 10-70% (5 мин), и 70% изократический режим (5 мин). Объем вводимого спиртового экстракта – 100 мкл. Хроматография проводилась при скорости потока элюента равной 0,3 мл/мин при 25±2°C [14].

Идентификация полученных на хроматограмме пиков осуществлялась рабочими стандартами готовых образцов флавоноидов (кемпферол, изорамнетин, кверцетин, рутин) и фенольных кислот (синаповая кислота, бензойная кислота, кофейная кислота, феруловая кислота, кумаровая кислота) с известной концентрацией.

Все эксперименты проводили в 5 повторностях. Достоверность различий рассчитывали по критерию Манна-Уитни при $P \leq 0,05$ в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Фенольные кислоты, флавоноиды и глюкозинолаты являются преобладающими в составе вторичных метаболитов растений капусты кейл [4]. Флавоноиды представляют собой большую группу полифенольных соединений с бензо-γ-пироновой структурой и повсеместно присутствуют в растениях. Известно, что фенольные соединения, в особенности флавоноиды, обладают широким спектром фармакологической активности [15-18]. Антиоксидантный эффект проявляется за счет функциональных гидроксильных групп, которые хелатируют ионы металлов и разрушают свободные радикалы [16]. Наряду с этим, по результатам некоторых исследований, было показано, что флавоноиды обладают способностью индуцировать защитные ферментные системы человека. Также, была выявлена противовирусная и противобактериальная активность флавоноидов [15-19].

Флавоноиды также играют большую роль в растениях в защите от окислительного стресса, который возникает в ответ на действие самых различных стрессоров биотической и абиотической природы. Кроме того, они регулируют активность и содержание некоторых факторов роста растения, например, ауксина [19].

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о достаточно высоком содержании фенольных соединений и флавоноидов у каждого сорта капусты кейл, выращенных в условиях Республики Татарстан.

На рисунке 1 указано, что суммарное содержание фенольных соединений у гибрида Redbor F₁ было 3.072% и 2.633% – у сорта Dwarf Blue Scotch. Содержание флавоноидов было 0.891% у Redbor F₁ и 0.742% – у сорта Dwarf Blue Scotch.

В наших экспериментах содержание фенольных соединений было высоким и варьировало от 2633 до 3072 мг/100 г сухой массы. В работах других авторов содержание фенольных соединений варьировало от 201 до 1167 мг/100 г сухой массы [20].

На основании полученных нами результатов установлено, что содержание флавоноидов в листьях варьировало в пределах 742-891 мг/100 г сухой массы. Аналогичные результаты

получены в исследованиях [20], значение показателя колеблется в интервале 646-892 мг/100 г сырой массы.

В других исследованиях было установлено, что в капусте кейл содержится девять фенольных соединений в листьях и десять – в семенах [21]. Наиболее распространены феруловая и кофейная кислоты (суммарное содержание 4269 и 4887 нг/г соответственно) и синнаповая кислота (5037 нг/г сухой массы) [21].

Из флавоноидов капуста кейл содержит высокие количества флавоноловых агликонов кемпферола и кверцетина, за ними следует изорамнетин [20-22]. Флавоноиды могут ингибировать окисление свободных радикалов кислорода, образующихся в процессе метаболизма [23]. Общее содержание этих флавоноловых агликонов является сортоспецифичным и варьировало между 6,0 и 14,8 мг в 1 г сухого вещества, что соответствует 97,4-298,5 мг на 100 г сырого вещества у сортов

Проведенный хроматографический анализ продемонстрировал большое количество фенольных кислот, прежде всего таких, как галловая, синнаповая и коричная кислоты и флавоноидов (кэмпферол, рутин и кверцетин) у обоих сортов (рис. 2 и 3), что может свидетельствовать о высоком антиоксидантном потенциале капусты кейл.

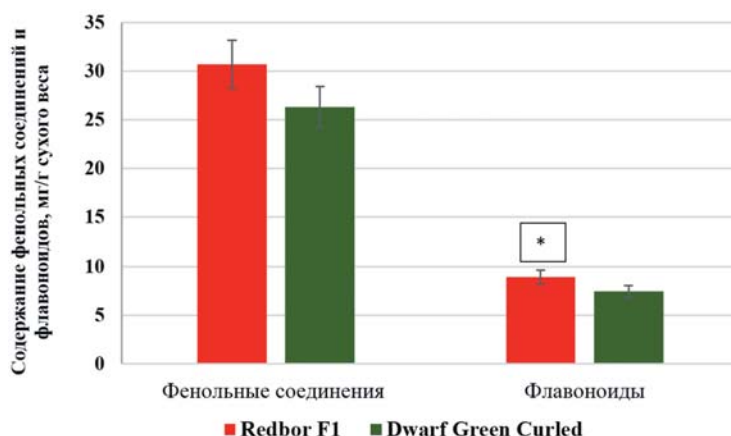


Рис. 1. Содержание фенольных соединений и флавоноидов у двух образцов капусты кейл (Dwarf Blue Scotch –зеленый и Redbor F₁ –красный), мг/г сухой массы

* - отличия между красными и зелёными образцами при $p < 0.05$

Fig 1. Content of phenolic compounds and flavonoids in two varieties of kale (Dwarf Blue Scotch –green and Redbor F₁ –red), mg/g dry weight

* - differences between red and green samples at $p < 0.05$

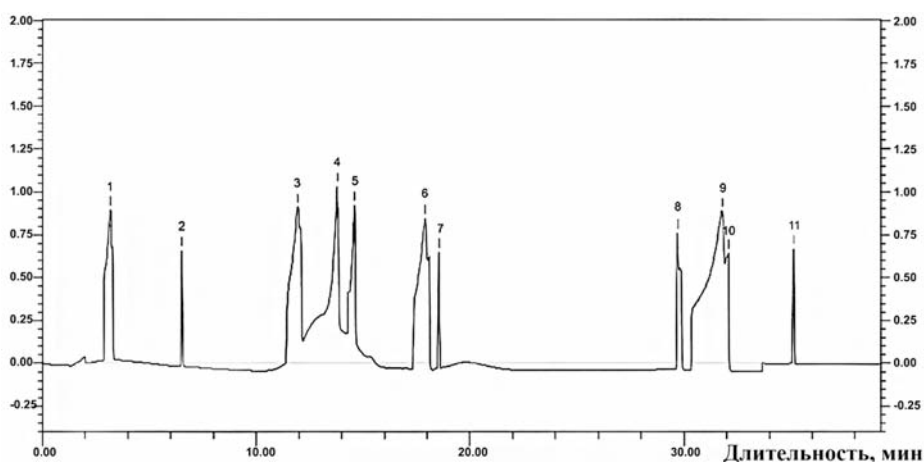


Рис. 2. Хроматограмма обращенно-фазовой ВЭЖХ спиртового экстракта из листьев капусты кейл (сорт Dwarf Blue Scotch), выращенной на территории Республики Татарстан. Детекция при 280 и 360 нм.

Порядок разделения фенольных кислот и флавоноидов: 1 - галловая кислота, 2 - изорамнетин, 3 - рутин, 4 - кверцетин, 5 - кемпферол, 6 - синнаповая кислота, 7 - феруловая кислота, 8 - кофейная кислота, 9 - коричная кислота, 10 - салициловая кислота, 11 - кумаровая кислота. Ось ординат – единица поглощения, ось абсцисс – время выхода, мин

Fig. 2. Reversed-phase HPLC chromatogram of an alcoholic extract from kale leaves (variety Dwarf Blue Scotch) grown in the territory of the Republic of Tatarstan. Detection at 280 and 360nm. The order of separation of phenolic acids and flavonoids: 1 - gallic acid, 2 - isorhamnetin, 3 - rutin, 4 - quercetin, 5 - kaempferol, 6 - synnaptic acid, 7 - ferulic acid, 8 - caffeic acid, 9 - cinnamic acid, 10 - salicylic acid, 11 - coumaric acid. The y-axis is the absorption unit, the abscissa axis is the exit time, min

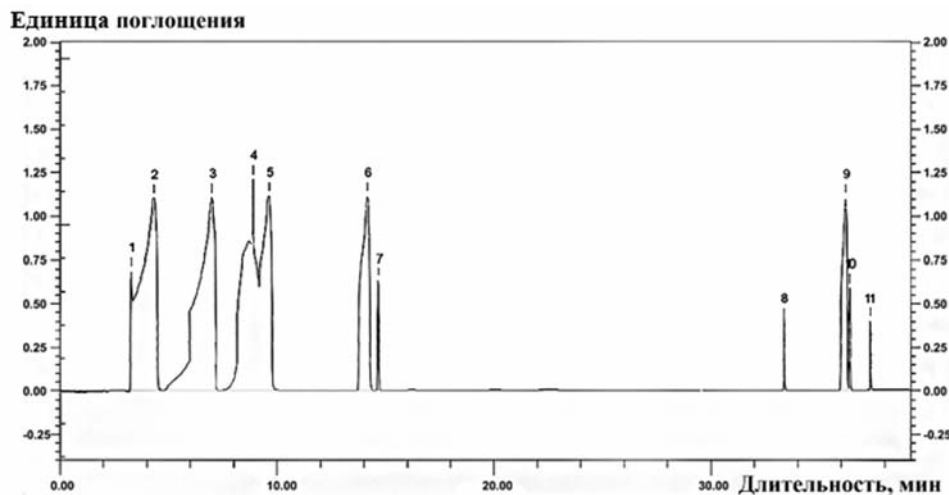


Рис. 3. Хроматограмма обращенно-фазовой ВЭЖХ спиртового экстракта из листьев капусты кейл (сорт Redbor F₁), выращенной на территории Республики Татарстан. Детекция при 280 и 360нм. Порядок разделения фенольных кислот и флавоноидов: 1 - галловая кислота, 2 - изорамнетин, 3 - рутин, 4 - кверцетин, 5 - кемпферол, 6 - синнаповая кислота, 7 - феруловая кислота, 8 - кофейная кислота, 9 - коричная кислота, 10 - салициловая кислота, 11 - кумаровая кислота. Ось ординат – единица поглощения (значения хроматографа), ось абсцисс – время выхода, мин

Fig. 3. Reversed-phase HPLC chromatogram of an alcoholic extract from kale leaves (Redbor F₁ variety) grown in the territory of the Republic of Tatarstan. Detection at 280 and 360nm. The order of separation of phenolic acids and flavonoids: 1 - gallic acid, 2 - isorhamnetin, 3 - rutin, 4 - quercetin, 5 - kaempferol, 6 - synnapic acid, 7 - ferulic acid, 8 - caffeic acid, 9 - cinnamic acid, 10 - salicylic acid, 11 - coumaric acid. The y-axis is the absorbance unit (chromatograph values), the abscissa is the exit time, min

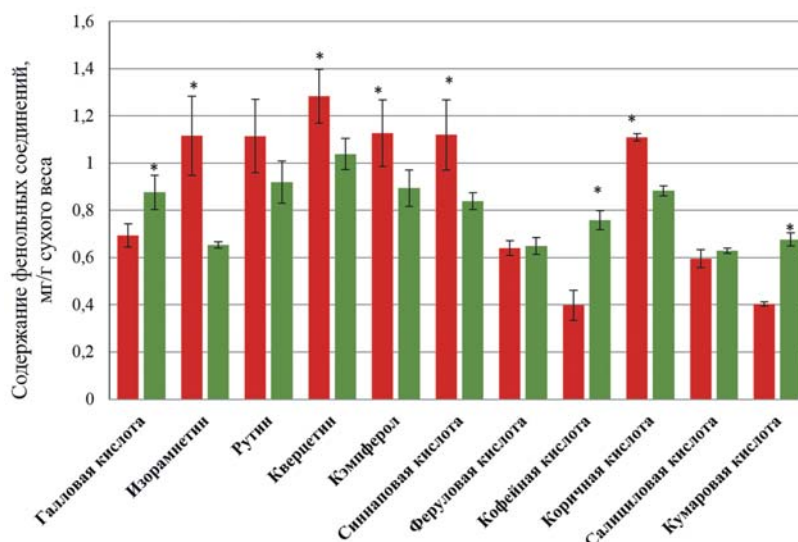


Рис. 4. Количественный состав фенольных соединений двух сортов (Dwarf Blue Scotch –зеленый и Redbor F₁ –красный) (количеству вещества в единице поглощения).

*отличия между красными и зелёными образцами при $p < 0.05$

Fig. 4. Quantitative composition of phenolic compounds of two varieties (Dwarf Blue Scotch –green and Redbor F₁ –red) (amount of substance per absorption unit).

*Differences between red and green samples at $p < 0.05$

По сравнению с сортом Dwarf Blue Scotch», общее количество фенольных соединений было больше у гибрида Redbor F₁ в 1.4 раза (рис. 4). Количество изорамнетина, кверцетина, кемпферола, синнаповой и коричной кислот были выше у гибрида Redbor F₁, в то время как количество галловой, кофейной и кумаровой кислот было выше у сорта Dwarf Blue Scotch.

Эти данные согласуются с результатами Schmidt et al. [12], которые исследовали состав фенольных соединений в листьях 8 сортов капусты кейл в разных климатических условиях и обнаружили, что содержание кверцетина, кемпферола и изорамнетина намного выше по отношению к другим фенольным соединениям. Тем не менее, количество этих флавоноидов сильно зависит от климатических условий, в которых произрастали растения.

Заключение

Таким образом, проведенный комплексный анализ фенольных соединений капусты кейл двух образцов продемонстрировал, что гибрид Redbor F₁ характеризуется более высоким содержанием фенольных соединений и флавоноидов, по сравнению с сортом Dwarf Blue Scotch.

Данные различия могут быть связаны с происхождением данных образцов и разницей в ростовых параметрах растений капусты кейл (гибрид Redbor F₁ имеет большую корневую систему и более мощный стебель).

Представленные результаты свидетельствуют о том, что гибрид Redbor F₁ может быть использован для разработки приемов повышения эффективности синтеза вторичных метаболитов, полезных для здоровья человека, и рекомендован фермерам для выращивания.

• Литература / References

1. Pennington J.A.T., Fisher R.A. Classification of fruits and vegetables. *Food Composition and Analysis*. 2009;(22):S23-S31. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.11.012>
2. Pem D., Jeewon R. Fruit and vegetable intake: Benefits and progress of nutrition education interventions-narrative review article. *Iranian Journal of Public Health*. 2015;(44):1309-1321.
3. Aune D., Giovannucci E., Boffetta P., Fadnes L.T., Keum N., Norat T., Greenwood D.C., Riboli E., Vatten L.J., Tonstad S. Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality-A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *International Journal of Epidemiology*. 2017;(46):1029-1056. <https://doi.org/10.1093/ije/dyw319>
4. Šamec D., Urlić B., Salopek-Sondi B. Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;(59):241-2422. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1454400>
5. Noichinda S., Bodhipadma K., Mahamontri C., Narongruk T., Ketsa S. Light during storage prevents loss of ascorbic acid and increases glucose and fructose levels in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*). – *Postharvest Biology and Technology*. 2007;(44):312-315. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.006>
6. Walsh R.P., Bartlett H., Eperjesi F. Variation in Carotenoid Content of Kale and Other Vegetables: A Review of Pre- and Post-harvest Effects. *Agricultural and Food Chemistry*. 2015;(63):9677-9682. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03691>
7. Джантасова А.С., Т.Е. Айтбаев, Нусупова А.О., Джантасов С.К. оценка продуктивности листовой капусты кале в условиях открытого грунта юго-востока Казахстана. *Известия, нәтижелер – Исследования, результаты*. 2023;(97):2304-3334. <https://doi.org/10.37884/1-2023/05> [Dzhanatasova A.S., T.E. Aitbaev, Nusupova A.O., Dzhanatsov S.K. assessment of the productivity of kale cabbage in open ground conditions in south-east Kazakhstan. *Izdenister, natizheler – Research, results*. 2023;(97):2304-3334. <https://doi.org/10.37884/1-2023/05> (In Russ.)]
8. Ashenafi E.L., Nyman M.C., Holley J.M., Mattson N.S., Rangarajan A. Phenotypic plasticity and nutritional quality of three kale cultivars (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) under field, greenhouse, and growth chamber environments. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;(199):104895. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104895>
9. Pojer E., Mattivi F., Johnson D., Stockley C.S. The case for anthocyanin consumption to promote human health: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013;(12):483-508. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12024>
10. Алмуграби Е., Калимуллин М.И., Мостякова А.А., Тимофеева О.А. Фитохимический состав *Brassica oleracea* var. *sabellica* в онтогенезе. *АгроЭкоИнфо*. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_115.pdf [Almugrabi E., Kalimullin M.I., Mostyakova A.A., Timofeeva O.A. Phytochemical composition of *Brassica oleracea* var. *sabellica* in ontogenesis. *AgroEcoInfo*. 2020. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_115.pdf (In Russ.)]
11. Anteh J.D., Almugrabi E., Mostyakova A., Timofeeva O. Biochar influences on phytochemical composition and expression genes of curly kale at different treatment times. *Turkish Journal of Botany*. 2023;(47):529-540. <https://doi.org/10.55730/1300-008X.2782>
12. Schmidt S., Zietz M., Schreiner M., Rohn S., Kroh L.W., Krumbein A. Genotypic and climatic influences on the concentration and composition of flavonoids in kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*). *Food Chemistry*. 2010;(119):1293-1299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.004>
13. Krumbein A., Saeger-Fink H., Schonhof I. Changes in quercetin and kaempferol concentrations during broccoli head ontogeny in three broccoli cultivars. *Applied Botany and Food Quality*. 2007;(81):136-139.
14. Vidal N.P., Pham H.T., Manful C., Pumphrey R., Nadeem M., Cheema M., Galagedara L., Leke-Aladekoba F., Abbey L., Thomas R.R. The use of natural media amendments to produce kale enhanced with functional lipids in controlled environment production system. *Scientific Reports*. 2018;(8):14771. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32866-5>
15. Kuerban A., Yaghmoor S.S., Almulaiky Y.Q., Mohamed Y.A., Razvi S.S., Hasan M.N., Moselhy S.S., Al-Ghafari A., Alsufiani H.M., Kumosani N.A., AL-Malki A. Therapeutic Effects of Phytochemicals of *Brassicaceae* for Management of Obesity. *Pharmaceutical Research International*. 2017;(19):1-11. <https://doi.org/10.9734/jpri/2017/37617>
16. Cisneros-Zevallos L. The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables. *Food Science*. 2003;(68):1560-1565. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12291.x>
17. Jacobo-Velázquez D.A., González-Aguero M., Cisneros-Zevallos L. Cross-talk between signaling pathways: The link between plant secondary metabolite production and wounding stress response. *Scientific Reports*. 2015;(5):8608. <https://doi.org/10.1038/srep08608>
18. Ortega-Hernández E., Antunes-Ricardo M., Jacobo-Velázquez D.A. Improving the Health-Benefits of Kales (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC) through the Application of Controlled Abiotic Stresses: A Review. *Plants*. 2021;(10):2629. <https://doi.org/10.3390/plants10122629>
19. Gupta R.K., Dudeja P. Food Packaging. Food Safety in the 21st Century, Academic Press. 2017. P. 491-496. ISBN 978-0-12-801773-9.
20. Neela S., Solomon W.F. Kale: Review on nutritional composition, bio-active compounds, anti-nutritional factors, health beneficial properties and value-added products. *Cogent Food & Agriculture*. 2020;(6):1811048. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1811048>
21. Ayaz F.A., Ayaz S.H., Karaoglu S.A., Gru'z J., Valentova' K., Ulrichova' J., Strnad M. Phenolic acid contents of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.) extracts and their antioxidant and antibacterial activities. *Food Chemistry*. 2008;(7):19-25. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.003>
22. Huang Z., Wang B., Eaves D.H., Shikany J.M., Pace R.D. Phenolic compound profile of selected vegetables frequently consumed by African Americans in the southeast United States. *Food Chemistry*. 2007;(103):1395-1402. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.077>
23. Neill S.O., Gould K.S. Anthocyanins in leaves: Light attenuators or antioxidants? *Functional Plant Biology*. 2003;30(8):865-873. <https://doi.org/10.1071/FP03118>

Об авторах:

Есраа Алмуграби – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры ботаники и физиологии растений, институт Фундаментальной медицины и биологии, автор для переписки, esraaalmgrabe@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7341-7841>, SPIN-код: 2822-3903

Инсаф Вакифович Галиев – аспирант кафедры ботаники и физиологии растений, институт Фундаментальной медицины и биологии, defotan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2328-1568>

Римма Павловна Хакимзянова – магистрант кафедры ботаники и физиологии растений, институт Фундаментальной медицины и биологии, hakimru@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0975-8910>

Антонина Анатольевна Мостякова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений, институт Фундаментальной медицины и биологии, AAMostyakova@kpfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3854-1913>, SPIN-код: 6255-0991

Ольга Арнольдовна Тимофеева – доктор биологических наук, профессор, заведующей кафедрой ботаники и физиологии растений, институт Фундаментальной медицины и биологии, otimofeeva2008@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4921-458X>, AuthorID: 107661

About the Authors:

Esraa Almugrabi – Cand. Sci. (Biology), Senior Lecturer at the Department of Botany and Plant Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Corresponding Author, esraaalmgrabe@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7341-7841>, SPIN code: 2822-3903

Insaf V. Galiev – Graduate Student of the Department of Botany and Plant Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, defotan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2328-1568>

Rimma P. Khakimzyanova – Master's Student of the Department of Botany and Plant Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, hakimru@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0975-8910>

Antonina A. Mostyakova – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, AAMostyakova@kpfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3854-1913>, SPIN code: 6255-0991

Olga A. Timofeeva – Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Botany and Plant Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, otimofeeva2008@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4921-458X>, AuthorID: 107661

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-54-60>
УДК: 635.9-02(470.311)

Т.А. Кроль*, В.И. Осипов, Д.Н. Балеев

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский Институт Лекарственных и Ароматических Растений» (ФГБНУ ВИЛАР)
117216, Россия, г. Москва, ул. Грина, д. 7

*Автор для переписки:
tatianakroll1@gmail.com

Вклад авторов. Кроль Т.А.: сбор образцов, работа с литературой, подготовка материалов для статьи, подготовка и создание черновика рукописи, обработка данных и анализ полученных результатов, визуализация и представление данных. Осипов В.И.: проведение исследований, анализ полученных результатов, редактирование рукописи. Балеев Д.Н.: научное руководство исследования, формулирование идеи, исследовательских целей и задач, анализ полученных результатов, редактирование рукописи.

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

Для цитирования: Кроль Т.А., Осипов В.И., Балеев Д.Н. Качественный состав фенольных соединений листьев растений *Rhodiola rosea* L., интродуцированных в условиях Московской области. *Овощи России*. 2024;(4):54-60. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-54-60>

Поступила в редакцию: 23.04.2024

Принята к печати: 29.05.2024

Опубликована: 08.07.2024

Tatiana A. Krol*, Vladimir I. Ossipov,
Dmitry N. Baleev

All-Russian scientific research Institute
of medicinal and aromatic plants
7, Grin street, Moscow, Russia, 117216

*Correspondence: tatianakroll1@gmail.com

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

Authors' Contribution: Krol T.A.: collection of samples, work with literature, preparation of materials for article, preparation and creation of a draft manuscript, data processing and analysis of the results obtained, visualization and presentation of data. Osipov V.I.: conducting research, analyzing the results, editing the manuscript. Baleev D.N.: scientific supervision of the study, formulation of the idea, research goals and objectives, analysis of the results obtained, editing of the manuscript.

For citation: Krol T.A., Ossipov V. I., Baleev D.N. Qualitative composition of phenolic compounds in leaves of *Rhodiola rosea* L. plants introduced in the conditions of the Moscow region. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):54-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-54-60>

Received: 23.04.2024

Accepted for publication: 29.05.2024

Published: 28.06.2024

Качественный состав фенольных соединений листьев растений *Rhodiola rosea* L., интродуцированных в условиях Московской области

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. *Rhodiola rosea* L., многолетнее травянистое растение семейства Crassulaceae, корни и корневища которого характеризуются присутствием разнообразных биологически активных соединений. Данный вид включен в Государственную фармакопею Российской Федерации. Лекарственные препараты, полученные из корней *R. rosea*, широко применяют в качестве адаптогенов, общетонизирующих и антистрессовых средств. В отличие от корней, биологически активные соединения листьев *R. rosea* исследованы в меньшей степени. На территории ботанического сада лекарственных растений ФГБНУ ВИЛАР произрастает интродуцированная популяция *R. rosea*. Изучается возможность культивирования данного вида в условиях Московской области.

Материал и методика. Целью нашей работы было изучение состава фенольных соединений листьев *R. rosea* из биокolleкции ФГБНУ ВИЛАР с использованием ультра-эффективной жидкостной хроматографии. Экстракцию проводили 80% ацетоном. Для качественного анализа фенольных соединений использовали ультра-эффективную жидкостную хроматографическую систему в комбинации с фотодиодным и масс-спектрометрическим детекторами. Идентификацию проводили по данным УФ- и масс-спектрометрии.

Результаты. В результате проведенного УЭЖХ-ДД-МС анализа в листьях *R. rosea* были обнаружены пики 20 фенольных соединений, из них 19 соединений были предварительно идентифицированы. В экстракте листьев содержалось восемь фенольных соединений из группы галлоил-глюкоз (три изомера моногаллоил-глюкозы, тригаллоил-глюкоза, два изомера тетрагаллоил-глюкозы, два изомера пентагаллоил-глюкозы), два соединения, относящиеся к галлотаннинам (два изомера гексагаллоил-глюкозы), пять флавоноидов (четыре производных гербацетина и одно госсипетина), фенольные кислоты (кофеил-яблочная и феруловая кислоты), а также арбутин и эскулетин. Показано, что биологически активные вещества *R. rosea*, дают перспективу использования листьев в качестве сырья, для разработки препаратов растительного происхождения противовоспалительного, противовирусного и противоопухолевого действия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Лекарственные растения, *Rhodiola rosea* L., ультра-эффективная жидкостная хроматография, фенольные соединения, галлоил-глюкозы, галлотаннины, фенольные кислоты, флавоноиды

Qualitative composition of phenolic compounds in leaves of *Rhodiola rosea* L. plants introduced in the conditions of the Moscow region

ABSTRACT

Relevance. *Rhodiola rosea* L. is a perennial herbaceous plant from the Crassulaceae family. The roots and rhizomes of *R. rosea* contain a range of biologically active compounds. This species is included in the State Pharmacopoeia of the Russian Federation. Medicinal preparations derived from them are widely used as adaptogens, general tonic and anti-stress agents. While the roots have been extensively studied, less attention has been given to the biologically active compounds found in the leaves of *R. rosea*. An introduced population of *R. rosea* grows on the territory of the botanical garden of medicinal plants of the All-Russian scientific research Institute of medicinal and aromatic plants (VILAR). The possibility of cultivating this species in the conditions of the Moscow region is being studied.

Material and Methodology. The objective of this study was to investigate the composition of phenolic compounds in *R. rosea* leaves from VILAR biocollection using ultra-efficient liquid chromatography combined with mass spectrometry. Extraction was carried out with 80% acetone. An ultra-high performance liquid chromatographic system with a photodiode array detector and mass spectrometer was used for the analysis of phenolic compounds. Identification was carried out using UV- and mass spectrometry data.

Results. As a result of UPLC-DD-MS analysis, peaks of 20 phenolic compounds were detected in *R. rosea* leaves, of which 19 compounds were tentatively identified. The leaf extract contained eight phenolic compounds from the group of galloyl-glucoses (three isomers of monogalloyl-glucose, trigalloyl-glucose, two isomers of tetragalloyl-glucose, two isomers of pentagalloyl-glucose), two gallotannins (isomers of hexagalloyl-glucose), five flavonoids (four herbacetin derivatives and one gossypetin), phenolic acids (caffeoyl-malic and ferulic acids), arbutin and esculetin. It has been shown that the biologically active substances of *R. rosea* provide prospects for the use of leaves as raw materials for the development of herbal preparations with anti-inflammatory, antiviral and antitumor effects.

KEYWORDS:

medicinal plants, *Rhodiola rosea* L., ultra-performance liquid chromatography, phenolic compounds, galloylglucoses, gallotannins, phenolic acids, flavonoids

Введение

Rhodiola rosea L. (syn. *Sedum roseum* (L.) Scop) (Crassulaceae) – фармакопейное растение, имеющее долгую историю использования в качестве лекарственного растения. Это травянистое многолетнее двудомное растение, высотой до 70 см [1, 2] с мощным ветвящимся горизонтальным корневищем массой до 1 кг [3]. *R. rosea* – суккулент и произрастает в арктических, субарктических и горных регионах по всему миру [4, 5]. На территории России встречается в основном на Дальнем Востоке, Среднем Урале, севере Европейской части, в арктических и горных районах Сибири [5].

Основное лекарственное сырье *R. rosea* – это корневища с корнями, сбор которых происходит с конца цветения до завершения вегетации растения [6, 7]. Полученные из них препараты используются в качестве адаптогенов и антистрессовых средств [8]. Многочисленные исследования выявили широкий спектр биологической активности экстрактов из *R. rosea*, оказывающих противовоспалительное, антиоксидантное, противовирусное, иммуномодулирующее и противоопухолевое действие [9, 10]. О побочных эффектах *R. rosea* не сообщалось [11].

Биологически активные соединения содержатся во всем растении *R. rosea*: алкалоиды, гликозиды, фенольные соединения, кумарины, терпены, стероиды и органические кислоты [3; 12-14]. Однако большинство работ посвящено изучению химического состава корневищ и корней. В подземных органах *R. rosea* обнаружено порядка 140 соединений [15]. Считается, что за активность отвечают салидрозид и его агликон тирозол, а также гликозиды коричневого спирта (канифоль, розарин и розавин) [1, 16]. Флавоноиды представлены производными кемпферола, кверцетина, гербацетина, госсипетина и трицина [4, 17]. В листьях накапливаются галлотаннины и их содержание может достигать порядка 97,53 мг/г [18]. В надземной части растения встречаются флавоноиды, представленные гликозидами трицина, гербацетина, госсипетина [8]. Несмотря на выше сказанное, исследований, посвященных изучению фитохимического состава надземной части *R. rosea* не достаточно [18, 19].

R. rosea включена в Красную книгу Российской Федерации (категория 3) за исключением популяций Алтайского и Красноярского краев, Республики Тыва и Магаданской области [5]. В настоящее время из-за чрезмерной заготовки корневищ резко снизилась численность естественных популяций данного вида [2]. На сегодняшний день промышленные плантации видов рода *Rhodiola* L. в РФ отсутствуют [20, 21], культивирование ведется в экспериментальных или небольших коммерческих масштабах [22]. На территории ботанического сада лекарственных растений ФГБНУ ВИЛАР произрастает популяция *R. rosea*, интродуцированная с 1980 г. (происхождение растений: Алтай). Проводятся работы по изучению возможности культивирования данного вида в условиях Московской области [20, 21, 23]. Помимо корневищ, листья также могут иметь значительную эксплуатационную ценность [19].

В связи с этим, целью нашей работы было изучение качественного состава фенольных соединений листьев *R. rosea* из биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР, методом ульт-

ра-эффективной жидкостной хроматографии с диодно-матричным детектированием в сочетании с масс-спектрометрией (УЭЖХ-ДД-МС).

Материалы и методы

Объектом исследования были листья *R. rosea*, собранные с растений в период цветения в 2019 году, произрастающих на территории Ботанического сада лекарственных растений ФГБНУ ВИЛАР. Форма листьев *R. rosea* зависит от расположения на побеге. В нижней части побега листья обратнойцевидные с заостренным кончиком. Край листа в верхней и средней части зубчатый. Листья из верхней части побега удлиненные, редкозубчатые в верхней и средней части листа [24].

Подготовка образцов

Собранные листья замораживали, лиофильно высушивали (FreeZone 2.5 L, Labconco, США) и измельчали (MM 400, Retsch, Германия). Образец листьев массой 15 мг (CPA 225D, Sartorius, Германия) экстрагировали 1 мл 80% ацетона (для хроматографии, Компонент-Реактив, Россия) в течение 60 минут при комнатной температуре и постоянном перемешивании (VORTEX Genie 2, Scientific Industries, США). Экстракт отделяли центрифугированием в течение 20 минут при 14000 об/мин (5430R, Eppendorf, Германия) и остаток образца экстрагировали еще два раза. Объединенные экстракты упаривали досуха при 45°C (CentriVar, Labconco, США). Полученный сухой экстракт растворяли в 1 мл деионизированной воды в течение 60 минут, центрифугировали в течение 20 минут при 14000 об/мин, разбавляли в 5 раз деионизированной водой (Direct-Q3, Merck, Германия) и фильтровали (PTFE filter Clean 2, 0,45 µm, Thermo Fisher Scientific, США).

УЭЖХ анализ

Для УЭЖХ-ДД-МС анализа использовали ультра-эффективную жидкостную хроматографическую систему (Acquity UPLC® 2.9.0, Waters Corporation, Милфорд, США), которая включала фотодиодный детектор (190-500 нм) и тройной квадрупольный масс-спектрометр Xevo TQ (Waters Corporation, Милфорд, США). В градиентной программе использовали 0,1% муравьиную кислоту (А) и ацетонитрил (Б): 0-0,5 мин, 0,1% Б в А; 0,5-5,0 мин, 0,1-30,0% Б в А (линейный градиент); 5,0-6,0 мин, 30-35% Б в А (линейный градиент). Скорость потока элюента составляла 0,5 мл/мин, объем введенного образца – 5 мкл [25]. Использовали регистрацию отрицательных ионов. Масс-спектрометрические данные анализировали с использованием программы DataAnalysis 4.0.

Идентификацию фенольных соединений проводили на основании данных УФ- и МС-спектров, используя доступные базы масс-спектрометрических данных: The Human Metabolome Database Version 5.0 (HMDB) [26], PubChem и данные, опубликованные в литературе [15, 18, 19, 27-29].

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного УЭЖХ-УФ анализа в экстракте из листьев *R. rosea* были обнаружены 20 фенольных соединений (рис. 1). Соединения 1, 2, 4, 8,

13, 14, 17-20 имели УФ-спектр с максимумами поглощения в области 216-228 и 267-279 нм (рис. 2), характерный для галлоил-глюкоз и галлотаннинов [30].

Структура галлоил-глюкоз и галлотаннинов характеризуется наличием полиола (например, глюкозы или хинной кислоты), который галлоилирован по нескольким гидроксильным группам. Моногаллоил-глюкоза является предшественником на пути синтеза более сложных галлоил-глюкоз, галлотаннинов и эллаготаннинов. Замещение всех пяти гидроксильных групп глюкозы галлоильными группами, приводит к образованию 1,2,3,4,6-пента-О-галлоил-β-D-глюкозы. Галлотаннины образуются в результате дальнейших реакций галлоилирования пентагаллоил-глюкозы и могут содержать до 10-12 галлоильных групп [31].

В масс-спектрах соединений 1, 2 и 4 наблюдали депротонированный ион с m/z 331 [M-H]⁻, а также его фрагмент с m/z 169 [Галловая кислота-H]⁻ (табл.). Данные соединения были идентифицированы как изомеры моногаллоил-глюкозы. В масс-спектре соедине-

ния 8 присутствовали депротонированные ионы с m/z 635 и 317, соответствующие ионам [M-H]⁻ и [M-2H]²⁻, а также характерные фрагменты с m/z 169 [Галловая кислота-H]⁻ и 465 [М-Галловая кислота-H]⁻ (табл.). В результате, соединение 8 было идентифицировано как тригаллоил-глюкоза.

Соединения 13 и 14 были идентифицированы как изомеры тетрагаллоил-глюкозы на основании характерного УФ-спектра, ионов с m/z 787 [M-H]⁻ и 393 [M-2H]²⁻, а также фрагментов с m/z 169 [Галловая кислота-H]⁻, 465 [М-Галлоильная группа-Галловая кислота-H]⁻, 617 [М-Галловая кислота-H]⁻. Соединения 17 и 18 идентифицированы как изомеры пентагаллоил-глюкозы (m/z 939 [M-H]⁻). Масс-спектры соединений 19 и 20 содержали ионы с m/z значениями 1091 [M-H]⁻ и 545 [M-2H]²⁻, а также m/z фрагменты, характерные для изомеров гексагаллоил-глюкозы.

Идентифицированные нами галлоил-глюкозы и галлотаннины были ранее обнаружены в различных органах *R. rosea* [18]. В работе Оленникова с соавторами

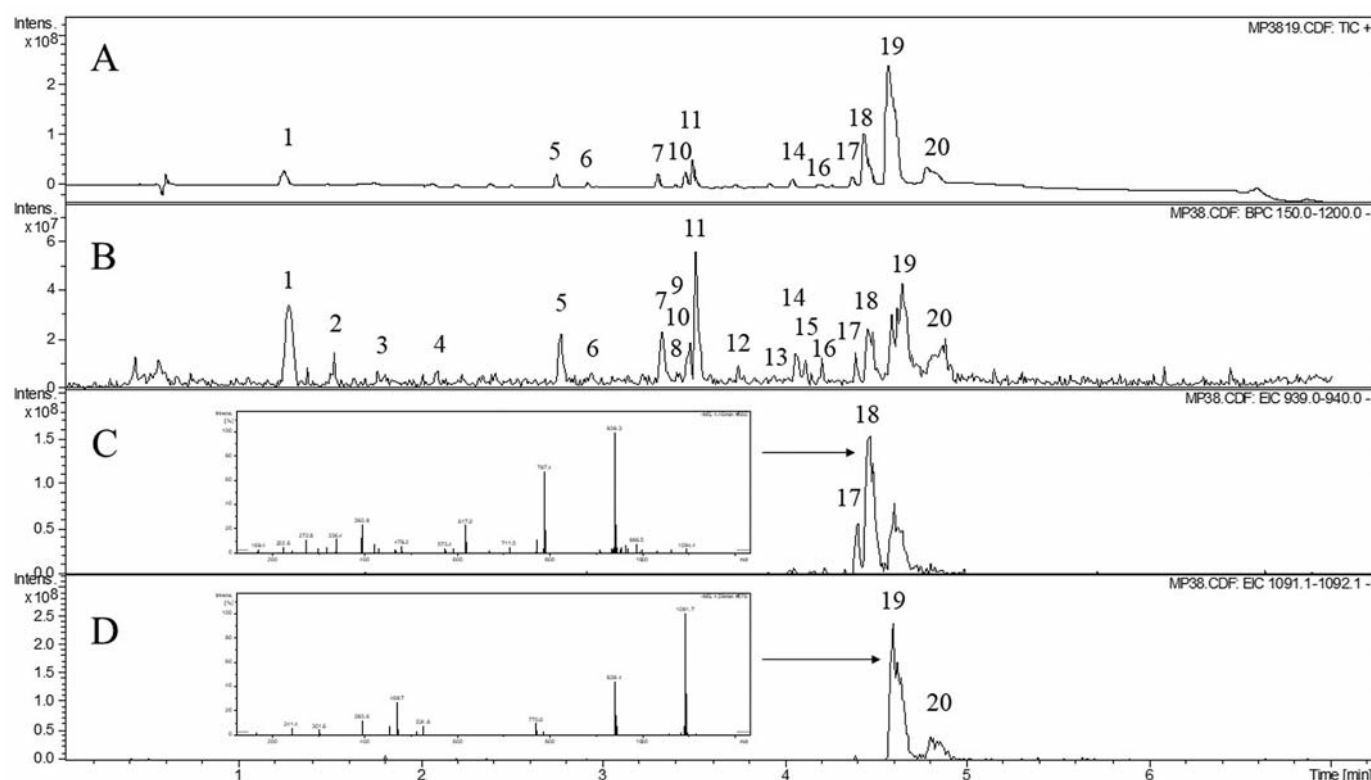


Рис. 1. А – УЭЖХ-УФ (280 нм) профиль фенольных соединений листьев *R. rosea*; В – Хроматограмма базового пика (BPC) листьев *R. rosea*, полученная в режиме отрицательной ионизации; С – Профиль хроматограммы экстрагированных ионов (EIC) для соединений с m/z 939 и МС-спектр пентагаллоил-глюкозы; D – Профиль хроматограммы экстрагированных ионов (EIC) для соединений с m/z 1091 и МС-спектр гексагаллоил-глюкозы. Обозначения: 1 – моногаллоил-глюкоза, изомер 1; 2 – моногаллоил-глюкоза, изомер 2; 3 – арбутин; 4 – галлоил-глюкоза, изомер 3; 5 – гербацетин-ди-гексозид-гексуроид; 6 – гербацетин-3-О-β-(3'-ацетилглюкозид)-7-О-β-глюкозид-8-О-β-глюкуроид; 7 – госсипетин-8-глюкуроид-3-глюкозид; 8 – тригаллоил-глюкоза; 9 – эскулетин; 10 – кофеил-яблочная кислота; 11 – родиквадрин С или изомер гербацетин-3-О-глюкозид-8-О-глюкуроида; 12 – гербацетин-3-О-(3'-О-ацетилглюкозид)-8-О-глюкуроид; 13 – тетрагаллоил-глюкоза, изомер 1; 14 – тетрагаллоил-глюкоза, изомер 2; 15 – неизвестное соединение; 16 – феруловая кислота; 17 – пентагаллоил-глюкоза, изомер 1; 18 – пентагаллоил-глюкоза, изомер 2; 19 – гексагаллоил-глюкоза, изомер 1; 20 – гексагаллоил-глюкоза, изомер 2

Fig. 1. A – UPLC-UV (280 nm) profile of phenolic compounds of leaves *R. rosea*. B – Base peak chromatogram (BPC) of leaves *R. rosea* (negative ionization mode); C – Extracted ion chromatogram (EIC) profile for compounds with m/z 939 and MS spectrum of pentagalloyl glucose; D – Extracted ion chromatogram (EIC) profile for compounds with m/z 1091 and MS spectrum of hexagalloyl-glucose. Number compounds from Table: 1 – galloyl-glucose, isomer 1; 2 – galloyl-glucose, isomer 2; 3 – arbutin; 4 – galloyl-glucose, isomer 3; 5 – herbacetin-di-O-hexoside-O-hexuronide; 6 – herbacetin-3-O-β-(3'-acetylglucoside)-7-O-β-glucoside-8-O-β-glucuronide; 7 – gossypetin-8-glucuronide-3-glucoside; 8 – trigalloyl-glucose; 9 – aesculetin; 10 – caffeoylmalic acid; 11 – rhodiquadrin C or herbacetin-3-O-glucoside-8-O-glucuronide; 12 – herbacetin-3-O-(3'-O-acetyl)-glucoside-8-O-glucuronide; 13 – tetragalloyl-glucose, isomer 1; 14 – tetragalloyl-glucose, isomer 2; 15 – unknown compound; 16 – ferulic acid; 17 – pentagalloyl-glucose, isomer 1; 18 – pentagalloyl-glucose, isomer 2; 19 – hexagalloyl-glucose, isomer 1; 20 – hexagalloyl-glucose, isomer 2

показано, что данная группа соединений содержится в листьях, цветках и стеблях, при этом изомеры моно-, ди- и тригаллоил-глюкоз присутствуют также в корневищах [18].

Галлоил-глюкозы и галлотаннины играют важную роль в защите растений от вредителей, вирусов и бактерий [32]. Например, экстракт из *Sedum takeimense*, содержащий галлотаннины, продемонстрировал сильную антибактериальную активность против *Ralstonia solanacearum* [33]. Пентагаллоил-глюкоза обладает широким спектром фармакологической активности: противовоспалительной, противовирусной, антиоксидантной и противоопухолевой [34, 35]. Данное соединение ингибирует рост различных линий раковых кле-

ток, воздействуя на пути PI3K/Akt/mTOR и JNK [36], а также показывает низкую цитотоксичность в отношении не опухолевых клеток человека [37]. Гексагаллоил-глюкоза ингибирует активность α -глюкозидазы и α -амилазы, что показывает возможность дальнейшего изучения данного соединения как гипогликемического средства [38]. Исследования, направленные на поиск новых соединений против болезни Альцгеймера, проведенные in vitro показали, что α -глюкогаллин и β -гексагаллоил-глюкоза ингибируют агрегацию амилоидного β -пептида (A β) [39].

Флавоноиды были представлены производными гербацетина и госсипетина. Соединения 5, 6, 11 и 12 имели характерный для гербацетина УФ-спектр с мак-

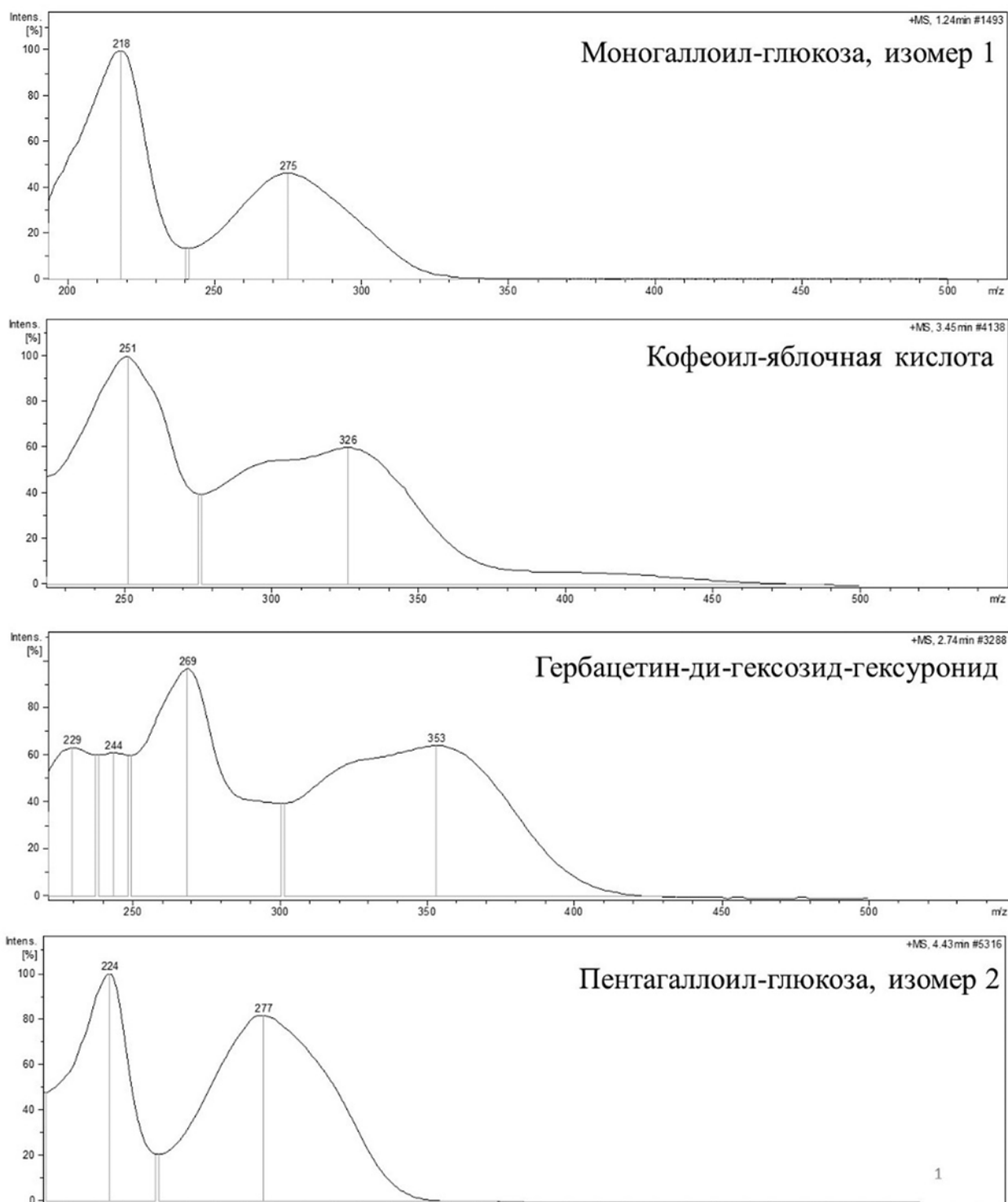


Рис. 2. Примеры УФ-спектров соединений листьев *R. rosea*
Fig.2. Examples of UV spectra compounds of leaves *R. rosea*

Таблица. Результаты УЭЖХ-УФ-МС идентификации фенольных соединений листьев *R. rosea*
 Table. Results of UPLC-UV-MS identification of phenolic compounds in leaves of *R. rosea*

№	Соединение (молекулярная формула)	Rt, мин.	УФ макс., нм	Значение <i>m/z</i> аддукта или фрагмента			Ссылка
				[M-H] ⁻ / [2M-H] ⁻	[M-H] ²⁺	фрагменты	
1	Моногаллоил-глюкоза, изомер 1, C ₁₃ H ₁₆ O ₁₀	1,24	218; 275	331/663	-	169 [ГК-Н]	[18,44]
2	Моногаллоил-глюкоза, изомер 2 C ₁₃ H ₁₆ O ₁₀	1,49	216; 267	331/-	-	169 [ГК-Н]	[18,44]
3	Арбутин C ₁₂ H ₁₆ O ₇	1,73	209; 273	271/-	-	252	[17,29]
4	Моногаллоил-глюкоза, изомер 3 C ₁₃ H ₁₆ O ₁₀	2,06	212; 255; 295	331/663	-	169 [ГК-Н]	[18,19]
5	Гербацетин-ди-гексозид-гексуронид	2,74	269; 324 пл; 353	801/-	-	173; 293; 369; 451; 625, 639 [М-Гекс-Н]	[17]
6	Производное гербацетина (гербацетин-3-О-(3"-ацетилглюкозид)- 7-О-глюкозид-8-О-глюкуронид)	2,91	269; 325 пл; 352	843/-	-	278; 319; 341; 375; 447; 495; 550; 668; 681 [М-Гекс-Н]; 779	[18,27]
7	Госсипетин-8-глюкуронид-3-глюкозидх C ₂₇ H ₂₈ O ₁₉	3,30	259; 356	655/-	-	163; 433; 479; 596	[18]
8	Тригаллоил-глюкоза C ₂₇ H ₂₄ O ₁₈	3,39	225; 276	635/-	317	169 [ГК-Н]; 465 [М-ГК-Н]	[18,19]
9	Эскулетин C ₉ H ₆ O ₄	3,45	251; 300 пл; 326	177/-	-	-	-
10	Кофеил-яблочная кислота C ₁₃ H ₁₂ O ₈			295/591	-	-	-
11	Родиквадрин С или изомер гербацетин-3-О-глюкозид-8-О-глюкуронида C ₂₇ H ₂₈ O ₁₈	3,49	269; 324 пл; 351	639/-	-	177; 238; 294; 331; 463 [М- Гексуриновая кислота-Н]	[18]
12	Производное гербацетина (гербацетин-3-О-3"-О- ацетилглюкозид-8-О-глюкуронид)	3,72	269; 324 пл; 351	681/-	-	168; 187; 301 [Гербацетин-Н]; 340; 388; 505 [М-Гексуриновая кислота-Н]; 611	[27]
13	Тетрагаллоил-глюкоза, изомер 1 C ₃₄ H ₂₈ O ₂₂	3,91	223; 273	787/-	393	169 [ГК-Н]; 465 [М-Г-ГК-Н]; 617 [М-ГК-Н]	[18, 44, 45]
14	Тетрагаллоил-глюкоза, изомер 2 C ₃₄ H ₂₈ O ₂₂	4,03	220; 278	787/-	393	169 [ГК-Н]; 280; 313 [М-2Г-ГК-Н]; 617 [М-ГК-Н]	[18, 44, 45]
15	Не идентифицированное соединение	4,11	236; 275	449/-	-	169; 269; 313; 345	-
16	Феруловая кислота C ₁₀ H ₁₀ O ₄	4,18	236; 283; 324	193/-	-	-	[15,19, 28]
17	Пентагаллоил-глюкоза, изомер 1 C ₄₁ H ₃₂ O ₂₆	4,36	220; 279	939/-	469	169 [ГК-Н]; 393; 447 [М-ГК-2Г-Н20-Н]; 769 [М-ГК-Н]	[18, 44, 45]
18	Пентагаллоил-глюкоза, изомер 2 C ₄₁ H ₃₂ O ₂₆	4,43	224; 277	939/-	-	169 [ГК-Н]; 393; 617 [М-ГК-Г-Н]; 787 [М-Г-Н]	[18,44, 45]
19	Гексагаллоил-глюкоза, изомер 1 C ₄₈ H ₃₆ O ₃₀	4,56	228; 277	1091/-	-	317; 469; 769; 940	[18, 44, 45]
20	Гексагаллоил-глюкоза, изомер 2 C ₄₈ H ₃₆ O ₃₀	4,77	220; 276	1091/-	545	169 [ГК-Н]; 393; 469; 787 [М-2Г-Н]; 939 [М-Г-Н]	[18, 44, 45]

Г – галлоильная группа (C₇H₄O₄) (152 Да); ГК – галловая кислота (C₇H₆O₅) (170 Да);
 Гекс – гексозильный фрагмент (C₆H₁₀O₅) (162 Да); пл – плечо

симулами поглощения в области 269, 324-325 (плечо) и 351-353 нм (рис. 2). Изучение масс-спектра соединения 5 показало присутствие депротонированного иона с *m/z* 801 [М-Н]⁻ и фрагмента *m/z* 639, получившегося в результате потери гексозильного фрагмента (C₆H₁₀O₅). Данное соединение можно предварительно идентифи-

цировать как гербацетин-ди-гексозид-гексуронид [18]. Соединение 6 (*m/z* 843) также является производным гербацетина и предварительно идентифицировано как гербацетин-3-О-β-(3"-ацетилглюкозид)-7-О-β-глюкозид-8-О-β-глюкуронид или его изомер. Соединение 11 показало депротонированный ион с *m/z* 639 [М-Н]⁻, а соеди-

нение 12 – ион с m/z 681 [M-H]⁻ и фрагмент с m/z 301, соответствующий агликону гербацетина. Данные соединения предварительно идентифицированы как родиквадрин С или изомер гербацетин-3-О-глюкозид-8-О-глюкуронида и гербацетин-3-О-3''-О-ацетилглюкозид-8-О-глюкуронид или его изомер соответственно. Ранее соединения 5, 11 и 12 были обнаружены в листьях, побегах, корневищах и корнях, а соединение 6 в листьях и побегах *R. rosea* [18]. Глюкозиды гербацетина встречаются в ряде видов семейства Crassulaceae [4, 40-42] и ранее были обнаружены в *R. rosea* [18]. Гербацетин оказывает антиоксидантное, противовирусное, противовоспалительное, противоопухолевое и антихолинэстеразное действие [43].

Соединение 7 (m/z 655) предварительно идентифицировано как госсипетин-8-глюкуронид-3-глюкозид. Ранее данное соединение было обнаружено во всех частях растения *R. rosea* [18].

Соединение 3 (m/z 271) идентифицировано, как арбутин, представляющий собой гликозилированный гидрохинон [29].

Соединение 10 имело характерный для кофейной кислоты [30] УФ-спектр с максимумами поглощения в области 251, 300 (плечо) и 326 нм (рис. 2). В масс-спектре соединения 10 присутствовали депротонированный ион с m/z 295 [M-H]⁻ и его димерный ион с m/z 591 [2M-H]⁻. Соединение 10 идентифицировано как кофеил-яблочная кислота, представляющая собой слож-

ный эфир кофейной и яблочной кислот. В масс-спектре также наблюдали депротонированный ион m/z 177, соответствующий эскулетину, являющемуся производным кумарина [6].

Соединение 16 было идентифицировано как феруловая кислота на основании УФ-спектра, анализа масс-спектра и по литературным данным [15, 19, 28].

Заключение

Таким образом, в результате проведенного УЭЖХ-ДД-МС анализа в листьях *R. rosea* были обнаружены пики 20 фенольных соединений, из них 19 соединений были предварительно идентифицированы. Установлено, что из группы галлоил-глюкоз содержатся восемь соединений (три изомера моногаллоил-глюкозы, тригаллоил-глюкоза, два изомера тетрагаллоил-глюкозы, два изомера пентагаллоил-глюкозы), из группы галлотаннинов – два соединения (два изомера гексагаллоил-глюкозы). Флавоноиды были представлены пятью соединениями: четыре производных гербацетина и одно госсипетина. Фенольные кислоты – кофеил-яблочной и феруловой кислотами. В листьях также обнаружены арбутин и эскулетин. Показано, что биологически активные вещества *R. rosea*, дают перспективу использования листьев в качестве сырья, для разработки препаратов растительного происхождения противовоспалительного, противовирусного и противоопухолевого действия.

Литература

- Alperth F., Turek I., Weiss S., Vogt D., Bucar F. Qualitative and quantitative analysis of different *Rhodiola rosea* rhizome extracts by UHPLC-DAD-ESI-MSn. *Scientia Pharmaceutica*. 2019;87(2):8. <https://doi.org/10.3390/scipharm87020008>
- Dorogina O.V., Kuban I.N., Achimova A.A., Williams N., Lashchinskiy N.N., Zhmud E.V. Morphometric characteristics and genetic issr marker variability in *Rhodiola rosea* L. (Crassulaceae) in different ecological and geographic conditions in the Altai Republic. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(20):15224. <https://doi.org/10.3390/ijms242015224>
- Bernatoniene J., Jakstas V., Kopustinskiene D. M. Phenolic compounds of *Rhodiola rosea* L. as the potential alternative therapy in the treatment of chronic diseases. *International journal of molecular sciences*. 2023;24(15):12293. <https://doi.org/10.3390/ijms241512293>
- Petsalo A., Jalonen J., Tolonen A. Identification of flavonoids of *Rhodiola rosea* by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. 2006;1112(1-2):224-231. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.11.056>
- Адамов Г.В., Анели Д.Н., Антоненко М.С. и др. Атлас лекарственных растений России. Изд. 2-е перераб. и дополненное. М.: Наука, 2021. С. 446-449. <https://elibrary.ru/dqvikr>
- Zakharenko A.M., Razgonova M.P., Pikula K.S., Golokhvast K.S. Simultaneous determination of 78 compounds of *Rhodiola rosea* extract by supercritical CO₂-extraction and HPLC-ESI-MS/MS spectrometry. *Biochemistry Research International*. 2021;2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9957490>
- Государственная Фармакопея Российской Федерации XIV изд. - М., 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-14-izdaniya> (дата обращения: 20.02.2024).
- Zomborski P.Z., Kűsz N., Csupor D., Peschel W. Rhodiosin and herbacetin in *Rhodiola rosea* preparations: additional markers for quality control. *Pharmaceutical biology*. 2019;57(1):295-305. <https://doi.org/10.1080/13880209.2019.1577460>
- Li Y., Pham V., Bui M., Song L., Wu C., Walia A., Uchio E., Smith-Liu F., Zi X. *Rhodiola rosea* L.: an herb with anti-Stress, anti-Aging, and immunostimulating properties for cancer chemoprevention. *Current pharmacology reports*. 2017;(3):384-395. <https://doi.org/10.1007/s40495-017-0106-1>
- Pu W. L., Zhang M. Y., Bai R. Y., Sun L. K., Li W. H., Yu Y. L., Zhang Y., Song L., Wang Z. X., Peng Y. F., Shi H., Zhou K., Li T. X. Anti-inflammatory effects of *Rhodiola rosea* L.: A review. *Biomedicine &*

Pharmacotherapy. 2020;(121):109552. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109552>

11. Sist P., Tramer F., Lorenzon P., Urbani R., Vrhovsek U., Bernareggi A., Sciancalepore M. *Rhodiola rosea*, a protective antioxidant for intense physical exercise: An in vitro study. *Journal of Functional Foods*. 2018;(48):27-36. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.022>

12. Nikolaichuk H., Typek R., Gnat S., Studziński M., Choma I. M. Effect-directed analysis as a method for quality and authenticity estimation of *Rhodiola rosea* L. preparations. *Journal of Chromatography A*. 2021;(1649):462217. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.462217>

13. Tang Y., Friesen J. B., Nikolić D. S., Lankin D. C., McAlpine J. B., Chen S.-N., Pauli G. F. Tandem of countercurrent separation and qHNMR enables gravimetric analyses: absolute quantitation of the *Rhodiola rosea* metabolome. *Analytical Chemistry*. 2021;93(34):11701-11709. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.1c01554>

14. Chiang H.M., Chen H.C., Wu C.S., Wu P.Y., Wen K.C. *Rhodiola* plants: chemistry and biological activity. *Journal of Food and Drug Analysis*. 2015;23(3):359-369. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.04.007>

15. Polumackanycz M., Konieczynski P., Orhan I.E., Abaci N., Viapiana A. Chemical composition, antioxidant and anti-enzymatic activity of golden root (*Rhodiola rosea* L.) commercial samples. *Antioxidants*. 2022;11(5):919. <https://doi.org/10.3390/antiox11050919>

16. Marchev A.S., Aneva I.Y., Koycheva I.K., Georgiev M.I. Phytochemical variations of *Rhodiola rosea* L. wild-grown in Bulgaria. *Phytochemistry Letters*. 2017;(20):386-390. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2016.12.030>

17. Olennikov D.N., Chirikova N.K. New metabolites of *Rhodiola rosea* L. glycosides of herbacetin and gossypetin. *Chemistry of Natural Compounds*. 2022;58(6):1014-1020.

18. Olennikov D.N., Chirikova N.K., Vasilieva A.G., Fedorov I.A. LC-MS profile, gastrointestinal and gut microbiota stability and antioxidant activity of *Rhodiola rosea* herb metabolites: A comparative study with subterranean organs. *Antioxidants*. 2020;9(6):526. <https://doi.org/10.3390/antiox9060526>

19. Dong T., Liu H., Sha Y., Sun L. A comparative study of phytochemical metabolites and antioxidant properties of *Rhodiola*. *Arabian Journal of Chemistry*. 2023;16(1):104420. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104420>

20. Савченко О.М., Бабаева Е.Ю. Изучение фенологии и семенной продуктивности растений родиолы розовой в Центральном районе Нечерноземной зоны РФ. *Юг России: экология, развитие*.

2021;16(1):26-35. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-1-98-109>

<https://elibrary.ru/bnphsy>

21. Савченко О. М., Цыбулько Н. С. Экзогенная регуляция биопроductивности родиолы розовой (*Sedum roseum* (L.) Scop.). *Агрохимический вестник*. 2021;(3):52-56.

<https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-3-011>

<https://elibrary.ru/ovuopn>

22. Brinckmann J.A., Cunningham A.B., Harter D.E.V. Running out of time to smell the roseroots: Reviewing threats and trade in wild *Rhodiola rosea* L. *Journal of Ethnopharmacology*. 2021;(269):113710.

<https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113710>

23. Савченко О.М. Эффективность микроудобрений для повышения семенной продуктивности и качества семян родиолы розовой в зависимости от условий сезона вегетации. *Аграрная Россия*. 2020;(2):7-10. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2020-2-7-10>

24. Савченко О.М., Цыбулько Н.С., Саматадзе Т.Е. Сравнительное изучение представителей различных популяций вида *Sedum roseum* (L.) Scop. при возделывании в культуре. *Юг России: экология, развитие*. 2023;18(2(67)):21-32. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-21-32> <https://elibrary.ru/dzcyjy>

25. Engstrom M.T., Paljarvi M., Salminen J. P. Rapid fingerprint analysis of plant extracts for ellagitannins, gallic acid, and quinic acid derivatives and quercetin-, kaempferol- and myricetin-based flavonol glycosides by UPLC-QqQ-MS/MS. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2015;63(16):4068-4079.

<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00595>

26. Wishart D.S., Feunang Y.D., Marcu A., Guo A. C., Liang K., Vázquez-Fresno R., Scalbert A. HMDB 4.0: the human metabolome database for 2018. *Nucleic acids research*. 2018;46(D1):D608-D617.

<https://doi.org/10.1093/nar/gkx1089>

27. Van Diermen D., Pierreclos M., Hostettmann K. Antioxidant phenolic compounds from *Sedum dasyphyllum* L. *Planta Medica*. 2009;75(09):PJ49. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1234854>

28. Bhardwaj A.K. Singh B., Kaur K., Roshan P., Sharma A., Dolker D., Naryal A., Saxena S., Pati P.K., Chaurasia O.P. In vitro propagation, clonal fidelity and phytochemical analysis of *Rhodiola imbricata* Edgew: a rare trans-Himalayan medicinal plant. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2018;135:499-513. <https://doi.org/10.1007/s11240-018-1482-x>

29. Xu T., Lv C., Lu J. The fingerprint and flavonoids contents by HPLC and the UPLC-DAD-Q-TOF-MS analysis of *Sedum aizoon* L. *多酚*. 2019;1(1):23-32.

30. Moilanen J., Sinkkonen J., Salminen J. P. Characterization of bioactive plant ellagitannins by chromatographic, spectroscopic and mass spectrometric methods. *Chemoecology*. 2013;(23):165-179.

<https://doi.org/10.1007/s00049-013-0132-3>

31. Okuda T., Ito H. Tannins of constant structure in medicinal and food plants—hydrolyzable tannins and polyphenols related to tannins. *Molecules*. 2011;16(3):2191-2217.

<https://doi.org/10.3390/molecules16032191>

32. He H.F. Recognition of gallotannins and the physiological activities: from chemical view. *Frontiers in Nutrition*. 2022;(9):888892. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.888892>

33. Vu T.T., Kim J.C., Choi Y.H., Choi G.J., Jang K.S., Choi T.H., Yoon T.M., Lee S.W. Effect of gallotannins derived from *Sedum takesimensense* on tomato bacterial wilt. *Plant disease*. 2013;97(12):1593-1598. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-13-0350-RE>

34. Ma C., Zhao X., Wang P., Jia P., Zhao X.F., Xiao C.N., Zheng X.H. Metabolite characterization of Penta-O-galloyl-β-D-glucose in rat biofluids by HPLC-QTOF-MS. *Chinese Herbal Medicines*. 2018;10(1):73-79. <https://doi.org/10.1016/j.chmed.2018.01.002>

35. Torres-León C., Ventura-Sobrevilla J., Serna-Cock L., Ascacio-Valdés J.A., Contreras-Esquivel J., Aguilar C.N. Pentagalloylglucose (PGG): A valuable phenolic compound with functional properties. *Journal of Functional Foods*. 2017;(37):176-189.

<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.07.045>

36. Wen C., Dechsupa N., Yu Z., Zhang X., Liang S., Lei X., Xu T., Gao X., Hu Q., Innuan P., Kantapan J., Lü M. Pentagalloyl Glucose: A Review of Anticancer Properties, Molecular Targets, Mechanisms of Action, Pharmacokinetics, and Safety Profile. *Molecules*. 2023;28(12):4856. <https://doi.org/10.3390/molecules28124856>

37. Chen R.H., Yang L.J., Hamdoun S., Chung S.K., Lam C.W.-K., Zhang K.X., Guo, X., Xia, C., Law B.Y.K., Wong V.K.W. 1,2,3,4,6-Pentagalloyl Glucose, a RBD-ACE2 Binding Inhibitor to Prevent SARS-CoV-2 Infection. *Frontiers in Pharmacology*. 2021;12:634176. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.634176>

38. Hwang J. K., Kong T. W., Baek N. I., Pyun, Y. R. α-Glycosidase inhibitory activity of hexagalloylglucose from the galls of *Quercus infectoria*. *Planta Medica*. 2000;66(03):273-274. <https://doi.org/10.1055/c-2000-8569>

39. Sylla T., Pouységu L., Da Costa G., Deffieux D., Monti J. P., Quideau S. Gallotannins and Tannic Acid: First Chemical Syntheses and In Vitro Inhibitory Activity on Alzheimer's Amyloid β-Peptide Aggregation. *Angewandte Chemie International Edition*. 2015;54(28):8217-8221. <https://doi.org/10.1002/anie.201411606>

40. Mizuno T., Uchiyama N., Tanaka S., Nakane T., Devkota H. P., Fujikawa K., Kawahara N., Iwashina T. Flavonoids from *Sedum japonicum* subsp. *oryzifolium* (Crassulaceae). *Molecules*. 2022;27(21):7632. <https://doi.org/10.3390/molecules27217632>

41. Iwashina T., Nakane T., Devkota H. P. Flavonoids from the leaves and stems of *Rhodiola ishidae* (Crassulaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*. 2023;(107):104622. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104622>

42. Olennikov D. N., Chirikova N. K. New flavonol glycosides from *Rhodiola quadrifida*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2020;(56):1048-1054. <https://doi.org/10.1007/s10600-020-03224-7>

43. Wei X., Zhao Z., Zhong R., Tan X. A comprehensive review of herbacetin: From chemistry to pharmacological activities. *Journal of ethnopharmacology*. 2021;(279):114356. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114356>

44. Dong X., Guo Y., Xiong C., Sun L. Evaluation of two major *Rhodiola* species and the systemic changing characteristics of metabolites of *Rhodiola crenulata* in different altitudes by chemical methods combined with UPLC-QqQ-MS-based metabolomics. *Molecules*. 2020;25(18):4062. <https://doi.org/10.3390/molecules25184062>

45. Yue H., Wang L., Jiang S., Banma C., Jia W., Tao Y., Zhao X. Hypoglycemic effects of *Rhodiola crenulata* (HK. f. et. Thoms) H. Ohba in vitro and in vivo and its ingredient identification by UPLC-triple-TOF/MS. *Food & Function*. 2022;13(3):1659-1667. <https://doi.org/10.1039/D1FO03436G>

• References (in Russ.)

5. Atlas of medicinal plants of Russia. Moscow, Nauka Publ., 2021. 446–449 p. <https://elibrary.ru/dqvivr>

7. State Pharmacopoeia of the Russian Federation. M., 2018. [Electronic resource] URL: <https://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-14-izdaniya> (Accessed 20.02.2024).

20. Savchenko O.M., Babaeva E.Yu. Study of the phenology and seed productivity of golden root (*Sedum roseum* (L.) Scop.) in the central region of the non-chernozem zone of the Russian Federation. *South of Russia: ecology, development*. 2021;16(1):26-35. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-1-98-109>

<https://elibrary.ru/bnphsy>

21. Savchenko O.M., Tsybulko N.S. Exogenous regulation of biological productivity of the golden root (*Sedum roseum* (L.) Scop.). *Agrochemical Herald*. 2021;(3):52-56. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-3-011> <https://elibrary.ru/ovuopn>

23. Savchenko O.M. Efficiency of microfertilizers to increase seed productivity and quality of *Rhodiola rosea* L. seeds depending on the growing season conditions. *Agrarian Russia*. 2020;(2):7-10. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2020-2-7-10>

24. Savchenko O.M., Tsybulko N.S., Samatadze T.E. Comparative study of representatives of different populations of *Sedum roseum* (L.) Scop growing in conditions of field crop rotation. *South of Russia: ecology, development*. 2023;18(2(67)):21-32. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-21-32>

<https://elibrary.ru/dzcyjy>

About the Authors:

Tatiana A. Krol – Cand. Sci. (Agriculture), <https://orcid.org/0000-0003-4642-651X>, SPIN-code: 1620-2290, Correspondence Author, tatianakroll1@gmail.com

Vladimir I. Ossipov – Dr. Sc. (Biology), <https://orcid.org/0000-0002-8383-9965>, SPIN-code: 2871-1592, ossipov@utu.fi

Dmitriy N. Baleev – Cand. Sci. (Agriculture), <https://orcid.org/0000-0002-1228-0594>, SPIN-code: 5487-2926, dbaleev@gmail.com

Об авторах:

Татьяна Анатольевна Кроль – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-4642-651X>, SPIN-код: 1620-2290, автор для переписки, tatianakroll1@gmail.com

Владимир Ионович Осипов – доктор биол. наук, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-8383-9965>, SPIN-код: 2871-1592, ossipov@utu.fi

Дмитрий Николаевич Балеев – кандидат с.-х. наук, зав. лаб., <https://orcid.org/0000-0002-1228-0594>, SPIN-код: 5487-2926, dbaleev@gmail.com

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-61-68>
УДК 635.743:631.531-02:632.38(470.31)

М.В. Топорищева^{1*}, И.Н. Коротких¹,
В.М. Андреевская², А.М. Лисовой²,
У.В. Ерёмина², Е.В. Бондарева²

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» (ФГБНУ ВИЛАР) 117216, Россия, г. Москва, ул. Грина, д. 7

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (ФГБНУ ВНИИФ) 143050, Россия, Московская обл., Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, вл. 5

*Автор для переписки: topmasha@inbox.ru

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы НИР № FGUU-2022-0014 «Формирование, сохранение и изучение биокolleкций генофонда различного направления с целью сохранения биоразнообразия и использования их в технологиях здоровьесбережения» с использованием биообъектов уникальной научной установки «Биокolleкций ФГБНУ ВИЛАР».

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Топорищева М.В.: формулирование идеи, изучение литературы, определение посевных качеств, подготовка материала для статьи. Коротких И.Н.: определение посевных качеств, изучение литературы. Андреевская А.А.: анализ информации, разработка методики. Лисовой А.М.: проведение исследования. Ерёмина У.В.: обеспечение основными расходными материалами (питательные среды, стерильные чашки Петри). Бондарева Е.В.: идентификация фитопатогенов. Все авторы принимали участие в написании статьи.

Для цитирования: Топорищева М.В., Коротких И.Н., Андреевская В.М., Лисовой А.М., Ерёмина У.В., Бондарева Е.В. Влияние микозов на посевные качества семян шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) в Нечерноземной зоне РФ. *Овощи России*. 2024;(4):61-68.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-61-68>

Поступила в редакцию: 07.05.2024

Принята к печати: 10.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

Maria V. Toporishcheva^{1*}, Irina N. Korotkikh¹, Veronika M. Andreevskaya², Alexey M. Lisovoy², Ulyana V. Eremina², Elena V. Bondareva²

¹All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants 7, Grina str., Moscow, Russia, 117216

²All-Russian Research Institute of Phytopathology 5, Institut str., B. Vyazemy, Odintsovo district, Moscow region, 143050, Russia

*Correspondence Author: topmasha@inbox.ru

Funding. The work was carried out within the framework of research topic No. FGUU-2022-0014 “Formation, preservation and study of biocollections of the gene pool of various directions in order to preserve biodiversity and use them in health-preserving technologies” using biological objects of the Unique scientific installation “Biocollections of the FGBNU VILAR”.

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

Authors' Contribution: Toporishcheva M.: formulation of the idea, literature study, determination of seed qualities, preparation of material for the article. Korotkikh I.: determination of seed qualities, literature study. Andreevskaya V.: analyzing information, developing methodology. Lisovoy A.: conducting research. Eremina U.: provision of basic consumables (nutrient media, sterile Petri dishes). Bondareva E.: identification of phytopathogens. All authors participated in writing the article.

For citation: Toporishcheva M.V., Korotkikh I.N., Andreevskaya V.M., Lisovoy A.M., Eremina U.V., Bondareva E.V. The effect of mycoses on sowing qualities of Sage seeds (*Salvia officinalis* L.) in the Non-Chernozem soil zone of the Russian Federation. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):61-68. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-61-68>

Received: 07.05.2024

Accepted for publication: 10.06.2024

Published: 08.07.2024

Влияние микозов на посевные качества семян шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) в Нечерноземной зоне РФ

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Шалфей лекарственный – фармакопейный вид, ценное эфиромасличное растение. Способ закладки плантаций, преимущественно, семенной, при этом посевной материал может сохранять в себе патогенную микрофлору, поэтому целью исследования являлась идентификация возбудителей микозов в семенах шалфея лекарственного.

Материалы и методы. Исследование проводили на образцах из биологической коллекции семян *Salvia officinalis* (в составе Уникальной Научной Установки «Биологические коллекции ФГБНУ ВИЛАР»). Семена 1–5-го и 9-го годов хранения собраны с питомников Опытного поля ФГБНУ ВИЛАР. Исследования по выявлению микозов семян шалфея проводили в ФГБНУ ВНИИФ в инновационной лаборатории микробиологии. Для изучения фитопатогенов семян шалфея лекарственного был использован метод искусственных питательных сред.

Результаты. Из проведенного исследования установлено влияние преобладающего патогена. Грибы рода *Alternaria* при хранении семян в условиях с температурным режимом +20...+22°C оказывают негативное влияние на посевные качества семян. На лабораторную всхожесть и энергию прорастания семян, хранившихся в холодильной камере (0...+5°C), повлияли дрожжи, отмечено значительное снижение посевных качеств. При хранении семян в режиме -18°C, установлено ингибирующее действие температуры на патогены. Установлена зависимость общей зараженности патогенами от условий и срока хранения семян. Наибольший процент поражения семян, хранившихся при комнатной температуре, отмечен в первые 2 года с момента сбора. В семенах, хранившихся 5–9 лет с температурным режимом 0...+5°C и -18°C, развитие патогенных грибов рода *Alternaria*, *Phoma* и *Rhizopus* значительно сократилось. В образце, хранившемся 38 лет в морозильной камере, обнаружены *Rhizopus*, *Cladosporium cladosporioides* и *Clonostachys rosea*. Установлена зависимость набора патогенной микрофлоры семян от предшественника в севообороте. Участки, с которых были собраны семена, кроме образца с Крымской зональной опытной станцией ВИЛР, имеют разных предшественников. В семенах с первого участка отмечен наибольший процент поражения грибами со сходным составом патогенов. Общая зараженность и состав патогенов на втором участке сократились. Образец с третьего участка хранился 5 лет в морозильной камере и микозов семян в нем не выявлено.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

шалфей лекарственный, *Salvia officinalis*, микоз, первичные источники заражения семян, состав патогенной микрофлоры семян, посевные качества семян

The effect of mycoses on sowing qualities of Sage seeds (*Salvia officinalis* L.) in the Non-Chernozem soil zone of the Russian Federation

ABSTRACT

Relevance. Medicinal sage is a pharmacopoeial species, a valuable essential oil plant. The method of plantation establishment is predominantly seed-based, and the seed material can retain pathogenic microbiota, so the purpose of the study was to identify mycosis pathogens in the seeds of medicinal sage.

Materials and methods. The study was carried out on samples from the biological collection of *Salvia officinalis* seeds (as part of the Unique Scientific Installation “Biological Collections of the All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”). Seeds of the 1st–5th and 9th years of storage were collected from the nurseries of the Experimental Field of the All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants. Research to identify mycoses of sage seeds was carried out at the All-Russian Research Institute of Phytopathology in the innovative laboratory of microbiology. To study the phytopathogens of *Salvia officinalis* seeds, the method of artificial nutrient media was used.

Results. From the study conducted, the effect of predominant pathogen was established. Fungi of the genus *Alternaria*, when seeds are stored in conditions with a temperature regime of +20...+22°C, have a negative effect on the sowing quality of seeds. Laboratory germination and germination energy of seeds stored in the cold room (0...+5°C) were affected by yeast, a significant decrease in sowing qualities was observed. When seeds were stored in -18°C, the inhibitory effect of temperature on pathogens was found. The dependence of total pathogen infestation on the conditions and term of seed storage was established. The highest percentage of infestation in seeds stored at room temperature was observed in the first 2 years from the time of collection. The development of pathogenic fungi of *Alternaria*, *Phoma* and *Rhizopus* genus was significantly reduced in seeds stored for 5 to 9 years with temperature conditions of 0...+5°C and -18°C. *Rhizopus*, *Cladosporium cladosporioides* and *Clonostachys rosea* were found in the sample stored for 38 years in the freezer. The dependence of the set of pathogenic microbiota of seeds on the predecessor in the crop rotation was established. The plots from which seeds were collected, except for the sample from the Crimean zonal experimental station of VILR, have different predecessors. The seeds from the first plot showed the highest percentage of fungal infestation with similar pathogen composition. Total infestation and pathogen composition decreased in the second plot. The sample from the third plot was stored for 5 years in the freezer and no seed mycoses were detected in it.

KEYWORDS:

medicinal sage, *Salvia officinalis*, mycosis, primary sources of seed infection, composition of pathogenic microbiota of seeds, sowing qualities of seeds

Введение

Шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) – фармакопейный вид, многолетнее эфиромасличное растение семейства Яснотковые (*Lamiaceae*). Шалфей выращивают для получения лекарственного растительного сырья (лист) и эфирного масла (верхушки соцветий). Для производства качественного сырья подробно изучены особенности агротехники, в том числе идентифицированы основные болезни, которыми поражается растение. Грибные заболевания (микозы) приводят к угнетению роста и развития растений, снижению урожайности сырья и уменьшению количества эфирного масла [1,3]. В Вознесенском филиале ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК были идентифицированы: мучнистая роса – *Erysiphe labiatarum* Chev. f. *Salvia* Jacz., ржавчина – *Puccinia salviae* Unger., корневые гнили – *Thielaviopsis basicola* (Berk. et Br.) Fen., гриб *Pythium debaryanum* Hesse [2]. Также встречается информация о поражении грибами рода *Alternaria*, вызывающем альтернариоз, *Septoria* – возбудителем септориоза, *Peronospora* – возбудителем ложной мучнистой росы, или пероноспороза, и грибами рода *Ramularia*, вызывающими рамуляриоз (сухую ржавую гниль корней) [3]. Грибы рода *Alternaria* идентифицированы среди представителей рода *Salvia* в Польше, Сербии (независимо от части растения) [4, 5]. Также род *Trichoderma* встречается в растении, преимущественно в его корнях [6]. Возбудители рода *Erysiphe* наносят значительный ущерб плантациям шалфея в Италии и Испании [7]. Негативное воздействие на сырье и эфирное масло шалфея лекарственного оказывают микотоксины, которые образуют в том числе грибы рода *Alternaria*. Они связываются с биологически активными веществами (БАВ) сырья и образуют с ними нерастворимые комплексы, которые затрудняют их выделение, снижая рентабельность производства средств из лекарственного растительного сырья [3].

Основной способ закладки сырьевых плантаций шалфея лекарственного – семенной, при этом семена могут быть источником первичной инфекции, то есть сохранять и переносить возбудителей заболеваний. Авторы из Литвы отметили снижение посевных качеств семян шалфея лекарственного при заражении грибами рода *Alternaria* [8]. Многие возбудители микозов шалфея лекарственного сохраняются в почве, поэтому могут накапливаться в месте произрастания этого многолетника.

Из этого следует, что вероятность поражения семян патогенами высока, однако их влияния на посевные качества семян шалфея лекарственного в Нечерноземной зоне РФ мало изучены.

Целью исследования являлось определение возбудителей микозов, сохраняющихся в семенах шалфея лекарственного и оценка их влияния на посевные качества семян.

Материалы и методы

Исследование проводили на образцах из биологической коллекции семян *S. officinalis* (в составе Уникальной Научной Установки «Биологические коллекции ФГБНУ ВИЛАР»). Семена 1–5-го и 9-го годов хранения собраны с питомников Опытного поля ФГБНУ ВИЛАР. Питомники закладывали по 1-2-летнему черно-

му пару, более ранними предшественниками были: 1. чернушка дамасская (*Nigella damascene* L.), ромашка аптечная (*Matricaria chamomilla* L.), ослинник двулетний (*Oenothera biennis* L.); 2. разные многолетние ботанические посевы; 3. зюзник европейский (*Lycopus europaeus* L.).

Образец со сроком хранения 38 лет получен с Крымской зональной опытной станции ВИЛР. Семена 2022 и 2023 года сбора хранили в лабораторных условиях при комнатной температуре 20...22°C (образцы №42, №В-15, №В-7, №44, №КР-1, №БЦ-3, №34). Семена, срок хранения которых составляет 3,4 и 9 лет, хранили в условиях холодильной камеры с температурным режимом 0...+5°C (образцы №23, №30, №24, №19). Образцы №10, №15 и №14 хранили в морозильной камере с температурным режимом -18°C в течение 3, 5 и 38 лет, соответственно.

Для определения влажности навеску семян ≈1 г засыпали в алюминиевый бокс, взвешивали в боксе, высушивали 2 часа в сушильном шкафу при температуре 130°C, взвешивали после высушивания. Влажность находили по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100,$$

где W – влажность семян, %, m_1 – масса навески до высушивания, г, m_2 – масса навески после высушивания, г.

Определение посевных качеств проводили по ГОСТ 12038 – 84. Посев был проведен в чашки Петри на фильтр – бумагу. Учет проросших семян проводили каждые 3–4 дня в течение 14 суток, энергию прорастания определили на 8-е сутки. Температура воздуха в помещении поддерживалась на уровне +23...+25°C, освещенность в светлое время суток 1200–1500 Lux.

Исследования по выявлению микозов семян шалфея проводили в ФГБНУ ВНИИФ в инновационной лаборатории микробиологии. Для изучения фитопатогенов семян шалфея лекарственного был использован метод искусственных питательных сред. Для этого в стерильные чашки Петри заливали расплавленную среду Картофельно-глюкозный агар (КГА), после её застывания на поверхность среды раскладывались семена, предварительно стерилизованные в спирте (90%), по 5 шт. в одну чашку. Затем чашки культивировали при 24°C в термостате, при появлении первых колоний проводили идентификацию грибов по морфологическим признакам [9]. Поражение патогеном определяли, как отношение числа зараженных семян к числу всех семян в чашке Петри, выраженное в процентах. Опыт проводился в двух повторностях. Описания родов грибов дано по учебно-методическому пособию «Методы изучения разнообразия грибов в наземных и водных экосистемах» [10].

Результаты и обсуждение

По результатам определения посевных качеств семян исследуемых образцов, в первый год хранения семян при комнатной температуре всхожесть и энергия прорастания практически совпадают (30% ± 8,7 и 27,5% ± 8,7). Ко второму году хранения в тех же усло-

Таблица 1. Посевные качества и общая зараженность фитопатогенами семян шалфея лекарственного *Salvia officinalis* L. в зависимости от сроков и режимов хранения
 Table 1. Seed quality and total phytopathogen infestation of *Salvia officinalis* L. seeds depending on storage periods and regimes

Образец	Год сбора	Срок хранения (лет)	Условия хранения	Всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Влажность семян, %	Общая зараженность семян, %
№В-7	2023	1	20...22 °С	34	28	6,5	30
№В-15	2023	1	20...22 °С	26	25	6,5	50
№КР-1	2023	1	20...22 °С	40	39	6,1	70
№БЦ-3	2023	1	20...22 °С	20	18	7,2	80
№42	2022	2	20...22 °С	86	79	6,2	70
№44	2022	2	20...22 °С	55	41	6,4	80
№34	2022	2	20...22 °С	62	61	5,5	80
№24	2021	3	5°С	83	83	5,9	30
№10	2021	3	-18°С	60	59	6,1	10
№19	2020	4	5°С	90	90	5,9	70
№15	2019	5	-18°С	81	73	5,7	0
№23	2015	9	5°С	7	7	6,2	50
№30	2015	9	5°С	17	17	5,6	70
№14	1986	38	-18°С	78	74	5,3	90

виях всхожесть и энергия прорастания возрастают до $67,7\% \pm 16,3$ и $60,3\% \pm 19,0$, вероятно это связано с окончанием периода послеуборочного дозревания. На 3, 4 и 5 год хранения в условиях холодильной ($0...+5^{\circ}\text{C}$) и морозильной камеры (-18°C) всхожесть и энергия прорастания $78,5\% \pm 12,9$ и $76,3\% \pm 13,5$. К 9 году хранения при низкой положительной температуре значения показателей всхожести и энергии прорастания сильно снижаются до 7% и 17%, при этом образец 1986 года сбора при долговременном хранении в морозильной камере с температурным режимом -18°C имеет всхожесть и энергию прорастания на уровне 78% и 74%, соответственно (табл. 1).

Влажность семян по всем образцам составила $6,3\% \pm 1,3$, что соответствует требованию к этому показателю в ГОСТ 32592 – 2013 и ГОСТ 58472-2019.

Снижения всхожести и энергии прорастания при повышении общей зараженности семян не обнаружено. Лабораторная всхожесть и энергия прорастания, при хранении с температурным режимом $+20...+22^{\circ}\text{C}$, снижается в образцах, где семена заражены преимущественно грибами рода *Alternaria* ($\geq 30\%$) и находятся в пределах от 20% до 40% (всхожесть) и от 18% до 39% (энергия прорастания). В ином случае снижение незначительно или его совсем нет.

В хранившихся в холодильной камере ($0...+5^{\circ}\text{C}$) образцах, где идентифицированы дрожжи, отмечено

снижение лабораторной всхожести и энергии прорастания (от 7% до 17% соответственно). В оставшихся образцах, вероятно, низкие положительные температуры затормозили развитие патогенов, в том числе рода *Alternaria*, поэтому показатели посевных качеств остались на высоком уровне.

При хранении в морозильной камере (-18°C), посевные качества семян от 60% до 81% (всхожесть) и от 59% до 74% (энергия прорастания), что также может говорить о фунгистатическом воздействии низких температур на грибы в семенах шалфея лекарственного.

На основе проведенных исследований были идентифицированы грибы: *Alternaria alternata*, *Alternaria* sp, *Phoma* sp, *Mucor* sp, *Rhizopus* sp, *Trichoderma* sp, *Cladosporium cladosporioides*, *Aspergillus niger*, *Trichotecium roseum*, *Clonostachys rosea* (см. табл.2).

Alternaria alternate – это гриб, вызывающий пятнистость листьев, поражение генеративных органов, корневые гнили. Патоген поражает более чем 380 видов растений-хозяев. Виды *Alternaria* были выявлены на очень широком спектре субстратов растительного происхождения. Часть видов – сапротрофы, однако большинство же – паразиты с некротрофным способом питания, различной специализацией и степенью паразитизма (от факультативных паразитов до факультативных сапротрофов). Имеют многоклеточные конидии с перегородками [11].

Phoma – род целомикетных почвенных грибов, содержащих много фитопатогенов. Споры бесцветные и одноклеточные. Пикниды черного цвета и вдавлены в ткани хозяина. *Phoma* произвольно ограничивается теми видами, у которых размер спор составляет менее 15 мкм [11].

Mucor – это род грибов, включающий около 40 видов. Они обычно встречаются в почве, в растениях, гнилых растительных остатках и оксиде железа, образующегося в процессе биосорбции. Споры или спорангиоспоры могут быть простыми или разветвленными и образовывать апикальные, шаровидные спорангии, которые поддерживаются и возвышаются столбчатой колумеллой [11].

Rhizopus род сапрофитных многоклеточных грибов паразитов растений. Виды *Rhizopus* растут в виде нитевидных, ветвящихся гифов, у которых обычно отсутствуют поперечные стенки. Они размножаются путем образования бесполого и полового спор. При бесполом размножении спорангиоспоры образуются внутри сферической структуры, спорангия. При половом размножении темная зигоспора образуется в точке, где сливаются два совместимых мицелия. Вызывает корневые гнили и плодовые гнили [11].

Cladosporium cladosporioides – распространенный фитопатоген. Считается исключительно анормальным видом. Данный вид образует бесполое споры в виде тонких разветвленных цепочек, которые легко распадаются и распространяются по воздуху. Он способен расти в условиях низкого содержания воды и при очень низких температурах [11].

Aspergillus niger обычно встречается в обычных мезофильных средах, таких как почва, растения. Они не только ксерофильные грибы, но и термото-

лерантный организм. Благодаря этому свойству нитевидные грибы проявляют высокую устойчивость к низким температурам.

Trichothecium roseum гриб из отряда Ascomycota. Характеризуется плоскими и зернистыми колониями, которые изначально белые, а в дальнейшем приобретают светло-розовый цвет. Этот гриб размножается бесполом путем образования конидий. *Trichothecium roseum* отличается от других видов рода *Trichothecium* характерными цепочками с зигзагообразным рисунком конидий. Может расти в самых разных средах обитания, начиная от опавших листьев и заканчивая плодовыми культурами. *Trichothecium roseum* продуцирует широкий спектр вторичных метаболитов, включая микотоксины, которые могут поражать и портить различные плодовые культуры [11].

Clonostachys rosea грибов семейства Bionectriaceae. Он колонизирует живые растения как эндофит, является сапрофитом, а также известен как паразит других грибов и нематод. Он продуцирует широкий спектр летучих органических соединений, которые токсичны для организмов, включая другие грибы, бактерии и насекомых, и представляет интерес как средство биологической борьбы с вредителями и фитопатогенами [11].

Дрожжи – это грибы способные вегетативно размножаться в вегетативной форме. На растениях они чаще всего являются эндофитами или сапротрофами, разлагающие растительные остатки. Они являются наиболее типичными обитателями природных субстратов, характеризующихся высоким содержанием легкодоступных питательных веществ (сахаров, сахароспиртов, органических кислот и т.п.) [12].

Таблица 2. Состав патогенной микробиоты семян шалфея лекарственного *Salvia officinalis* L., %
Table 2. Composition of pathogenic microbiota of *Salvia officinalis* L. seeds, %

Образец	Дрожжи	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Phomas</i>	<i>Mucor</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Trichoderma</i>	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Trichothecium roseum</i>	<i>Clonostachys rosea</i>
№В-7	0	30	0	10	0	0	0	0	0	0	0
№В-15	0	20	20	0	0	0	10	0	0	0	0
№КР-1	0	30	20	10	0	0	0	10	0	0	0
№БЦ-3	0	30	20	0	0	10	0	20	0	0	0
№42	0	20	10	40	0	0	0	0	0	0	0
№44	0	0	20	0	40	20	0	0	0	0	0
№34	0	0	0	0	0	60	0	0	20	0	0
№24	0	0	0	20	0	0	0	0	10	0	0
№10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
№19	0	40	20	0	0	0	0	0	0	10	0
№15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
№23	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
№30	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
№14	30	0	0	0	0	30	0	0	0	10	20

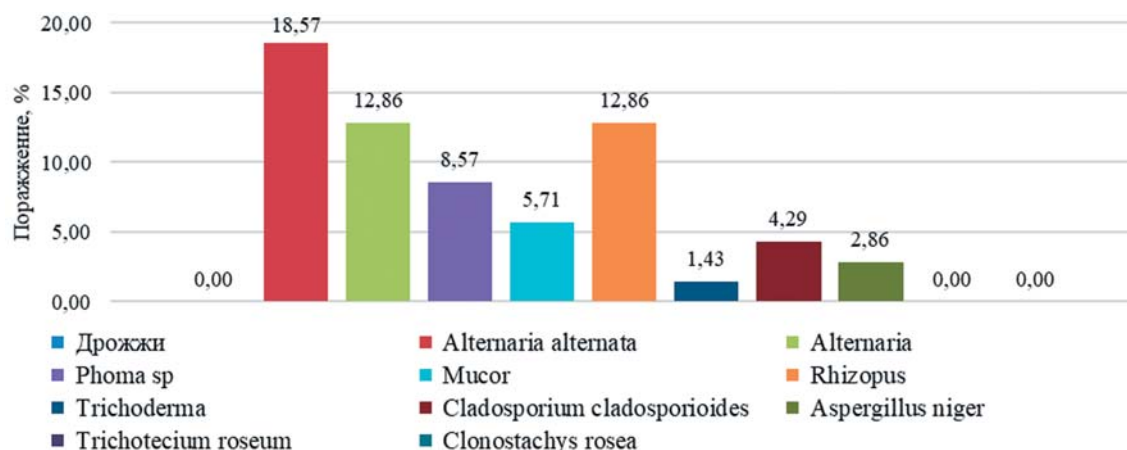


Рис. 1. Процент зараженных семян со сроком хранения 1 - 2 года при комнатной температуре
Fig. 1. Percentage of infected seeds when stored for 1 - 2 years at room temperature

Сильнее всего заражены образцы 1 и 2 года хранения при комнатной температуре. Основные патогены родов *Alternaria*, *Phoma* и *Rhizopus* (рис. 1).

Состав патогенной микробиоты в 3-5 год после сбора сократился на *Mucor*, *Trichoderma* и *Cladosporium cladosporioides* относительно семян со сроком хранения 1-2 года (рис. 2). Данные образцы хранились в условиях холодильной

камеры с температурным режимом +5 °C (№24 и №19) и в морозильной камере с температурным режимом -18°C (№10 и №15).

В образцах, хранившихся 9 лет в холодильной камере, выявлены только дрожжи и *Clonostachys rosea* (рис.3).

При длительном хранении семян в условиях морозильной камеры с температурным режимом -

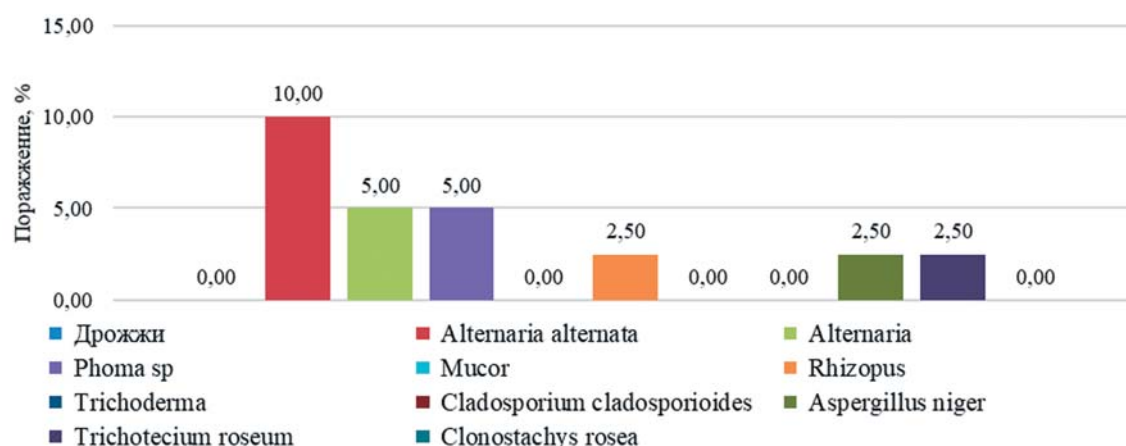


Рис. 2. Процент зараженных семян со сроком хранения 3-5 лет в условиях холодильной и морозильной камеры
Fig. 2. Percentage of infected seeds with 3-5 years shelflife in cold storage and freezer conditions

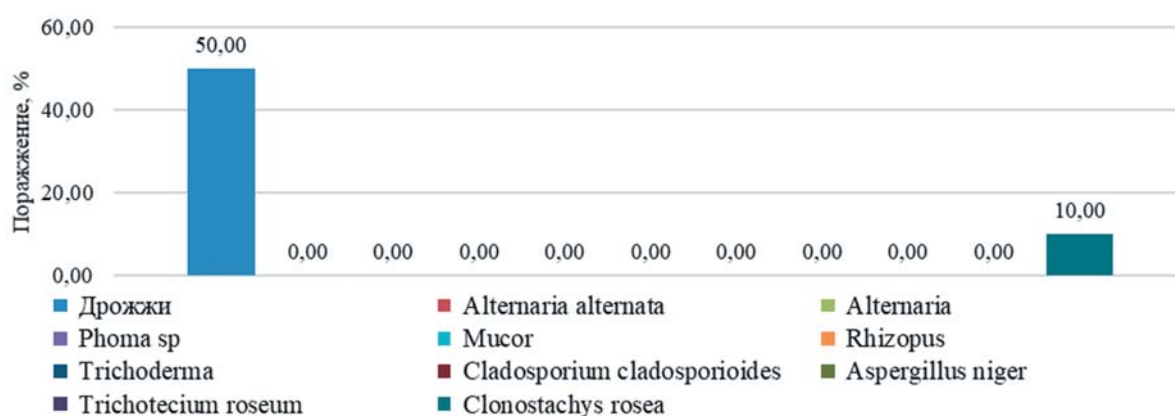


Рис. 3. Процент заражения семян со сроком хранения 9 лет в условиях холодильной камеры
Fig. 3. Percentage of infestation of seeds with shelflife of 9 years under cold storage conditions

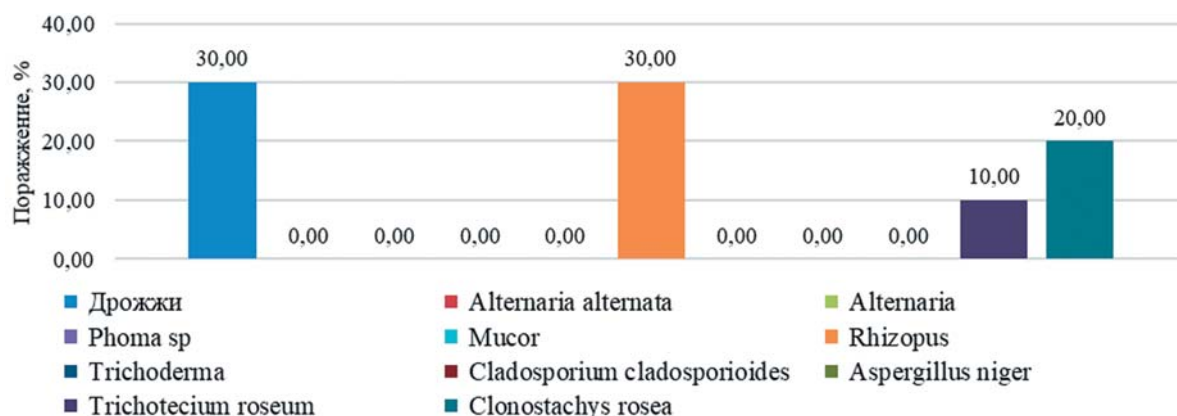


Рис. 4. Процент заражения семян со сроком хранения 38 лет в условиях морозильной камеры
Fig. 4. Percentage of infestation of seeds with a shelflife of 38 years under freezer conditions

18°C образца, полученного с Крымской зональной опытной станции ВИЛР в 1980-х годах в семенах обнаружены дрожжи, *Rhizopus*, *Cladosporium cladosporioides* и *Clonostachys rosea* (рис. 4), также стоит отметить, что набор патогенов в семенах с Крымской ЗОС отличается от семян, собранных с Опытного поля ФГБНУ ВИЛАР.

Несмотря на длительное хранение семян в условиях низких и пониженных температур, степень заражения грибами увеличивается, так при хранении 1-2 года с температурным режимом 20...22°C средняя степень заражения по патогенам составила $8,4 \pm 5,9\%$ и 3-5 лет в низких и пониженных температурах $4,6 \pm 2,9\%$. При хранении в холодильной и морозильной камере заражение семян сильно возрастает – до $30,0 \pm 28,3\%$ при 9 годах хранения в холодильнике и до $22,5 \pm 9,6\%$ в морозильной камере в течение 38 лет. Это говорит о том, что с понижением температуры хранения жизнеспособность гриба в семенах сохраняется в течение длительного времени, но мицелий прорастает медленнее при температуре 0...2°C, однако при температурном режиме ниже 0°C (морозильная камера) их рост останавливается, так как идентифицированные грибы не являются криофильными,

то есть не относятся к группе грибов, которые проводят весь жизненный цикл или его часть в среде, где вода существует в замороженном состоянии [1, 13].

Также прослеживается зависимость от состава предшественников на участках, с которых собирали семена. Номера 42, 44, В-15, В-7, КР-1, БЦ-3 расположены на одном участке. Несмотря на то, что поражения патогенами вегетирующих растений не обнаружено, семена их заражены грибами, относящимися к родам *Alternaria*, *Phoma*, *Rhizopus* и *Mucor* (рис. 5). У этих образцов схожий набор патогенов. Предшественники, перечисленные выше, также склонны к заражению данными грибами, таким образом не исключается тенденция к их накоплению в почве. При этом, патогены не устраняются при содержании участка в 1-2-летнем черном пару.

В семенах со второго участка, где предшественниками были черный пар и многолетние ботанические посевы, немного сократился состав выявленных грибов (дрожжи и еще 4 рода). Отмечено заражение преимущественно *Alternaria* и *Phoma* (см. рис.6). Исходя из этого, можно предположить, что лекарственные культуры-предшественники оказывают влияние на состав патогенов в почве.

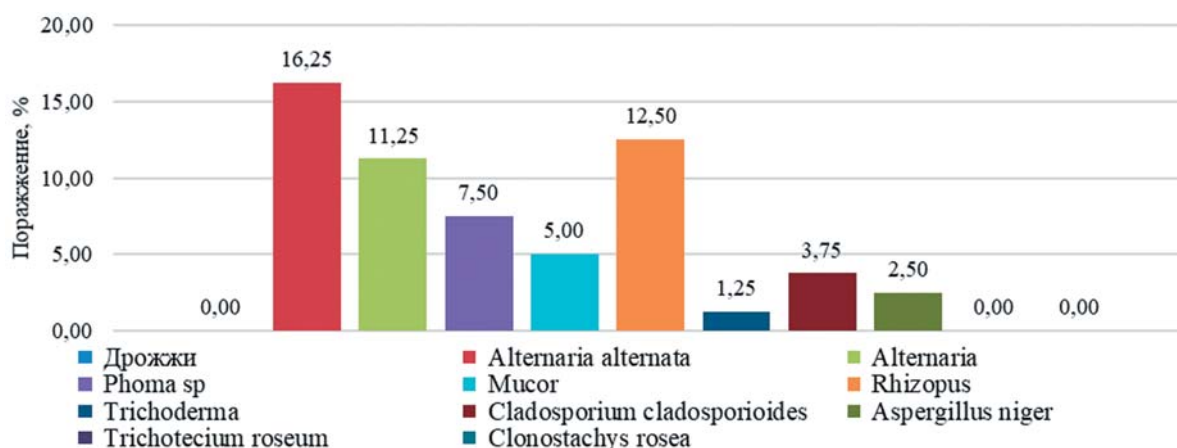


Рис. 5. Средние значения заражения семян на 1-ом участке
Fig. 5. Average values of seed infestation in plot 1

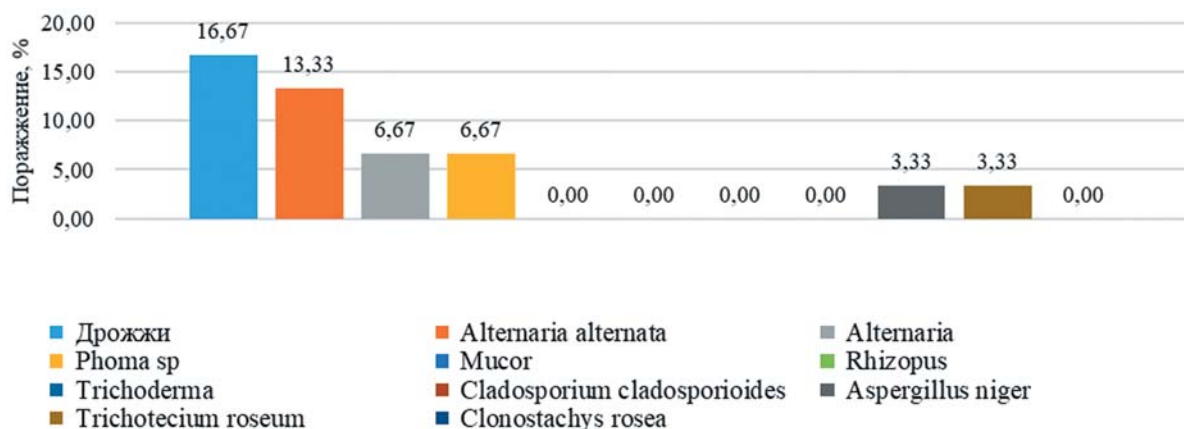


Рис. 6. Средние значения заражения семян на 2-ом участке
Fig. 6. Average values of seed infestation in plot 2

В образце с третьего участка заражения обнаружено не было (предшественник – зюзник европейский).

Как показал анализ, семена с первого участка (1-3 годов хранения) имеют наибольший процент поражения грибами, разброс по всхожести и энергии прорастания составляет 42 ± 26 % (от 20% до 86%) и 39 ± 24 % (от 18% до 79%), соответственно, что является низким показателем. Разнообразие предшественников оказало влияние на видовой состав грибов в семенах со второго участка, при этом отмечена наибольшая всхожесть и энергия прорастания (86 ± 5 % по обоим показателям на семенах 3-4 годов хранения в холодильной камере). На третьем участке семена здоровые, микозов не выявлено. Всхожесть и энергия прорастания семян на высоком уровне (81% и 73%), стоит также отметить – образец хранился 5 лет в морозильной камере, что могло оказать фунгистатическое воздействие.

Выводы

Установлено влияние преобладающего патогена на посевные качества семян шалфея лекарственного. В образцах, хранившихся при комнатной температуре, отмечено снижение посевных качеств при заражении преимущественно грибами рода *Alternaria*. При хранении в температурном режиме $0...+5^{\circ}\text{C}$, значительное снижение посевных качеств отмечено в образцах, где преобладает заражение дрожжами. Семена из морозильной камеры (-18°C) имеют показатели посевных качеств выше, чем при хранении в холодильной камере, что говорит о значительном снижении активности грибов и дрожжей при воздействии низких температур.

Установлена зависимость общей зараженности патогенами от условий и срока хранения семян. Наибольшее поражение семян отмечено в первые 2 года с момента сбора и при хранении в комнатной температуре. К 5-ому году хранения степень поражения снижается, при условии сохранения температурного режима на уровне $0...+5^{\circ}\text{C}$ и -18°C . К 9-ому году хранения семян в холодильной камере при пониженной положительной температуре

состав грибов меняется (дрожжи и *Clonostachys rosea*). Вероятно, долговременное воздействие пониженной положительной температуры ($0...+5^{\circ}\text{C}$) сильно затормозило развитие патогенных грибов рода *Alternaria*, *Phoma* и *Rhizopus*, которые были основными патогенами, найденными в семенах, хранившихся при комнатной температуре, а также в холодильной и морозильной камерах до 5-ти лет. В образце, хранившемся 38 лет в морозильной камере, обнаружены *Rhizopus*, *Cladosporium cladosporioides* и *Clonostachys rosea*. Грибы находились в латентной форме и при оптимальной температуре и влажности проросли.

Установлена зависимость набора патогенной микробиоты семян от предшественника. Семена с первого участка имеют наибольший процент поражения грибами со сходным составом. Общая зараженность немного ниже на втором участке, предшественники на участках различны, при этом состав патогена изменился (сократился). На третьем участке микозов семян не выявлено (образец хранился 5 лет в морозильной камере).

Семена шалфея лекарственного в Нечерноземной зоне РФ сохраняют возбудителей грибных заболеваний, преимущественно относящихся к родам *Alternaria*, *Phoma* и *Rhizopus*. Особое внимание следует уделять подбору предшественников для семенных участков шалфея в севообороте, так как сами растения могут не иметь заболеваний, вызванных этими патогенами, но это не исключает их накопления в почве и семенах.

Исходя из выше сказанного, споры грибов могут сохранять свою жизнеспособность даже при долговременном хранении с температурным режимом -18°C . Семена, содержащие семенную инфекцию, могут быть заражены и грибами, вырабатывающими микотоксины (*Alternaria*), токсичными для шалфея лекарственного и окружающих его видов. Необходимо исследовать и подобрать препараты для предпосевного протравливания семян шалфея лекарственного, так как на сегодняшний день нет ни одного разрешенного к применению на территории РФ препарата по данной культуре.

• Литература

1. Шкаликов В.А., Белошапкина О.О., Букреев Д.Д. Защита растений от болезней. 3-е изд., испр. и доп. М.: КолосС, 2010. 404 с. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-179-188>
<https://elibrary.ru/qkwblt>
2. Саенко Г.М., Шуваева Т.П., Гайтотина И.В. Болезни мяты (*Mentha* L.), лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* Mill.) и шалфея мускатного (*Salvia sclarea* L.) в коллекции ВНИИМК (обзор). *Масличные культуры*. 2019;(4):179-188. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-179-188>
<https://elibrary.ru/euqlqu>
3. Белошапкина О.О., Бабаева Е.Ю. Защита от болезней лекарственных растений. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 120 с. <https://elibrary.ru/qqlczt>
4. Zimowska Be., Bielecka M., Abramczyk B., Nicoletti R. Bioactive products from endophytic fungi of sages (*Salvia* spp.). *Agriculture*. 2020;10(11):543. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110543>
5. Stojanovic S., Pavlović S., Acimovic M., Aleksić G. et al. Fungi on sage seed in Serbia and their effect to seed germination. 4th Conference on Medicinal and Aromatic Plants of South-East European Countries. 2006. Section 1. p. 210–213. URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20133311441>
6. Schulz M., Knop M., Muellenborn C., Steiner U. Root-associated microorganisms prevent caffeine accumulation in shoots of *Salvia officinalis* L. *International Journal of Agriculture and Forestry*. 2013;(3):152-158. <https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20130304.05>
7. Zimowska B. et al. Fungi threatening the cultivation of sage (*Salvia officinalis* L.) in south-eastern Poland. *Herba Pol.* 2008;54(1):15-24.
8. Chrapačienė S., Rasiukevičiūtė N., Valiūškaitė A. Control of seed-borne fungi by selected essential oils. *Horticulturae*. 2022;8(3):220. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030220>
9. Watanabe T. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species. Second Edition. 2002. by CRC Press LLC. <https://doi.org/10.1201/9781420040821>
10. Кураков А.В., Кокаева, Л.Ю. Методы изучения разнообразия грибов в наземных и водных экосистемах. Москва: Общероссийская общественная организация Общественная национальная академия микологии, 2023. 128 с.
11. Великанов Л.Л., Гарибова Л.В., Дьяков Ю.Т. и др. Ботаника. Курс альгологии и микологии. Москва: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова Издательский Дом (типография), 2007. 559 с. ISBN 978-5-211-05336-6. <https://elibrary.ru/sugzir>
12. Бабьева И.П., Чернов И.Ю. Биология дрожжей. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2004. 221 с.
13. Ткаченко О.Б., Хошино Т. Криофильные грибы и оомицеты, их особенности. *Микология и фитопатология*. 2014;48(4):215-219. <https://elibrary.ru/skielx>

• References

1. Shkalikov V.A., Beloshapkina O.O., Bukreev D.D. Protection of plants from diseases. M.: KolosS, 2010. 404 p. (In Russ.) <https://elibrary.ru/qkwblt>
2. Saenko G.M., Shuvaeva T.P., Gajtotina I.V. Diseases of mint (*Mentha* L.), lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) and clary sage (*Salvia sclarea* L.) in VNIIMK's collection (REVIEW). *Oil crops*. 2019;(4):179-188. (In Russ.) <https://elibrary.ru/euqlqu>
<https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-179-188>
3. Beloshapkina O.O., Babaeva E.Yu. Protection against diseases of medicinal plants. M.: Publishing house RGAU-MSHA, 2012. 120 p. (In Russ.) <https://elibrary.ru/qqlczt>
4. Zimowska Be., Bielecka M., Abramczyk B., Nicoletti R. Bioactive products from endophytic fungi of sages (*Salvia* spp.). *Agriculture*. 2020;10(11):543. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110543>
5. Stojanovic S., Pavlović S., Acimovic M., Aleksić G. et al. Fungi on sage seed in Serbia and their effect to seed germination. 4th Conference on Medicinal and Aromatic Plants of South-East European Countries. 2006. Section 1. p. 210–213. URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20133311441>
6. Schulz M., Knop M., Muellenborn C., Steiner U. Root-associated microorganisms prevent caffeine accumulation in shoots of *Salvia officinalis* L. *International Journal of Agriculture and Forestry*. 2013;(3):152-158. <https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20130304.05>
7. Zimowska B. et al. Fungi threatening the cultivation of sage (*Salvia officinalis* L.) in south-eastern Poland. *Herba Pol.* 2008;54(1):15-24.
8. Chrapačienė S., Rasiukevičiūtė N., Valiūškaitė A. Control of seed-borne fungi by selected essential oils. *Horticulturae*. 2022;8(3):220. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030220>
9. Watanabe T. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species. Second Edition. 2002. by CRC Press LLC. <https://doi.org/10.1201/9781420040821>
10. Kurakov A.V., Kokaeva, L.Yu. Methods for studying the diversity of fungi in terrestrial and aquatic ecosystems. Moscow: All-Russian public organization Public National Academy of Mycology, 2023. 128 p. (In Russ.)
11. Velikanov L.L., Garibova L.V., Dyakov Yu.T. and others. Botany. Algology and mycology course. Moscow: Moscow State University named after M.V. Lomonosov Publishing House (printing house), 2007. 559 p. ISBN 978-5-211-05336-6. <https://elibrary.ru/sugzir> (In Russ.)
12. Babeva I.P., Chernov I.Yu. Biology of yeast. M.: Partnership of scientific publications KMK. 2004. 221 p. (In Russ.)
13. Tkachenko O.B., Hoshino T. Cryophilic fungi and oomycetes and their peculiarities. *Mycology and phytopathology*. 2014;48(4):215-219. (In Russ.) <https://elibrary.ru/skielx>

Об авторах:

Мария Владимировна Топорищева – младший научный сотрудник, SPIN-код: 9038-2915, <http://orcid.org/0009-0000-1457-9672>, автор для переписки, topmasha@inbox.ru

Ирина Николаевна Коротких – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, SPIN-код: 1796-8340, <http://orcid.org/0000-0002-0954-9353>

Вероника Максимовна Андреевская – младший научный сотрудник, nikaandreevskai@yandex.ru, SPIN-код: 1603-4570, <http://orcid.org/0009-0006-7371-4591>

Алексей Михайлович Лисовой – бакалавр 3 курса, <http://orcid.org/0009-0003-3364-3336>

Ульяна Валентиновна Ерёмкина – бакалавр 3 курса, <http://orcid.org/0009-0000-4369-2367>

Елена Викторовна Бондарева – младший научный сотрудник, SPIN-код: 7691-9168, <http://orcid.org/0009-0003-3364-3336>

About the Authors:

Maria V. Toporishcheva – Junior Researcher, SPIN-code: 9038-2915, <http://orcid.org/0009-0000-1457-9672>, Correspondence Author, topmasha@inbox.ru

Irina N. Korotkikh – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, SPIN-code: 1796-8340, <http://orcid.org/0000-0002-0954-9353>

Veronika M. Andreevskaya – Junior Researcher, nikaandreevskai@yandex.ru, SPIN-code: 1603-4570, <http://orcid.org/0009-0006-7371-4591>

Alexey M. Lisovoy – 3rd year Bachelor, <http://orcid.org/0009-0003-3364-3336>

Ulyana V. Eremina – 3rd year Bachelor, <http://orcid.org/0009-0002-9024-6647>

Elena V. Bondareva – Junior Researcher, SPIN-code: 7691-9168, <http://orcid.org/0009-0003-3364-3336>

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-69-79>
УДК: (635.132+635.11):581.192.1

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

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

Вклад авторов: Белова С.В.: проведение исследований диагностики минерального питания моркови и свёклы столовой, проведение лабораторной оценки, работа с литературой, подготовка материалов для статьи, анализ полученных результатов, статистическая обработка данных.

Для цитирования: Белова С.В. Диагностика минерального питания моркови и свёклы столовой при органической и минеральной системах удобрения. *Овощи России*. 2024;(4):69-79. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-69-79>

Поступила в редакцию: 15.05.2024

Принята к печати: 18.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

Sofia V. Belova^{1,2*}

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FVSC) 14, Selektsionnaya str., VNISSOK, 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

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

Authors' Contribution: Belova S.V.: carrying out researches of diagnostics of mineral nutrition of carrots and red beet, carrying out laboratory estimation, work with literature, preparation of materials for manuscript, analysis of the received results, statistical processing of data.

For citation: Belova S.V. Diagnostics of mineral nutrition of carrot and red beet at organic and mineral fertilization systems. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):69-79. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-69-79>

Received: 15.05.2024

Accepted for publication: 18.06.2024

Published: 08.07.2024

Диагностика минерального питания моркови и свёклы столовой при органической и минеральной системах удобрения

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В переходе к высокопродуктивному и экологически чистому, в частности, органическому, сельскому хозяйству и производству безопасной и качественной продукции, что является приоритетным направлением стратегий научно-технического развития РФ, одним из необходимых звеньев является создание и контроль оптимальных условий питания растений, т.е. обеспеченности растений питательными веществами в нужном сочетании в течение всей вегетации. Достижение таких условий возможно за счет проведения почвенной и растительной диагностики питания, которая в свою очередь позволяет установить способность культур усваивать питательные вещества из почвы и корректировать дозы минеральных удобрений в качестве подкормок.

Материал и методика. На аллювиальной луговой почве в условиях Нечернозёмной зоны России изучали эффективность корневых подкормок макроэлементами (NPK) по итогам растительной и почвенной диагностики питания столовых корнеплодов при выращивании на органической и минеральной системах удобрений. Растительную и почвенную диагностику минерального питания проводили по методике Церлинг В.В. (1990) и Магницкого К.П. (1972). В ходе опыта испытывали две культуры: свёкла столовая сорта Мулатка и морковь столовая сорта Лосиноостровская 13.

Результаты и обсуждения. Корневые подкормки на основе диагностики питания по анализу почвы и черешка листа растений внесли существенные изменения в динамику основных питательных элементов в почве, была зафиксирована прибавка нитратного азота и подвижного калия в сравнении с контрольным вариантом, при естественной обеспеченности почвы подвижным фосфором (250 мг/кг), что положительно отразилось на корневом питании растений. При основном внесении минеральных и органических (биокомпост БИУД) удобрений, корневых подкормок по диагностике питания получена урожайность моркови 51,2-63,9 т/га со стандартностью 87,4-94,6%, свёклы столовой 41,7-54,2 т/га со стандартностью 80,7-92,3%. Корневая подкормка моркови по почвенной диагностике $N_{52}K_{14}$ на фоне биокомпоста дала 24,9% прибавки к контролю, по растительной диагностике N_{17} дала 16,6%; свёклы столовой по почвенной диагностике $N_{65}K_{45}$ – 30% прибавки, по растительной диагностике $N_{54}K_{30}$ – 23,7%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

морковь столовая, свёкла столовая, минеральные удобрения, органические удобрения, урожайность, элементы питания, нутритивная диагностика, почвенная диагностика

Diagnostics of mineral nutrition of carrot and red beet at organic and mineral fertilization systems

ABSTRACT

Relevance. In the transition to highly productive and environmentally friendly, in particular, organic agriculture and production of safe and high-quality products, which is a priority direction of strategies of scientific and technological development of the Russian Federation, one of the necessary links is the creation and control of optimal conditions of plant nutrition, i.e. provision of plants with nutrients in the right combination throughout the vegetation. Achievement of such conditions is possible through soil and plant nutrition diagnostics, which in turn allows to establish the ability of crops to assimilate nutrients from the soil and adjust the doses of mineral fertilisers as top dressings.

Material and Methods. On alluvial meadow soil in the conditions of the non-Black Earth region of Russia, the effectiveness of root feeding with macronutrients (NPK) was studied according to the results of plant and soil diagnostics of table root crops nutrition when grown on organic and mineral fertiliser systems. Plant and soil diagnostics of mineral nutrition was carried out according to the methods of Zerling V.V. (1990) and Magnitsky K.P. (1972). Two crops were tested during the experiment: red beet variety Mulatka and garden carrot variety Losinoostrovskaya 13.

Results and Discussion. Root fertilizers on the basis of nutrition diagnostics on the basis of soil and leaf petiole analysis made significant changes in the dynamics of basic nutrients in the soil, there was an increase in nitrate nitrogen and mobile potassium in comparison with the control variant, with natural soil supply of mobile phosphorus (more than 250 mg/kg), which had a positive effect on the root nutrition of plants. At the main application of mineral and organic (biocompost BIUD) fertilizers, root fertilizers according to nutrition diagnostics the carrot yield 51,2-63,9 t/ha with standard 87,4-94,6%, red beet 41,7-54,2 t/ha with standard 80,7-92,3% were obtained. Root feeding of carrots by soil diagnostics $N_{52}K_{14}$ on the background of biocompost gave 24.9% increase to the control, by plant diagnostics N_{17} gave 16.6%; red beet by soil diagnostics $N_{65}K_{45}$ – 30% increase, by plant diagnostics $N_{54}K_{30}$ – 23.7%.

KEYWORDS:

carrot, red beet, mineral fertilisers, organic fertilisers, yield, nutritional elements, nutritional diagnostics, soil diagnostics

Check for updates



Введение

Сельскохозяйственный сектор во всем мире испытывает огромную нагрузку, связанную с необходимостью обеспечения устойчивого производства для постоянно растущего населения. Роль урбанизации в этом отношении крайне негативна, поскольку антропогенная деятельность приводит к тому, что почвы становятся непродуктивными, а чрезмерное внесение неоправданно больших доз удобрений приводит к ухудшению экологической ситуации. Чтобы обеспечить устойчивое, безопасное и стабильное сельское хозяйство, необходимо находить способы борьбы с биотическими и абиотическими стрессами [1].

Абиотический стресс подразумевает под собой влияние на растения стрессовых условий, возникающих за счет неживых факторов природы. Эдафические факторы, иными словами почвенные, в современном мире очень сильно подвержены антропогенному воздействию. Дефицит элементов питания, изменение механического состава почвы, ее плотности, а также недостаток или переизбыток влаги, все это приводит к потере плодородия почвы, без которого невозможно получить высокую урожайность и качественную продукцию. Для сохранения плодородия почв необходимо отслеживать динамику основных питательных веществ в ее плодородном слое, а также вносить научно обоснованные нормы минеральных и органических удобрений.

Потребность растений в удобрениях зависит, как известно, от содержания в почве доступных для данной культуры питательных веществ, от темпа развития растений, от их способности использовать питательные вещества почвы и удобрений, а также от величины планируемого урожая. Поэтому необходимо следить за обеспеченностью растений питательными веществами в течение вегетации.

Методика почвенной и растительной диагностики рекомендуется как один из методов агрохимии для проведения контроля обеспеченности питания растений, а также получения планируемых высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Почвенная диагностика позволяет определить потенциал плодородия почв, для этого необходимо дать допосевную характеристику свойств почвы в пахотном и под-пахотном слоях и в течение вегетации проводить контроль изменений наиболее динамичных её свойств [2].

Растительная диагностика позволяет определить за счет изменения химического состава растений по периодам вегетации степень его обеспеченности питательными веществами в процессе формирования урожая. Данный метод используется в следующих направлениях: для контроля питания растений и выявления необходимости подкормок; для уточнения системы применения удобрений; при агрохимической характеристике почвы по содержанию доступных для растений форм соединений питательных веществ; для выяснения селекционерами способности сортов использовать питательные вещества почвы и удобрений; при исследованиях вопросов питания растений [2]. Она может быть визуальной, по характерным признакам голодания, а также химической, в том числе тканевой (определение валового содержания питательных

веществ или неорганических форм). Лучшим индикаторным органом для тканевой диагностики чаще всего являются черешки листьев [3].

Теоретической основой растительной диагностики являются закономерности питания растений по этапам формирования урожая.

В ряде случаев показания метода растительной диагностики не согласовываются с данными почвенных анализов по содержанию подвижных форм питательных элементов. Полученные результаты указывают на необходимость оптимизации применения удобрений и более тщательной разработки лимита обеспеченности растений отдельными элементами питания как для метода растительной, так и почвенной диагностики с учетом большого количества элементов и различных иных факторов: климатических, почвенных и т.д.

Главная проблема овощеводства России – стремительное обеднение почв и как следствие невысокая урожайность и низкое качество продукции, поэтому курс стратегии овощеводства в 21 веке должен быть направлен именно на решение этих проблем, так как в скором будущем проблема питания человечества будет одной из самых важных [4].

В настоящее время для развития будущего овощеводства необходимо не просто повышать урожайность за счет внесения удобрений, но и сохранять уникальное биокосное вещество, как важнейший компонент экологической системы, которая в свою очередь зависит от множества факторов. Почвенная и растительная диагностика питания растений позволяет установить способность 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.

Цель исследования – выявить эффективность корневых подкормок макроэлементами (NPK) по итогам растительной и почвенной диагностики питания столовых корнеплодов (свёкла, морковь) при выращивании на органической и минеральной системах удобрений.

Задачи исследований:

1. Определить динамику основных питательных веществ в почве при выращивании столовых корнеплодов с внесением подкормок;
2. Провести сравнительный анализ содержания основных элементов минерального питания в почве и черешках листьев столовых корнеплодов при органической и минеральной системах удобрений;
3. Определить агрономическую эффективность корневых подкормок основными макроэлементами (урожайность).

Объекты и методы исследования

В ходе опыта возделывались две культуры: свекла столовая сорта Мулатка и морковь сорта Лосиноостровская 13.

Мулатка – сорт свеклы столовой (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *conditiva* Alef.). Включен в Госреестр в 2003 году по Волго-Вятскому и Центрально-Черноземному

регионам для садово-огородных участков, приусадебных и мелких фермерских хозяйств. Рекомендуются для использования в кулинарии и для зимнего хранения. Сорт среднеспелый. Период от полных всходов до начала технической спелости 125-130 дней. Розетка листьев стоячая. Лист овальный, зеленый, слабопузырчатый, волнистость края слабая. Черешок с нижней стороны фиолетовый. Корнеплод округлый, опробковение головки отсутствует или очень слабое. Мякоть красная. Масса корнеплода 160-360 г. Вкусовые качества хорошие и отличные. Содержание сухого вещества – 18,3-19,8%, общего сахара – 14,2-14,6%.

Урожайность в Волго-Вятском регионе – 258-447 ц/га, на уровне стандарта Двусемянная ТСХА, в Центрально-Черноземном регионе – 249-405 ц/га, на 33-53 ц/га выше стандарта Двусемянная ТСХА. Максимальная урожайность – 470 ц/га, на уровне стандарта Бордо 237 (Чувашская Республика). Выход товарной продукции 81-98%, на уровне стандартов. Ценность сорта: высокий выход товарной продукции, хорошая лежкость корнеплодов и высокие вкусовые качества. Оригинатор ООО «АГРОФИРМА ПОИСК» [5].

Лосиноостровская 13 – сорт моркови (*Daucus carota* L.). включен в Госреестр в 1964 году по Северо-Западному, Центральному, Волго-Вятскому, Северо-Кавказскому, Средневолжскому, Западно-Сибирскому и Дальневосточному регионам. Характеризуется крупными корнеплодами оранжевого цвета с сочной и сладкой мякотью. Срок созревания средний, 80-118 дней после появления всходов. Условия выращивания: товарное производство. Листовая розетка прямостоячая или слегка раскидистая, высотой 35-40 см. Розетка состоит из 13, реже из 11 насыщенно-зеленых листьев ромбовидной или треугольной формы с сильно изрезанным контуром. Корнеплоды цилиндрической формы с закругленным или заостренным основанием достигают 12,5-16 см в длину, 3,2-4,2 см в диаметре, массой 75-165 г. Поверхность гладкая, на ней расположены небольшие глазки и тонкие боковые корневые отростки. Кожура тонкая, с легким глянцевым блеском, мякоть оранжевого цвета, сердцевина ярко выраженная, в разрезе круглая или граненная. В 100 г корнеплодов содержится общего сахара – 8-9%; бета-каротин – около 28 мг. Средняя урожайность – 540-770 ц/га. Оригинатор – ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» [5].

Лабораторно-полевые опыты проводились на опытном участке отдела земледелия и агрохимии ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО на аллювиальной луговой среднесуглинистой почве Центральной части Москворецкой поймы (Раменский район Московской обл.).

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 для получения 50 т/га урожая – $N_{175}P_{75}K_{270}$, для моркови – 60 т/га урожая – $N_{105}K_{185}$. Биокомпост вносили 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.

Растительную и почвенную диагностику минерального питания проводили по методики Церлинг В.В. (1990) и Магницкому К.П. (1972) в фазу начала образования корнеплодов (I декада июля). По результатам рассчитаны и внесены в подкормки азотно-калийные удобрения.

Для расчета подкормок по диагностике питания во время вегетации нами использована следующая формула:

$$D_p = D_o \times [1 - (X_{\text{фак}} / X_{\text{оптим}})],$$

где D_p – доза удобрений для подкормки, кг/га д.в.;

D_o – доза удобрений в основное внесение, кг/га д.в.;

$X_{\text{факт}}$ – фактическое содержание элемента в почве (мг/кг) или в черешках листьев (мг/кг сырой массы);

$X_{\text{оптим}}$ – оптимальное содержание элемента в почве (мг/кг) или в черешках листьев (мг/кг сырой массы) [1].

Результаты и их обсуждение

Динамика основных питательных веществ в почве при выращивании столовых корнеплодов с внесением подкормок.

Для выявления динамики питательных веществ и контроля питания растений в годы проведения исследований осуществлялся отбор проб в пахотном слое почвы с каждого варианта опыта. Средняя проба составлялась из пяти индивидуальных проб, отобранных тростевым буром методом конверта. Отбор проводился до посева корнеплодов во II декада мая, в I декада июля, в I декада августа и перед уборкой урожая (II декада сентября).

Исследования по динамике питательных веществ в пахотном слое почвы при выращивании столовых корнеплодов показали, что наибольшее содержание $N-NO_3$ наблюдалось в I декада июля, когда молодые растения еще слабо потребляли азот, а температура, влажность и аэрация почвы были на оптимальном уровне для нитрификации внесенных азотных удобрений (мочевины) и органического вещества. К концу вегетации содержание нитратного азота в пахотном слое существенно уменьшается из-за потребления азота растениями, уменьшением среднесуточных температур, вымыванием в нижележащие горизонты и др., а подвижного калия кроме того и частичного перехода в необменную форму.

Накопление нитратного азота и подвижного калия в почве под корнеплодами моркови зависело и от количества вносимых удобрений (рис. 1,2). Внесение расчётной дозы азота (105 кг/га д.в.) в составе NPK увеличивало содержание нитратов в почве в 2,5 раза по сравнению с контролем, а биокомпоста 3 т/га (90 кг/га

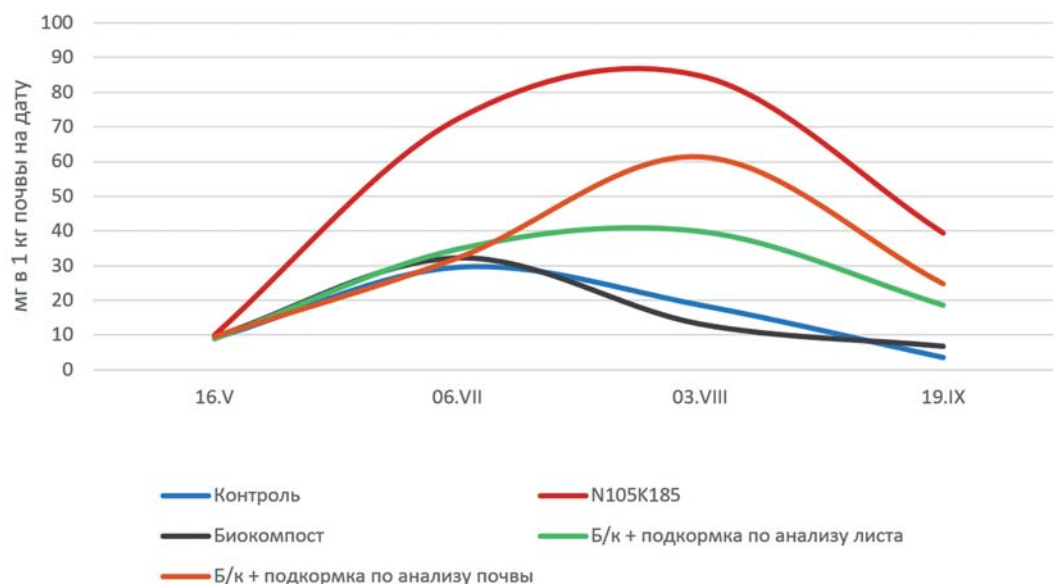


Рис. 1. Динамика N-NO₃ в почве при выращивании моркови столовой сорта Лосиноостровская 13
Fig. 1. Dynamics of N-NO₃ in soil during cultivation of carrot cv. Losinoostrovskaya 13

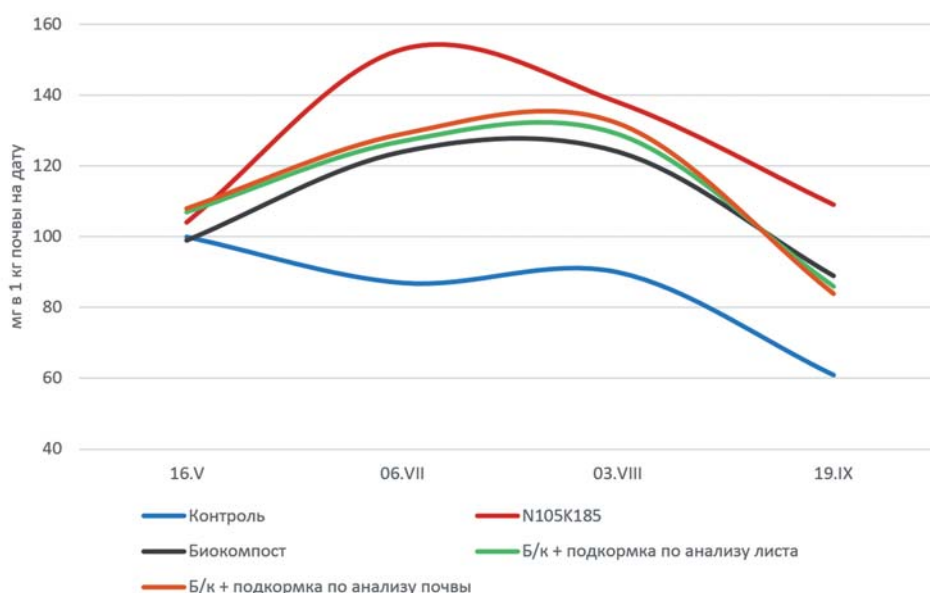


Рис. 2. Динамика K₂O в почве при выращивании моркови столовой сорта Лосиноостровская 13
Fig. 2. Dynamics of K₂O in soil during cultivation of carrot cv. Losinoostrovskaya 13

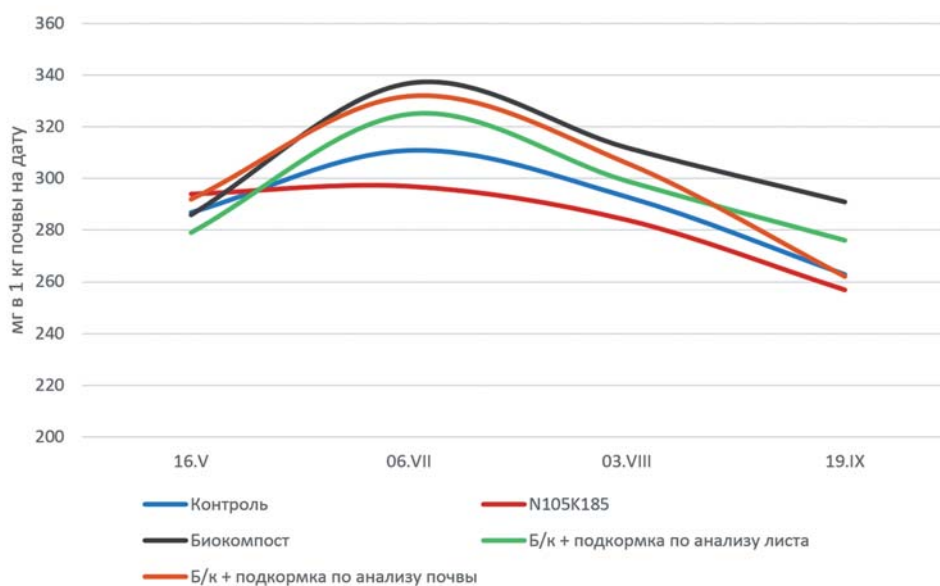


Рис. 3. Динамика P₂O₅ в почве при выращивании моркови столовой сорта Лосиноостровская 13
Fig. 3. Dynamics of P₂O₅ in soil during cultivation of carrot cv. Losinoostrovskaya 13

д.в.) – в 1,1 раза в фазе начала образования корнеплодов моркови (июль). При использовании биокомпоста 3 т/га ощутимого увеличения нитратного азота в почве в сравнении с контролем не наблюдалось. Максимум подвижного калия зафиксирован в I декаде июля (рис. 2), в варианте расчётной дозы K_{185} больше контроля в 1,8 раза, а в варианте биокомпост 3 т/га ($60 \text{ кг/га } K_2O$) – в 1,4 раза больше, что создавало лучшие условия для питания растений.

Проведенная подкормка минеральными удобрениями по итогам почвенной диагностики ($N_{52} K_{14}$) в период максимального потребления растениями нитратного азота (рост корнеплода) обеспечила накопление $N-NO_3$ в почве до $6,13 \text{ мг/100 г}$ почвы против $1,31 \text{ мг}$ на варианте биокомпоста (в 4,7 раза) при контрольном измерении в I декаде августа. Подкормка по результатам растительной диагностики дозой N_{17} повышало содержание нитратов в почве до $3,98 \text{ мг}$, что выше, чем на варианте биокомпост в 3 раза.

Исходя из зарубежных источников, также рекомендуется внесение минеральных удобрений в сочетании с

органическими, при этом Sarah Tenelli и др. (2021) утверждают, что чрезмерное использование неорганических азотных удобрений может усилить микробиологическую деградацию органических соединений углерода, способствуя сокращению его запасов в почве в долгосрочной перспективе. Органические удобрения должны дополнять питание растений при обычном режиме внесения N, не злоупотребляя величиной дозировки [6].

В опытах Alexis Thoumazeau и др. (2024) представлены данные, свидетельствующие о том, что наибольшее накопление калия происходило на вариантах с внесением минеральных калийных удобрений в сочетании с зелеными удобрениями – сидератами, нежели при внесении только минеральных удобрений. Данные авторы также утверждают, что такая система удобрений улучшала структуру почвы [7].

Исследования по динамике накопления нитратного азота и подвижного калия в пахотном слое почвы под свёклой столовой показали, что наибольшее содержание $N-NO_3$ и K_2O , наблюдалось в I декаде июля, анало-

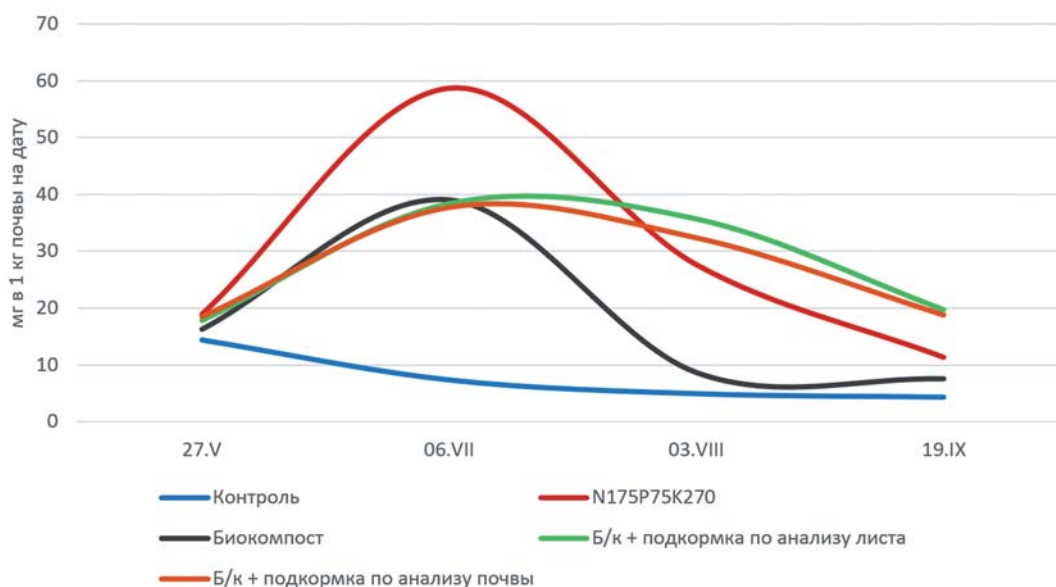


Рис. 4. Динамика $N-NO_3$ в почве при выращивании свеклы столовой сорта Мулатка
Fig. 4. Dynamics of $N-NO_3$ in soil during cultivation of red beet cv. Mulatka

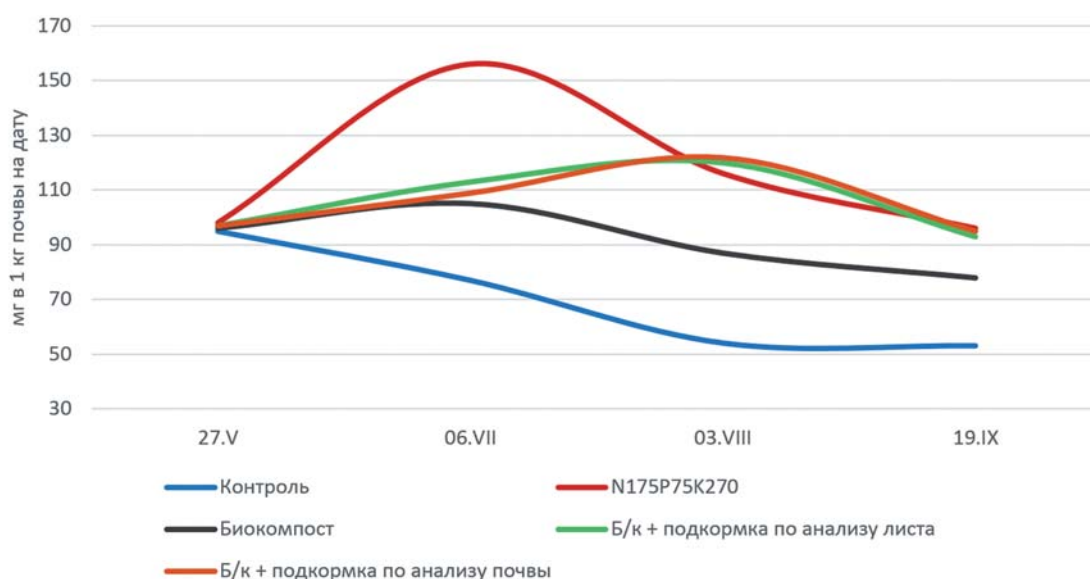


Рис. 5. Динамика K_2O в почве при выращивании свеклы столовой сорта Мулатка
Fig. 5. Dynamics of K_2O in soil during cultivation of red beet cv. Mulatka

гично накоплению нитратов и калия под морковь (рис. 4,5). К концу вегетации содержание нитратного азота и подвижного калия в пахотном слое существенно уменьшается, в том числе и из-за интенсивного потребления растениями свёклы столовой. Внесение расчётной дозы N_{175} повышало содержание нитратов в почве в 7,9 раза, а биокоста 6 т/га (180 кг/га) – в 5,3 раза в сравнении с контролем. Проведённые подкормки по анализу почвы N_{65} K_{45} и по анализу черешка листа N_{54} K_{30} повышали содержание нитратов (в 3,7 и 4,1 раза в сравнении с фоном биокоста) и подвижного калия (в 1,4 и 1,38 раза) в почве в I декаде августа, т.е. улучшали питательный режим почвы.

Jérémie Naumont и др. (2023) рекомендуют для улучшения накопления питательных элементов в почве не дробное внесение минеральных удобрений, а локализованное. При накоплении нитратного азота в почве, данный метод может потенциально снизить воздействие интенсивного выращивания овощей на окружающую среду [8].

Динамика содержания подвижного фосфора под морковь и свеклой столовой выражена слабее, нежели нитратов (рис. 3,6). В опыте фиксировалось некоторое увеличение содержания подвижных форм фосфора I декаде июля, и затем его плавное снижение к концу вегетации растений из-за потребления его, а также переходом в труднодоступные формы. Подкормки фосфорными удобрениями не проводились по итогам диагностик питания. В целом, во все сроки наблюдения, класс почвы по обеспеченности фосфором оставался высоким (более 250 мг/кг) вне зависимости от удобрений.

В зарубежной литературе, есть данные по накоплению фосфора, утверждающие, что компосты, обогащенные множеством питательных веществ (NPKEC), увеличили содержание фосфора на 62-69% по сравнению с контрольными участками. Внесение NPK привело к увеличению недоступной фракции P, в то время как компосты снизили концентрацию недоступного P, что свидетельствует о более сильных их преимуществах. Внесение компоста стимулировало значительно более высокую активность фосфатаз по сравнению с мине-

ральными удобрениями, Mahnaz Roohi и др (2020) утверждает о наличии сильной связи микробной биомассы P (МБР) и кислых фосфатов (АСР) с фракцией недоступного фосфора и указывает на то, что умеренно доступный цикл фосфора в почве в основном обусловлен процессами, связанными с микробами. Результаты их опыта показывают, что комбинация микробно-ризосферных процессов контролирует динамику фертильности фосфора. В более широком контексте повышения плодородия почвы Mahnaz Roohi и др. (2020) настоятельно рекомендуют использовать экологически устойчивые источники удобрений, такие как NPKEC [9].

Проведённые подкормки на основе диагностики питания по анализу почвы и черешка листа растений корнеплодов позволили в существенной мере увеличить в почве нитратный азот и подвижный калий, при высоком содержании подвижного фосфора, что положительно отразилось на корневом питании растений. Динамика питательных веществ, которую мы получили за счет внесения удобрений исключает деградацию почв и как следствие потерю почвенного плодородия, что способствует увеличению урожайности.

Сравнительный анализ содержания основных элементов минерального питания в почве и черешках листьев столовых корнеплодов при органической и минеральной системах удобрений.

В решении важнейших задач повышения урожайности сельскохозяйственных культур и улучшения их качества большое место занимают вопросы создания оптимальных условий питания, обеспечения растений питательными веществами в течение всей вегетации. Агрохимические анализы почвы позволяют судить о ее насыщенности питательными веществами и степени их подвижности и доступности растениям. Однако количество действительно доступных растениям веществ можно установить только с помощью самого растения. Поэтому наряду с анализами почвы и полевыми опытами с удобрениями необходим контроль за питанием растений в течение вегетации. Такой контроль возможен благодаря методам растительной диагностики. По результатам растительной диагно-

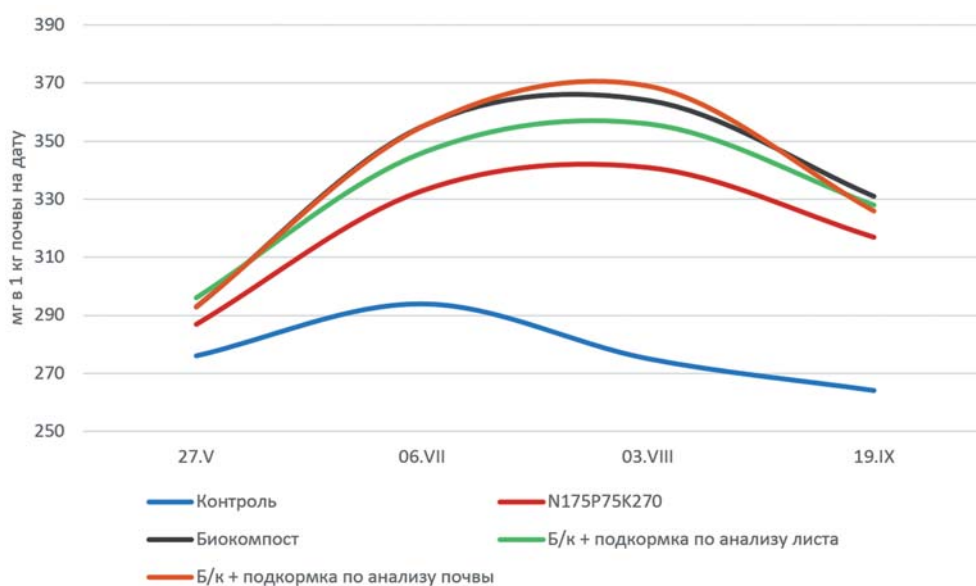


Рис. 6. Динамика P_2O_5 в почве при выращивании свеклы столовой сорта Мулатка
Fig. 6. Dynamics of P_2O_5 in soil during cultivation of red beet cv. Mulatka

стики можно определять потребность растений в подкормках и корректировать систему удобрения в последующие годы [10].

Метод тканевой диагностики основан на определении содержания неорганических соединений элементов – нитратов, фосфатов и др., которых, как известно, больше бывает в сосудо-проводящих системах и в нижних ярусах растений. В данном опыте в пробу для химического анализа входили черешки средних ярусов растений. Диагностикой «по черешку» можно достаточно хорошо контролировать условия питания растений в течение вегетации в ответственные для создания урожая фазы роста и развития. Значение этого метода повышается при диагностике питания элементами, для которых пока нет чётких критериев

обеспеченности овощных культур по анализу почвы, в частности, для азота [11].

Для контроля над минеральным питанием столовых корнеплодов в соответствии с программой исследований была проведена диагностика питания по анализу почвы и черешка листа.

В таблице 1 приведены оптимальные значения содержания макроэлементов в почве и черешке листа свеклы столовой сорта Мулатка и моркови сорта Лосиноостровская 13 полученные на фоне вариант расчетной дозы NPK. Учитывая, что оптимальные нормативы содержания NPK для данных культур устарели [2,3], для определения эффективности применения подкормок результаты диагностики питания сравниваются с содержанием макроэлементов на варианте расчетной дозы.

Таблица 1. Оптимальные значения содержания макроэлементов в почве и в черешке листа корнеплодов по варианту расчетной дозы NPK (2021–2023 годы)
Table 1. Optimal values of macronutrients content in soil and in the leaf petiole of root crops according to the variant of calculated NPK dose (2021-2023)

Вариант	Почва, мг/кг сухой почвы			Черешок листа, мг/кг сырой массы черешка		
	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Морковь (N₁₀₅K₁₈₅), фаза начала образования корнеплодов						
2021 г.	63	320	174	527	376	6640
2022 г.	72	295	154	527	288	6067
2023 г.	88	304	169	478	302	5906
В среднем за 3 года	74	306	166	511	322	6204
Свекла столовая (N₁₇₅P₇₅K₂₇₀), фаза начала образования корнеплодов						
2021 г.	38	325	171	4018	3490	5973
2022 г.	58	332	154	4018	2960	5693
2023 г.	43	324	178	3795	3040	6003
В среднем за 3 года	46	327	168	3944	3163	5890

Таблица 2. Почвенная и растительная диагностика питания в фазу начала образования корнеплодов моркови столовой сорта Лосиноостровская 13 (2021-2023 годы)
Table 2. Soil and plant diagnostics of nutrition in the phase of the beginning of root formation of carrot cv. Losinoostrovskaya 13 (2021-2023)

Вариант	мг/кг сухой почвы / мг/кг сырой массы черешка			Расчётная доза подкормок, кг/га		
	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
По анализу почвы в фазу начала образования корнеплодов на фоне биокomпоста 3 т/га						
2021 г.	32	332	132	44	0	14
2022 г.	32	336	124	50	0	12
2023 г.	28	321	130	61	0	16
В среднем за 3 года	31	330	129	52	0	14
Оптимальные значения	74	306	166	-	-	-
По анализу черешка листа в фазу начала образования корнеплодов на фоне биокomпоста 3 т/га						
2021 г.	448	295	6090	13	13	5
2022 г.	415	336	6440	19	0	0
2023 г.	377	278	5890	19	5	0
В среднем за 3 года	413	303	6140	17	6	2
Оптимальные значения	511	322	6204	-	-	-

При анализе таблицы 2 установлено, что внесение биокомпоста в дозах 3 т/га под морковь уступает минеральному удобрению по обогащению пахотного слоя почвы нитратами и подвижным калием в фазу начала образования корнеплодов. В сравнении с расчетной дозой, потенциально-доступное питание в фазу начала образования корнеплодов (I декада июля) на варианте с внесением биокомпоста под морковь ниже на 58% по нитратному азоту и на 22% по подвижному калию. Не обнаружены значительные изменения подвижного фосфора ввиду высокой естественной обеспеченности аллювиальной луговой почвы фосфатами, в т.ч. трудно-растворимыми. Таким образом, при внесении биокомпоста, в сравнении с расчетной дозой NPK, отмечен недостаток доступного минерального азота и калия. На основании результатов анализов были рассчитаны следующие дозы подкормки $N_{52}K_{14}$.

При химическом анализе черешков листьев в фазу начала образования корнеплодов (I декада июля) выяснено, что на варианте с внесением биокомпоста черешки содержали меньше нитратного азота, фосфора и калия в сравнении с вариантом расчетной дозы $N_{105}K_{185}$ (табл. 2), нитратного азота меньше на 19%, фосфора – на 6% и калия – на 1%. На основании результатов анализов была рассчитана подкормка по азоту в размере 17 кг/га, подкормки меньше 10 кг/га не вносились, так как это не рационально.

По результатам почвенной диагностики растение нуждалось в большой подкормке, чем при растительной диагностики.

По анализу почвы (табл. 3) в фазу начала образования корнеплодов свеклы столовой в варианте с внесением биокомпоста в сравнении с вариантом расчетной дозы, содержание нитратного азота меньше на 35%, фосфора на 3% и калия на 37,5%. По содержанию фосфора в пахотном слое изменения не значительны, что может быть связано с естественной высокой обеспеченностью аллювиальной луговой почвы фосфатами. Таким образом, для возмещения питательных элементов были рассчитаны подкормки по азоту и калию в размере 65 и 45 кг/га соответственно.

При проведении растительной диагностики в фазу начала образования корнеплодов выяснено, что содержание всех изучаемых в данной работе макроэлементов меньше на варианте с внесением биокомпоста, чем при расчетной дозе NPK. Нитратного азота меньше на 30%, фосфора на 5% и калия на 25%. На основании результатов анализов была рассчитана подкормка по азоту в размере 54 кг/га и по калию 30 кг/га.

По результатам почвенной диагностики растение нуждалось в большой подкормке, чем при растительной диагностики.

Агрономическая эффективность корневых подкормок основными макроэлементами

Создание и контроль оптимальных условий питания растений, залог получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Минеральные и современные органические (биокомпосты) удобрения при правильном их использовании являются важнейшим фактором повышения урожайности и качества продукции. При помощи их можно изменять направленность процессов обмена веществ в нужную сторону, способствовать большему накоплению в растениях полезных для человека веществ: витаминов, углеводов и т.д. Однако использование минеральных удобрений должно быть дробное, т.е. сочетание основного осеннего внесения с подкормками в течение сезона в соответствии с потребностями растений [12].

При использовании минеральных удобрений, внесение органических удобрений также необходимо, в частности современные биокомпосты – важный источник элементов минерального питания, микроэлементов и углерода для растений и почвенной биоты, средство улучшения агрономических свойств почвы, а именно структуры почвы, и пополнение запаса гумуса в ней, а гумус в свою очередь является основным фактором почвенного плодородия [13].

Морковь, сорт Лосиноостровская 13. В результате учёта урожайности корнеплодов моркови (табл. 4) во II декаде сентября, определена агрономическая эффективность проведения подкормок. В опыте достигнута общая урожайность моркови от 51,2 до 63,9 т/га со 87-

Таблица 3. Почвенная и растительная диагностика питания в фазу начала образования корнеплодов свеклы столовой сорт Мулатка (2021-2023 годы)

Table 3. Soil and plant nutrition diagnostics in the phase of the beginning of root formation of red beet variety Mulatka (2021-2023)

Вариант	мг/кг сухой почвы / мг/кг сырой массы черешка			Расчётная доза подкормок, кг/га		
	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
По анализу почвы в фазу начала образования корнеплодов на фоне биокомпоста 6 т/га						
2021 г.	24	308	93	66	6	55
2022 г.	39	322	108	59	4	36
2023 г.	26	321	114	71	1	43
В среднем за 3 года	30	317	105	65	4	45
Оптимальные значения	46	327	168	-	-	-
По анализу черешка листа в фазу начала образования корнеплодов на фоне биокомпоста 6 т/га						
2021 г.	3003	2957	4631	45	18	27
2022 г.	2533	3090	4213	67	0	31
2023 г.	2746	2942	4345	50	4	33
В среднем за 3 года	2761	2996	4396	54	7	30
Оптимальные значения	3944	3163	5890	-	-	-

94% стандартной продукции. Прибавка к контрольному варианту составила от 5 до 25%. При основном внесении расчётной дозы $N_{105}K_{185}$ прибавка урожайности составила 11,4 т/га (22%), на варианте основного внесения биокomпоста в дозе 3 т/га – 2,6 т/га (5%); дополнительная корневая подкормка дозой N_{17} по анализу черешка листа обеспечила 8,5 т/га прибавки (17%), а лучший в опыте эффект получен при корневой подкормке по анализу почвы $N_{52}K_{14}$ на фоне биокomпоста – 12,7 т/га прибавки (25%), при этом достоверного отличия (учитывая HCP_{05}) от варианта с расчётной дозой $N_{105}K_{185}$ не выявлено.

Установка доз подкормок минеральными удобрениями за счет диагностики питания растений в системе агротехнических мероприятий при выращивании сельскохозяйственных культур позволяет добиться тонкой коррекции процессов роста, развития и формирования хозяйственно-ценной части урожая [1].

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.

Учитывая то, что под морковь вносились азотные и калийные удобрения без фосфорных, можно отметить их роль в повышении урожайности. При внесении расчётной дозы урожайность составила 62,6 т/га, и при внесении подкормки по анализу почвы – 63,9 т/га, что выше на 22,4% и 24,9% чем на контрольном варианте. Данная разница может свидетельствовать о том, что азот и калий выступают лимитирующими элементами для моркови столовой на почве опытного участка.

Вариант с внесением биокomпоста уступает по эффективности минеральным удобрениям. Прибавка от последствия органических удобрений по сравнению с контролем составила 5,1%, однако это меньше на 17,3%, чем прибавка от минеральных удобрений. Это можно объяснить недостаточной обеспеченностью почвы азотом и подвижным калием, а также различной скоростью разложения органических удобрений.

В ходе работы были установлены некоторые закономерности влияния удобрений на товарность столовых корнеплодов.

Положительное влияние на товарность корнеплодов моркови оказывали минеральные удобрения и органические в сочетании с минеральными при дробном внесении. Наибольший процент стандартности продукции

Таблица 4. Урожайность моркови столовой сорта Лосиноостровская 13 при минеральной и органической системах удобрения за три года (2021-2023 годы)
Table 4. Yield of carrot cv. Losinoostrovskaya 13 under mineral and organic fertilisation systems for three years (2021-2023)

Вариант	Урожайность общая, т/га					Урожайность стандартная, т/га				
	2021 год	2022 год	2023 год	средняя	%	2021 год	2022 год	2023 год	средняя	% от общей
Без удобрений (к.)	52,1	53,2	48,2	51,2	100,0	45,3	45,7	43,1	44,7	87,4
$N_{105}K_{185}$ (60 т/га)	64,3	64,1	59,5	62,6	122,4	60,4	59,9	56,2	58,8	93,9
Биокomпост 3 т/га	54,8	55,2	51,3	53,8	105,1	49,3	49,8	47,1	48,7	90,6
Б/к + подкормка по анализу листа	61,2	61,8	56,0	59,7	116,6	56,3	56,6	52,2	55,0	92,2
Б/к + подкормка по анализу почвы	66,5	65,7	59,5	63,9	124,9	63,2	61,7	56,4	60,4	94,6
HCP_{05}	-	-	-	2,2	3,8	-	-	-	-	-

Таблица 5. Дисперсионный анализ отклонений от среднего урожая моркови столовой сорта Лосиноостровская 13
Table 5. Analysis of variance of deviations from the average yield of carrot cv. Losinoostrovskaya 13

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F факт	Fтеор	Влияние фактора, %
Общая	383,2	14	27,4	–	–	100,0
Повторений	2,1	2	1,0	0,8	19,37	0,5
Вариантов	370,2	4	92,6	68,1	3,84	96,6
Остаточная	10,9	8	1,4	–	–	2,8

Средняя ошибка выборочной средней $S_x = 0,67$ т/га
Ошибка разности между выборочными средними $S_d = 0,95$ т/га
Относительная ошибка выборочной средней $S_x \% = 1,16\%$
Коэффициент вариации $V = 2,00\%$

Таблица 6. Урожайность свёклы столовой сорт Мулатка при минеральной и органической системах удобрения за три года (2021-2023 годы)
Table 6. Yield of red beet cv. Mulatka under mineral and organic fertilisation systems for three years (2021-2023)

Вариант	Урожайность общая, т/га					Урожайность стандартная, т/га				
	2021 год	2022 год	2023 год	средняя	% от К	2021 год	2022 год	2023 год	средняя	% от общей
Без удобрений (контроль)	45,2	38,4	41,5	41,7	100,0	36,9	30,7	33,4	33,7	80,7
N ₁₇₅ P ₇₅ K ₂₇₀ (50 т/га)	58,5	47,2	52,3	52,7	126,3	54,8	42,7	46,1	47,9	90,9
Биокомпост 6 т/га	53,9	40,8	45,6	46,8	112,2	49,3	35,6	40,9	41,9	89,7
Б/к + подкормка по анализу листа	58,0	46,9	49,9	51,6	123,7	53,7	41,0	43,4	46,0	89,2
Б/к + подкормка по анализу почвы	60,7	49,3	52,6	54,2	130,0	56,5	45,4	48,2	50,0	92,3
HCP ₀₅	-	-	-	1,9	3,9	-	-	-	-	-

Таблица 7. Дисперсионный анализ отклонений от среднего урожая свеклы столовой сорт Мулатка
Table 7. Analysis of variance of deviations from the average yield of red beet cv. Mulatka

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _{факт}	F _{теор}	Влияние фактора, %
Общая	332,2	14	23,7	—	—	100,0
Повторений	9,6	2	4,8	4,6	4,46	2,9
Вариантов	314,3	4	78,6	75,5	3,84	94,6
Остаточная	8,3	8	1,0	—	—	2,5

Средняя ошибка выборочной средней $S_x=0,59$ т/га
Ошибка разности между выборочными средними $S_d=0,83$ т/га
Относительная ошибка выборочной средней $S_x\%=1,19\%$
Коэффициент вариации $V=2,07\%$

от общей был на варианте с подкормкой по почвенной диагностики – 94,6%.

Свекла столовая, сорт Мулатка. Получена общая урожайность свёклы столовой на уровне 41,7-54,2 т/га со стандартной продукцией 81-92% (табл. 6). 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. При этом достоверных отличий, учитывая HCP05, между вариантами с основным внесением расчётной дозы и подкормками в опыте не установлено.

Свекла столовая проявила себя в опыте как культура более отзывчивая к минеральному и органическому питанию [14]. Прибавки урожая от контроля в процентном соотношении 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 содержание питательных веществ немногим превышало контрольный вариант. Также это может свидетельствовать о том, содержания питательных элементов в органическом удобрении недостаточно для нормального роста и развития столовой свеклы, а также 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 расчётной дозы минеральных удобрений и при подкормке по анализу почвы, составила она 90,9% и 92,3%.

Обобщая данные можно утверждать, что применение удобрений в основное внесение и подкормок вело к росту выхода стандартной продукции в сравнении с контролем, в том числе вследствие увеличения средней массы корнеплодов.

Заключение

1. На аллювиальной луговой почве Нечернозёмной зоны максимальное количество нитратного азота и подвижного калия в почве зафиксировано в фазе начала образования корнеплодов (I декада июля), особенно на вариантах с основным внесением расчётной дозы минеральных удобрений и биокомпоста (3 т/га под морковь и 6 т/га под свёклу). Проведённые подкормки азотно-калийными удобрениями повышали содержание $N-NO_3$ и K_2O в почве до конца вегетации растений. Обеспеченность подвижным фосфором во все сроки учёта на разных фонах была высокой (более 250 мг/кг).

2. При химическом анализе черешков листьев в фазу начала образования корнеплодов (I декада июля) выяснено, что на варианте с внесением биокомпоста черешки содержали меньше нитратного азота и больше фосфора и калия, в сравнении с вариантом расчётной дозы, а также, выше чем на контрольном варианте. На основании результатов растительной диагностики были рассчитаны дозы подкормки: для моркови N_{17} , для свёклы столовой $N_{54}K_{30}$. На основании результатов почвенной диагностики питания

были рассчитаны дозы подкормки для моркови $N_{52}K_{14}$, для свёклы столовой $N_{65}K_{45}$.

3. 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, выход 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 ($N_{52}K_{14}$) и до 30% у свёклы ($N_{65}K_{45}$) 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 биокомпост.

В целом по результатам опыта достигнута высокая урожайность при использовании минеральной и органоминеральной системах удобрения. По полученным данным можно рекомендовать органоминеральную систему применения удобрений для производства овощных культур, так как помимо высокой урожайности, она исключает деградацию почв и как следствие потерю почвенного плодородия.

Литература

1. Борисов В.А., Система удобрения овощных культур. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 392 с.
2. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: Справочник – М.: Агропромиздат, 1990. 235 с.
3. Магницкий К.П. Диагностика потребности растений в удобрениях. М., «Московский рабочий», 1972. 272 с.
4. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: РАСХН, ВНИИО, 2011. 650 с.
5. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 632 с.
6. Tenelli S., Otto R., Bordonal R.O., Nunes Carvalho J.L. How do nitrogen fertilization and cover crop influence soil C-N stocks and subsequent yields of sugarcane? *Soil and Tillage Research*. 2021;(211):104999. <http://doi.org/10.1016/j.still.2021.104999>
7. Thoumazeau A., Mettauer R., Junedi H., Baron V., Chéron-Bessou C., Ollivier J. Effects of fertilization practices and understory on soil health and oil palm performances in smallholdings: An Indonesian case study. *Agricultural Systems*. 2024;(213):103802. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103802>
8. Haumont J., Diels J., Schrevens E., Cool S., Lootens P., Saeys W. Assessment of fertilization strategies and policy measures for vegetables by simulation of a long-term cauliflower leek rotation. *European Journal of Agronomy*. 2023;(149):126902. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126902>
9. Roohi M., Arif M. S., Yasmeen T., Riaz M., Rizwan M., Shahzad S.M., Ali S., Bragazza L. Effects of cropping system and fertilization regime on soil phosphorous are mediated by rhizosphere-microbial processes in a semi-arid agroecosystem. *Journal of Environmental Management*. 2020;(271):111033. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111033>
10. Нелюбова Г.Л., Церлинг В.В. Растительная диагностика корневого питания сельскохозяйственных культур. М., ТСХА, 1979. 60 с.
11. Altland J. Plant Nutrition Diagnosis [Электронный ресурс] URL: <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/pathogen-articles/nonpathogenic-phenomena/plant-nutrition-diagnosis>. Дата обращения: 19.08.22.
12. Vaziritabar Y., Frei M., Yan F., Vaziritabar Y., Honermeier B. Enhancing nitrogen use efficiency and plant productivity in long-term precrop/crop rotation and fertilization management. *Field Crops Research*. 2024;(306):109210. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109210>
13. Литвинов С.С. Научные основы современного овощеводства. РАСХН, ВНИИО, 2008. 776 с.
14. Солдатенко А.В., Борисов В.А. Экологическое овощеводство. М.: ФГБНУ ФНЦО, 2022. 504 с. <https://elibrary.ru/hbrgmw>

References

1. Borisov V.A., System of fertilisation of vegetable crops. Moscow: FGBNU «Rosinformagroteh», 2016. 392 p. (In Russ.)
2. Zerling V.V., Diagnostics of nutrition of agricultural crops: Handbook M.: Agropromizdat, 1990. 235 p. (In Russ.)
3. Magnitsky K.P. Diagnostics of plant needs in fertilisers. Moscow, «Moskovsky Rabochiy», 1972, 272 p. (In Russ.)
4. Litvinov S.S. Methodology of field experiment in vegetable growing. M.: RASKHN – VNIYO, 2011. 650 p. (In Russ.)
5. State Register of Breeding Achievements Approved for Use. Vol. 1. «Plant Varieties» (official edition). Moscow: FGBNU «Rosinformagroteh», 2023. 632 c. (In Russ.)
6. Tenelli S., Otto R., Bordonal R.O., Nunes Carvalho J.L. How do nitrogen fertilization and cover crop influence soil C-N stocks and subsequent yields of sugarcane? *Soil and Tillage Research*. 2021;(211):104999. <http://doi.org/10.1016/j.still.2021.104999>
7. Thoumazeau A., Mettauer R., Junedi H., Baron V., Chéron-Bessou C., Ollivier J. Effects of fertilization practices and understory on soil health and oil palm performances in smallholdings: An Indonesian case study. *Agricultural Systems*. 2024;(213):103802. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103802>
8. Haumont J., Diels J., Schrevens E., Cool S., Lootens P., Saeys W. Assessment of fertilization strategies and policy measures for vegetables by simulation of a long-term cauliflower leek rotation. *European Journal of Agronomy*. 2023;(149):126902. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126902>
9. Roohi M., Arif M. S., Yasmeen T., Riaz M., Rizwan M., Shahzad S.M., Ali S., Bragazza L. Effects of cropping system and fertilization regime on soil phosphorous are mediated by rhizosphere-microbial processes in a semi-arid agroecosystem. *Journal of Environmental Management*. 2020;(271):111033. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111033>
10. Nelyubova G.L., Zerling V.V.. Plant diagnostics of root nutrition of agricultural crops / Textbooks and teaching aids. M., TSHA, 1979. 60 p. (In Russ.)
11. Altland J. Plant Nutrition Diagnosis. URL: <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/pathogen-articles/nonpathogenic-phenomena/plant-nutrition-diagnosis>. Date of access: 19.08.22.
12. Vaziritabar Y., Frei M., Yan F., Vaziritabar Y., Honermeier B. Enhancing nitrogen use efficiency and plant productivity in long-term precrop/crop rotation and fertilization management. *Field Crops Research*. 2024;(306):109210. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109210>
13. Litvinov S.S. Scientific bases of modern vegetable growing. 2008. 776 p. (In Russ.)
14. Soldatenko A.V., Borisov V.A. Ecological vegetable growing. M.: FSBSI FSVC, 2022. 504 p. (In Russ.) <https://elibrary.ru/hbrgmw>

Об авторе:

Софья Викторовна Белова – аспирант, младший научный сотрудник, автор для переписки, zonechka-belka@mail.ru, SPIN-код: 4808-9461, <https://orcid.org/0000-0001-9338-8419>

About the Author:

Sofia V. Belova – PhD student, Corresponding Author, zonechka-belka@mail.ru, SPIN-код: 4808-9461, <https://orcid.org/0000-0001-9338-8419>

Краткое сообщение / Short communication

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-80-84>
УДК: 635.611:631.5

Е.А. Галичкина,
Е.А. Варивода*

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: elena-varivoda@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Галичкина Е.А.: проведение исследования, создание черновика рукописи, формальный анализ. Варивода Е.А.: концептуализация, проведение исследования, создание рукописи и её редактирование.

Для цитирования: Галичкина Е.А., Варивода Е.А. Изучение новых элементов технологии возделывания сортаобразца дыни среднего срока созревания. *Овощи России*. 2024;(4):80-84. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-80-84>

Поступила в редакцию: 12.02.2024

Принята к печати: 04.04.2024

Опубликована: 08.07.2024

Elena A. Galichkina, Elena A. Varivoda*

Bikovskaya cucurbits breeding experimental station – branch of the Federal state budgetary scientific institution "Federal scientific vegetable center" (BCBES – branch of the FSBSI FSVC) 11, Sirenevaya str., p. Zeleny, Bykovsky district, Volgograd region, 404067, Russia

*Correspondence Author: elena-varivoda@mail.ru

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

Authors' Contribution: Galichkina E.A.: research, drafting the manuscript, formal analysis. Varivoda E.A.: conceptualization, research, creation of the manuscript and its editing.

For citation: Galichkina E.A., Varivoda E.A. Study of new elements of technology for cultivating a medium-ripening melon variety. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):80-84. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-80-84>

Received: 12.02.2024

Accepted for publication: 04.04.2024

Published: 08.07.2024

Изучение новых элементов технологии возделывания сортаобразца дыни среднего срока созревания

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В связи с изменением климата на планете становится все сложнее получать высокие урожаи бахчевых культур в богарных условиях. Поэтому необходимо разрабатывать новые элементы технологии возделывания их. Соответственно, использование новых водорастворимых удобрений для возделывания дыни в условиях жаркого климата, является актуальной работой на данный момент.

Материал и методика. Объекты исследований – дыня среднего срока созревания сортаобразец ГП 599ф и водорастворимые удобрения Лигногумат, Энерген Экстра, Сульфат цинка. Нами были тщательно изучены варианты с применением данных удобрений для двукратной некорневой обработки растений во время вегетации.

Результаты. Выявлено положительное влияние новых видов водорастворимых удобрений на увеличение вегетативной массы растений, урожайность и биохимические показатели сортаобразца. В результате сравнительного анализа данных по развитию растений после двукратной обработки изучаемыми препаратами, отмечен прирост плетей во всех вариантах по отношению к контролю на 4,3-18,7%. Во всех вариантах опыта отмечено повышение урожайности плодов по сравнению с контролем, вариантом без обработки. После обработки растений новыми видами удобрений урожайность составила 13,4-15,9 т/га. Средняя масса плода варьировала от 1,7 кг. до 1,8 кг с максимальными значениями в вариантах с применением Лигногумата и Энерген Экстра. Анализ биохимического состава плодов показал, что новые виды удобрений не повлияли на вкусовые качества и содержание нитратов в производимой продукции. Содержание сухого вещества было выше, чем у контрольного варианта на 0,8-1%. Показатели нитратов в плодах не превышали ПДК (90 мг/кг) и составили 24-28мг/кг.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

дыня, водорастворимые удобрения, урожайность, длина плети, фолиарная обработка, вегетативная масса, биохимические показатели

Study of new elements of technology for cultivating a medium-ripening melon variety

ABSTRACT

Relevance. Due to climate change on the planet, it is becoming increasingly difficult to obtain high yields of melons and melons in rain-fed conditions. Therefore, it is necessary to develop modern methods of growing them. Accordingly, the use of new water-soluble fertilizers for the cultivation of melon in hot climates is a relevant work at the moment.

Material and methodology. Objects of research: medium-ripening melon variety GP 599f and water-soluble fertilizers Lignohumate, Energen Extra, Zinc Sulfate. We have carefully studied options using these fertilizers for double foliar treatment of plants during the growing season.

Results. As a result of studying new types of water-soluble fertilizers on increasing the vegetative mass of plants, yield and biochemical parameters of the variety sample, a positive effect was revealed. As a result of a comparative analysis of data on plant development after double treatment with the studied preparations, an increase in canes in all variants was noted in relation to the control by 4.3-18.7%. When calculating the yield in all studied options, an increase in these indicators was noted in relation to the option without treatments. After treating the plants with new types of fertilizers, the yield was 13.4-15.9 t/ha. The average fetal weight varied from 1.7 kg. up to 1.8 kg with maximum values in the Lignohumate and Energen Extra options. An analysis of the comparison of the biochemical composition of fruits showed that new types of fertilizers did not affect the taste and purity of the products. The dry matter content was noted to be 0.8-1% higher than the control variant. Nitrate levels in fruits did not exceed the maximum permissible concentration (90 mg/kg) and amounted to 24-28 mg/kg.

KEYWORDS:

melon, water-soluble fertilizers, productivity, length of the vine, foliar treatment, vegetative mass, biochemical parameters

Введение

Широко известно, что бахчевые культуры отличаются значительной засухоустойчивостью, обладают хорошо развитой корневой системой, обеспечивающей подачу влаги из глубоких слоёв почвы [1, 2, 3]. Однако в связи с изменяющимися климатическими условиями, биологических особенностей этих культур уже недостаточно для получения высоких урожаев высокого качества. Даже несмотря на оптимальное соотношение тепловых и инсоляционных ресурсов, наличие почв песчаного и связано-песчаного гранулометрического состава, урожайность бахчевых культур напрямую зависит от прихода осадков, которые в последние годы выпадают в недостаточных количествах для формирования продукции. Чтобы снизить зависимость от данных факторов и получать высокие урожаи бахчевой продукции достойного качества, необходимо разрабатывать комплексные мероприятия по выращиванию бахчевых культур, важным дополнительным и корректирующим элементом технологии питания являются листовые подкормки [4].

Развитие и укрепление контроля качества и безопасности продуктов питания являются одними из приоритетных направлений современной науки о питании. Пищевые продукты, как ввозимые на территорию России для реализации, так и выращиваемые в стране, должны соответствовать нормативным требованиям [5].

Дыня является известной бахчевой культурой. Плоды дыни имеют очень богатый состав, в них содержатся белки, углеводы, органические кислоты, пищевые волокна и пищеварительные ферменты, но в первую очередь, польза дыни обусловлена минеральными веществами и витаминами, входящими в ее состав [6, 7].

На получение высоких урожаев этой культуры также оказывают влияние множество факторов, в том числе климатические условия. В изменяющихся условиях окружающей среды (высокие температуры, участвовавшие засухи и т.д.) селекция растений имеет огромное значение и выведения сортов сельскохозяйственных культур, устойчивых к многочисленным стрессам окружающей среды дает свои результаты [8]. Но для получения стабильных урожаев высокого качества, помимо использования при выращивании традиционных технологий, требуется разработка новых агротехнических элементов, позволяющих снижать негативное воздействие погодных условий. К таким элементам относится применение новых видов водорастворимых удобрений.

Каждый сорт может не однозначно реагировать на обработку тем или иным препаратом, следовательно, возникает необходимость испытания воздействия препаратов на определенном сорте.

На Быковской бахчевой селекционной опытной станции создаются новые сорта дыни, с высокими вкусовыми и пищевыми качествами плодов, отвечающие требованиям современного товарного производства и обладающие устойчивостью к заболеваниям и стрессовым факторам среды [9]. При испытании новых сортообразцов нами ведутся исследования по их реакции на обработку различными препаратами.

Целью данной исследовательской работы является разработка и совершенствование новых элементов технологии возделывания нового сортообразца дыни в сложных климатических условиях сухостепного

Заволжья, обеспечивающих получение высоких урожаев высококачественных плодов.

Материалы и методика

Исследовательскую работу проводили на землях Быковской бахчевой селекционной опытной станции, в условиях богарного выращивания бахчевых культур. Почвы участка исследований – супесчаные, лёгкие по гранулометрическому составу, что позволяет редким осадкам в летний период поступать в зону распространения корней. Все вышесказанное говорит о высокой фильтрационной способности данного вида почв. Особенности климатических условий зоны исследований являются, малоснежные морозные зимы, весенние заморозки, активная ветровая деятельность, очень высокие температуры в летний период, низкая влагообеспеченность.

Эксперимент проводили в 2022-2023 годах. Объектами исследований являлись: сортообразец дыни 599 ф, препараты Лигногумат, Энерген Экстра, сульфат цинка.

В данной экспериментальной работе применяли следующие методики: Литвинов С.С. «Методика полевого опыта в овощеводстве», Белик В.Ф. «Методика полевого опыта в овощеводстве» [10, 11].

В наших исследованиях изучаемые препараты использовали для некорневой обработки растений во время вегетации в период «начало плетёобразования» и перед смыканием плетей (через 2 недели), в концентрациях, рекомендуемых производителем: Лигногумат – 5 мл/10 л воды, Энерген Экстра – 6 г/10 л воды, Сульфат цинка – 5 г/10 л воды. Расход рабочего раствора – 300 л/га.

Характеристика изучаемых препаратов:

Лигногумат калийный – органоминеральное удобрение на основе гуминовых соединений. Состав: солей гуминовых веществ – до 18%, макро- и микроэлементов, %: не менее: К – 9, S – 3; не более: Fe – 0,2, Mn – 0,12, Cu – 0,12, Zn – 0,12, Mo – 0,015; Co – 0,12; Ca, Cr, Mn – следы.

Энерген Экстра – микроудобрение. Природный препарат, производится из бурого угля, д.в. калиевые соли гуминовых кислот 850 г/кг. Состав: аминокислоты, микроэлементы, витамины, гуминовые кислоты, фульвокислоты;

Сульфат цинка – минеральное, микроудобрение. Состав: семиводный сернокислый цинк – 98-99,5%, аммонийные соли – не более 0,001%, нитраты, хлориды – не более 0,0005-0,005%, железо – не более 0,0005-0,001%, нитрат кальция – не более 0,01-0,06%.

В ходе проводимых исследований подробно изучались результаты фенологических наблюдений, биометрические и биохимические показатели, количество и вес плодов на каждой деланке и повторности.

Результаты и их обсуждение

Новый сортообразец дыни 599ф создан в результате гибридизации двух родительских форм: материнская форма (СТ) и отцовская форма (ДН). Скрещивания проводили для получения сорта дыни среднего срока созревания с высоким содержанием сухого вещества, длительным сохранением товарного вида и вкусовых качеств и обладающего устойчивостью к стрессовым факторам среды и заболеваниям. В результате многолетней работы сортообразец отработан по основным хозяйственным

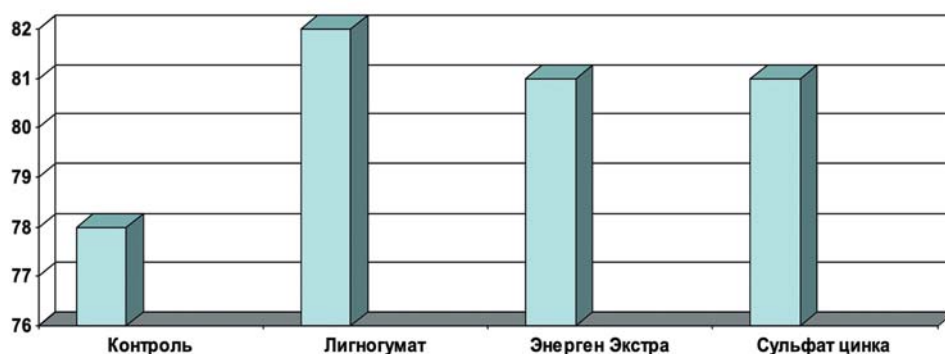


Рис. Влияние водорастворимых удобрений на длину вегетационного периода растений дыни (среднее за 2 года)
Fig. Effect of water-soluble fertilizers on the length of the growing season of melon plants (average for 2 years)

признакам и морфологическим показателям.

Сортообразец 599ф – среднего срока созревания. Растение средней мощности, длина главной плети 1,5-1,8 м. Листовая пластинка сердцевидная, слабозубчатая, лопасти у основания листа не соприкасаются, черенки наклонные, окраска листьев зелёная. Цветки мужские и гермафродитные. Имеет округлый плод, ярко-желтого цвета, без рисунка. Плоды не крупные, средняя масса 1,5-2,0 кг. Среднее содержание сухого растворимого вещества 17,5%. Сортообразец отличается многоплодностью (5-8 плодов на растении), плоды устойчивы к солнечным ожогам.

Для получения высоких урожаев плодов нового сорта образца нами ведутся исследования по влиянию водорастворимых удобрений на морфологические признаки и качественные показатели плодов.

Погодные условия периода исследований характеризовались следующим образом:

- вегетационный период 2022 года отличался низким температурным режимом, только в августе среднесуточная температура воздуха была на 2,2°C выше среднемесячных данных. Количество осадков распределялось не равномерно, основное количество осадков 133,6 мм выпало в конце вегетации.

- количество осадков, выпавших за вегетационный период 2023 года было на 27,1% меньше, чем в среднем за десять последних лет. Основное количество осадков выпало в первую половину вегетации. Август и сентябрь характеризуются низким количеством осадков и высоким температурным режимом. В начале вегетации среднесуточная температура воздуха колебалась от 17,6 – в мае и до 21,4°C – в июне, что привело к позднему получению всходов бахчевых культур.

В связи с не стабильными погодными условиями в зоне проводимых исследований необходимо учитывать

влияние изучаемых удобрений на сроки созревания плодов.

Был выявлен положительный эффект от применения новых видов удобрений на посевах перспективного образца дыни среднего срока созревания. Продолжительность вегетационного периода (всходы – массовое созревание плодов) во всех исследуемых вариантах увеличилась (на 3-4 суток) по отношению к контролю (без обработок). Максимальные значения были достигнуты при использовании препарата Лигногумат (рис.).

В результате оценки влияния новых элементов агроприемов на рост и развитие растений нового сорта образца дыни, было отмечено увеличение количества и длины плетей. Во всех изучаемых вариантах при foliarной обработке растений к периоду созревания плодов средняя длина плетей увеличилась на 4,3-18,7% по отношению к варианту контроль (без обработок). Максимальное увеличение вегетативной массы было зафиксировано в варианте Лигногумат – на 12,2-13,8% больше по сравнению с другими изучаемыми препаратами. Самое наименьшее нарастание плетей было отмечено при использовании удобрения Сульфат цинка (табл. 1).

Для повышения продуктивности исследуемого сорта образца дыни среднего срока созревания, нами использовались препараты водорастворимых удобрений: Лигногумат, Энерген Экстра, Сульфат цинка для обработки растений в период вегетации.

Следует отметить, что при двукратной foliarной обработке растений дыни всеми изучаемыми препаратами, было достигнуто повышение урожайности на 18,6-40,7% по отношению к контролю без обработок. Максимальное увеличение урожайности, было получено при применении удобрения Лигногумат, а минимальное – с использованием Сульфат цинка. Показатели урожайно-

Таблица 1. Влияние водорастворимых удобрений на количество плетей и длину плетей растений дыни среднего срока созревания (среднее за 2 года)
Table 1. Effect of water-soluble fertilizers on the number of lashes and the length of lashes of melon plants of average ripening period (average for 2 years)

Варианты опыта	Количество плетей, шт.			Средняя длина плетей, см		
	после первой обработки	после второй обработки	перед созреванием	после первой обработки	после второй обработки	перед созреванием
Контроль (без обработок)	10	19	23	59	95	139
Лигногумат	13	24	27	59	118	165
Энерген Экстра	11	22	28	60	103	147
Сульфат цинка	12	24	26	60	106	145

Таблица 2. Влияние водорастворимых удобрений на урожайность дыни (среднее за 2 года)
Table 2. Effect of water-soluble fertilizers on melon yield (average for 2 years)

Варианты опыта	Урожайность, т/га	1 сбор, % от общей урожайности	Средняя масса плода, кг
Контроль (без обработок)	11,3	85,8	1,7
Лигногумат	15,9	77,3	1,8
Энерген Экстра	15,5	79,9	1,8
Сульфат цинка	13,4	79,3	1,7
НСР ₀₅	0,65		0,13

сти при использовании препарата Лигногумат превышают варианты Энерген Экстра и Сульфат цинка на 2,6-18,7%. Наибольшая средняя масса плода зафиксирована после обработки растений удобрениями Лигногумат и Энерген Экстра – 1,8 кг, а наименьшая – при обработке Сульфат цинком – 1,7 кг (табл. 2).

находилось на достаточно высоком уровне и варьировало в пределах 36,7-40,8 мг%. Наиболее высокое содержание витамина С было получено при применении для обработки растений препарата Сульфат цинка. Минимальные значения отмечены в варианте Энерген Экстра (обработка растений).

Таблица 3. Влияние водорастворимых удобрений на биохимический состав плодов дыни среднего срока созревания (среднее за 2 года)
Table 3. Effect of water-soluble fertilizers on the biochemical composition of melon fruits of average ripening period (average for 2 years)

Варианты опыта	Сухое вещество, %	Общий сахар, %	Моносахара, %	Сахароза, %	Витамин С, мг%	Кислотность, %	Нитраты,
Контроль (без обработок)	13,3	11,4	3,2	7,7	40,4	0,134	24
Лигногумат	14,3	11,6	3,2	8,0	40,5	0,118	25
Энерген Экстра	14,1	12,1	3,3	8,4	36,7	0,118	28
Сульфат цинка	13,3	10,8	3,1	7,3	40,8	0,118	25
НСР ₀₅	0,38	0,23			0,98		

В исследованиях с бахчевыми культурами важно не только влияние новых агротехнических приемов на ростовые процессы, но и вкусовые достоинства получаемой продукции. В погодных условиях исследуемого периода во всех экспериментальных вариантах были получены плоды дыни с содержанием сухого вещества от 13,3% до 14,3%. Максимальное значение отмечено в варианте с применением для обработки растений удобрения Лигногумат, минимальное – при использовании Сульфат цинка. В целом, оно колебалось на уровне контроля. Пищевая ценность дыни обусловлена прежде всего высоким содержанием сахара, а вкусовая ценность – содержанием сахарозы [12]. Показатели общего сахара в плодах дыни находились на уровне контрольного варианта с максимальным значением в варианте Энерген Экстра. После применения препарата Энерген Экстра количество сахарозы в плодах превзошло все изучаемые варианты и составило 8,4%, что на 0,7% больше контроля.

Аскорбиновая кислота является одним из важных витаминов для организма человека. В природе это соединение образуется в клетках растений и некоторых животных. В организме человека аскорбиновая кислота не образуется, но так как она участвует во многих биохимических реакциях, существует постоянная потребность в её поступлении с пищей [13]. Плоды бахчевых культур употребляют преимущественно в свежем виде. Это особенно важно, так как механическая и термическая обработка продуктов питания растительного происхождения приводит к значительному снижению содержания данного витамина [14,15]. Содержание аскорбиновой кислоты

Основным показателем, который определяет экологическую безопасность всей бахчевой продукции, является количество нитратов в плодах [16]. Иванова Е.И. обратила внимание на то, что интенсивное накопление нитратов происходит при несбалансированном питании растений за счет возрастающих доз азота, особенно при капельном орошении [17]. Для применения новых водорастворимых удобрений при выращивании бахчевых культур необходимо грамотно рассчитывать дозы и виды удобрений, схемы использования. Безопасность полученной продукции после применения водорастворимых удобрений при выращивании дыни, была проверена с помощью определения наличия нитратов в плодах во всех изучаемых вариантах. Содержание нитратов у всех образцов составило 24-28 мг/кг, что значительно меньше ПДК (90 мг/кг) (табл. 3).

Заключение

В процессе проведенных исследований можно предположить повышение продуктивности испытываемого сортообразца дыни при использовании всех изучаемых водорастворимых препаратов. В вариантах с обработкой растений всеми видами удобрений отмечено увеличение вегетативной массы, урожайности по отношению к контролю. Отмечено, что содержание сахаров, аскорбиновой кислоты при всех вариантах обработки находилось на достаточно высоком уровне. Произведенная продукция была также проверена на содержание нитратов в плодах дыни. Показатели нитратов во всех изучаемых вариантах находились в пределах предельно допустимой концентрации (90 мг/кг).

• Литература

1. Кондратенко Л.Н., Глушко М.И., Герасименко М.Е. Сравнительная характеристика бахчевых культур на примере дыни и арбуза. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса». 2020. С.71-73. <https://doi.org/10.26150/PAFNC.2019.45.557-21-71-73> <https://www.elibrary.ru/iuikpi>
2. Mandizvo T., Odindo A. O., Mashilo J., Magwaza L. S. Drought tolerance assessment of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides* (L.H. Bailey) Mansf. ex Greb.) accessions based on morphological and physiological traits. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2022;(180):106-123. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.037>
3. Чукбар К.Т. Экологические основы выращивания бахчевых культур в условиях Абхазии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства юга России. Майкоп, 2018. С. 346-348. <https://www.elibrary.ru/zihqap>
4. Якимова О.В., Лазко В.Э., Благородова Е.Н. Эффективность применения листовой подкормки органическим удобрением Agrochelate на семеноводческих участках арбуза летнего посева. *Овощи России*. 2022;(1):67-71. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-67-71> <https://www.elibrary.ru/itqlyd>
5. Гамаюнова В.В., Коваленко О.А., Хоненко Л.Г. Сучасні підходи до ведення землеробської галузі на засадах біологізації та ресурсозбереження. Полтава, 2018. 324 с.
6. Lester G.E. Antioxidant, sugar, mineral, and phytonutrient concentrations across edible fruit tissues of orange-fleshed honeydew melon (*Cucumis melo* L.). *J. Agric. Food Chem.* 2008; 56(10):3694-3698. <http://doi.org/10.1021/jf8001735>
7. Колебошина Т.Г., Байбакова Н.Г., Варивода Е.А., Егорова Г.С. Сравнительная оценка новых сортов и гибридных популяций дыни. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2020;2(58):57-65. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-02-05> <https://elibrary.ru/aiahde>
8. Bhadouria R., Singh R., Singh V.K., Borthakur A., Ahamad A., Kumar G., Singh P. Agriculture in the Era of Climate Change: Consequences and Effects. *Climate Change and Agricultural Ecosystems*. 2019. P. 1-23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816483-9.00001-3>
9. 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> <https://elibrary.ru/tmsuzo>
10. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: Россельхозакадемия, 2011. 649 с.
11. Белик В.Ф., Бондаренко Г.Л. Методика полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве. М. 1979. 210 с.
12. Maksumova D.K., Ernazarova R.Sh., Zunnunova D.E., Gaffarova Z.A., Tairova K.Z., Isailovra Sh.Zh. Melon variety Mirzachul: characteristics. *Молодой ученый*. 2022;11(406):48-52. <https://www.elibrary.ru/gwxneo>
13. Никитина Л.П., Соловьёва Н.В. Клиническая витаминология. Чита, 2002. 66 с.
14. Санникова Т.А., Мачулкина В.А. Изменение содержания аскорбиновой кислоты и сахара при консервировании дыни. *Орошаемое земледелие*. 2018;(3):27-28. <https://www.elibrary.ru/ymzid>
15. Мари Р., Греннер Д., Мейес П., Родуэлл В. Биохимия человека: в 2-х томах. Т.1. М.: Мир, 1993. 389 с.
16. Баубекова Д.Г., Сопрунова О.Б., Байрамбеков Ш.Б., Полякова Е.В. Влияние средства защиты растений на основе *Bacillus atrophaeus* ВКПМ В-11474 на агрономические характеристики бахчевых культур в Астраханской области *Вестник Астраханского государственного технического университета*. 2022;1(73):25-29. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2022-1-25-29> <https://www.elibrary.ru/uzgvxf>
17. Санникова Т.А., Иванова Е.И., Мачулкина Т.А., Иванов А.П. Безопасную продукцию бахчевых культур можно получать на разных типах почв. *Картофель и овощи*. 2007;(5):29-30. <https://www.elibrary.ru/ibthxv>

• References

1. Kondratenko L.N., Glushko M.I., Gerasimenko M.E. Comparative characteristics of melons and melons using the example of melon and watermelon. Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference "Results and Prospects for the Development of the Agro-Industrial Complex". 2020. P. 71-73. <https://doi.org/10.26150/PAFNC.2019.45.557-21-71-73> <https://www.elibrary.ru/iuikpi> (In Russ.)
2. Mandizvo T., Odindo A. O., Mashilo J., Magwaza L. S. Drought tolerance assessment of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides* (L.H. Bailey) Mansf. ex Greb.) accessions based on morphological and physiological traits. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2022;(180):106-123. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.037>
3. Chukbar K.T. Ecological principles of growing melons and melons in the conditions of Abkhazia. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation) "Problems and prospects for the development of agriculture in the south of Russia. Maykop, 2018. P. 346-348. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/zihqap>
4. Yakimova O.V., Lazko V.E., Blagorodova E.N. Efficiency of foliar application with organic fertilizer agrochelat on seed plots of summer sowing watermelon. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(1):67-71. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-67-71> <https://www.elibrary.ru/itqlyd>
5. Gamayunova V.V., Kovalenko O.A., Khonenko L.G. Current approaches to the introduction of agricultural weeds in planting areas for biologization and resource conservation. Poltava, 2018. 324 p
6. Lester G.E. Antioxidant, sugar, mineral, and phytonutrient concentrations across edible fruit tissues of orange-fleshed honeydew melon (*Cucumis melo* L.). *J. Agric. Food Chem.* 2008;56(10):3694-3698. <http://doi.org/10.1021/jf8001735>
7. Koleboshina T.G., Baibakova N.G., Varivoda E.A., Egorova G.S. Comparative assessment of new varieties and hybrid populations of melon. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2020;2(58):57-65. (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-02-05> <https://elibrary.ru/aiahde>
8. Bhadouria R., Singh R., Singh V.K., Borthakur A., Ahamad A., Kumar G., Singh P. Agriculture in the Era of Climate Change: Consequences and Effects. *Climate Change and Agricultural Ecosystems*. 2019. P. 1-23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816483-9.00001-3>
9. 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://elibrary.ru/tmsuzo>
10. Litvinov S.S. Methodology of field experiment in vegetable growing. M.: Rosselkhozakademiya, 2011. 649 p. (In Russ.)
11. Belik V.F., Bondarenko G.L. Methodology of field experiment in vegetable and melon growing. M. 1979. 210 p. (In Russ.)
12. Maksumova D.K., Ernazarova R.Sh., Zunnunova D.E., Gaffarova Z.A., Tairova K.Z., Isailovra Sh.Zh. Melon variety Mirzachul: characteristics. *Young scientist*. 2022;11(406):48-52. <https://www.elibrary.ru/gwxneo>
13. Nikitina L.P., Solovyova N.V. Clinical vitaminology. Chita, 2002. 66 p. (In Russ.)
14. Sannikova T.A., Machulkina V.A. Changes in the content of ascorbic acid and sugar when canning melon. *Irrigated agriculture*. 2018;(3):27-28. <https://www.elibrary.ru/ymzid> (In Russ.)
15. Marie R., Grenner D., Mayes P., Rodwell V. Human biochemistry: in 2 volumes. T.1. M.: Mir, 1993. 389 p. (In Russ.)
16. Baubekova D.G., Soprunova O.B., Bairambekov Sh.B., Polyakova E.V. Influence of plant protectives based on bacillus atrophaeus b-11474 on agronomic characteristics of melons in Astrakhan region. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2022;1(73):25-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2022-1-25-29> <https://www.elibrary.ru/uzgvxf>
17. Sannikova T.A., Ivanova E.I., Machulkina V.A., Ivanov A.P. Safe product of melon crops can be gathered at during soil types. *Potato and vegetables*. 2007;(5):29-30. <https://www.elibrary.ru/ibthxv> (In Russ.)

Об авторах:

Елена Александровна Галичкина – старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-9603-7638>, SPIN-код: 5295-2933, BBSOS34@yandex.ru
Елена Александровна Варивода – старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-5580-4813>, SPIN-код: 4463-6289, автор для переписки, elena-varivoda@mail.ru

About the Authors:

Elena A. Galichkina – Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-9603-7638>, SPIN-code: 5295-2933, Corresponding Author, BBSOS34@yandex.ru
Elena A. Varivoda – Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-5580-4813>, SPIN-code: 4463-6289, Corresponding Author, elena-varivoda@mail.ru

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-85-91>
УДК: 635.656:631.531.027

О.В. Путина^{1*}, О.В. Путин¹,
В.А. Жуков^{2*}, А.Г. Беседин¹

¹ Крымская опытно-селекционная станция – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Вавилова» 353384, Россия, Краснодарский край, г. Крымск, ул. Вавилова, 12.

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии» 196608, Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин-8, ш. Подбельского, 3.

³ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Вавилова» 190031, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44

*Автор для переписки: olga-rhji@mail.ru

Финансирование. В работе использовались образцы из коллекции генетических ресурсов растений ВИР. Исследование проводилось при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2020-911 от 16.11.2020 о предоставлении гранта в форме субсидии из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

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

Вклад авторов: О.В. Путина: концептуализация, методология, проведение исследования. О.В. Путин: проведение исследования. В.А. Жуков: концептуализация. А.Г. Беседин: методология. Все авторы принимали участие в написании статьи и ее редактировании.

Для цитирования: Путина О.В., Путин О.В., Жуков В.А., Беседин А.Г. Влияние дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum* на растения овощного гороха. *Овощи России*. 2024;(4):85-91. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-85-91>

Поступила в редакцию: 12.05.2024

Принята к печати: 10.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

Olga V. Putina^{1*}, Oleg V. Putin¹,
Vladimir A. Zhukov^{2*}, Anatoliy G. Besedin¹

¹ Krymsk Experiment Breeding Station – Branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources” (Krymsk EBS VIR Branch) 353384, Krasnodar Region, Krymsk, Vavilov St., 12

² Federal State Budget Scientific Institution “All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology” 196608, Russia, Saint Petersburg, Pushkin-8, Podbelsky ch., 3.

³ Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources” 190031, Russia, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 42, 44.

Funding. The work used samples from the VIR Collections of Plant Genetic Resources. The article was made with support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance with agreement № 075-15-2020-911 date 16.11.2020 on providing a grant in the form of subsidies from the Federal budget of Russian Federation. The grant was provided for state support for the creation and development of a World-class Scientific Center “Agrotechnologies for the Future”.

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

Authors' Contribution: O.V. Putina: conceptualization, methodology, research implementation. O.V. Putin: conducting research. V.A. Zhukov: conceptualization. A.G. Besedin: methodology. All authors took part in writing the manuscript and editing it.

For citation: Putina O.V., Putin O.V., Zhukov V.A., Besedin A.G. Effect of additional inoculation with *Rhizobium leguminosarum* on vegetable pea plants. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):85-91. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-85-91>

Received: 12.05.2024

Accepted for publication: 10.06.2024

Published: 08.07.2024

Влияние дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum* на растения овощного гороха

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Зерно овощных сортов гороха перерабатывают на консервных предприятиях, замораживают, сушат, употребляют в свежем виде. Промышленное выращивание гороха можно сделать более экологически безопасным, применяя препараты, которые содержат бактерии стимулирующие рост, например, виды *Rhizobium*. При дополнительной инокуляции ризобактериями бобовые культуры имеют более высокие значения биохимических показателей, признаков характеризующих вегетативное развитие и урожайности. Повышается их иммунитет и устойчивость к абиотическим стрессам.

Материал и методика. Цель наших исследований заключалась в оценке влияния дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum* штамма 245a на биометрические, физиологические параметры и урожайность сортов овощного гороха. Эксперимент проводили на Крымской ОСС – филиале ВИР (Краснодарский край, г. Крымск). Изучали 6 коммерческих сортов селекции станции: Прима, Маяк, Альфа 2, Веста, Парус (безлисточкового морфотипа) и Патриот. Семена обрабатывали за день до посева водным раствором препарата Ризоторфин (производство «ЭКОС-БИОПРЕПАРАТЫ», г. Санкт-Петербург) и водой – в контрольном варианте.

Результаты. Применение препарата оказало ростостимулирующее действие на растения овощного гороха. При использовании Ризоторфина установлено увеличение значений биометрических показателей, физиологических и урожайности. Наблюдалось замедление перезревания зерна в фазу технической спелости. Эффективность применения препарата зависела от условий года. Максимальная разница между показателями изучаемых признаков по вариантам контроль и препарат была в 2023 году – с равномерным распределением осадков и оптимальными температурами. Выявлена генотип-зависимая реакция растений овощного гороха на обработку семян бактериями *Rhizobium leguminosarum* штамма 245a. Наиболее отзывчив на дополнительную инокуляцию – сорт Парус безлисточкового морфотипа. Показатели большинства биометрических и физиологических признаков, а также урожайность у данного генотипа были значимо выше в варианте с применением препарата Ризоторфин. На основании полученных результатов мы рекомендуем применять препарат при выращивании сорта Парус на товарное производство.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

горох овощной, *Rhizobium leguminosarum*, биометрические показатели, сухое вещество, урожайность, стресс

Effect of additional inoculation with *Rhizobium leguminosarum* on vegetable pea plants

ABSTRACT

Relevance. Grain of vegetable pea varieties is processed at canning factories, frozen, dried, and consumed fresh. Industrial cultivation of peas can be made more environmentally friendly by using biological preparations that contain growth-stimulating bacteria, for example *Rhizobium* species. With additional inoculation with rhizobacteria, legumes have higher values of traits characterizing vegetative development, biochemical parameters and yield; their immunity and resistance to abiotic stress increases as well.

Methodology. The aim of our study was to evaluate the effect of additional inoculation of *Rhizobium leguminosarum* strain 245a on biometric and physiological parameters and yield of vegetable pea varieties. The experiment was carried out at Krymsk Experiment Breeding Station – a branch of VIR (Krasnodar Region, Krymsk). We studied six commercial cultivar: Prima, Mayak, Alpha 2, Vesta, Parus (leafless morphotype) and Patriot. The seeds were treated the day before sowing with an aqueous solution of the biopreparation Rhizotorfin (produced by ECOS BIOPREPARATIONS, St.Petersburg) and with water in the control variant.

Results. The use of the preparation had a growth-stimulating effect on vegetable pea plants. An increase in the length of plants, the height of attachment of the lower pod and the number of completed pods on the plant was found. An increase in the content of dry matter in the total biomass of plants, stems with leaves and pods was noted when using Rhizotorfin. Also, inoculation with rhizobacteria contributed to an increase in yield. The effectiveness of the biopreparation depended on the conditions of the year. The maximum difference between the values of the studied traits for the control and treatment variants was in 2023 - with a uniform distribution of precipitation and optimal temperatures during the growing season. A genotype-dependent reaction of vegetable pea plants to seed treatment with bacteria *Rhizobium leguminosarum* strain 245a was revealed. The most responsive to additional inoculation is the variety Parus of the leafless morphotype. The values of most biometric and physiological traits and yield in this genotype were significantly higher in the variant with the use of the Rhizotorfin biopreparation. Based on the results obtained, we recommend using the Rhizotorfin biopreparation when growing the variety Parus for commercial production.

KEYWORDS:

vegetable peas, *Rhizobium leguminosarum*, biometric indicators, dry matter, yield, stress

Введение

Широкое распространение алиментарно-ассоциированных заболеваний, связанных с недостатком или переизбытком веществ, поступающих в организм, вызывает социальные и экономические риски не только для отдельного человека, но и для государств. Устойчивое развитие обеспечивается здоровым населением, для которого необходимо качественное улучшение питания и доступ к безопасным продуктам [1, 2].

Горох овощной, как и другие зернобобовые культуры, в первую очередь – источник протеина – строительного материала для организма. В пересчете на сухое вещество в его семенах содержится в среднем 25% общего белка (состоящего из альбумина и запасующих глобулинов легумина и вицилина) с перевариваемостью *in vitro* более 90% (89,3-95,6%). Такой белок ценен в составе зерна гороха и в качестве изолята добавляемого в другие продукты питания для повышения их функциональности и питательной ценности. Наличие большого числа незаменимых аминокислот, высокоамилозного крахмала, макро- и микроэлементов, витаминов и низкое содержание антипитательных и аллергенных веществ позволяет отнести овощной горох к ценной диетической культуре [3].

Зеленое зерно овощных сортов гороха в фазу технической спелости перерабатывают на консервных предприятиях, замораживают, сушат, употребляют в свежем виде. В процессе созревания окраска зерна теряется, увеличивается концентрация сухих веществ и крахмала, уменьшается содержание сахара, и повышается плотность [4, 5]. Благоприятный период для уборки в среднем составляет 6 дней и зависит от генотипа и климатических факторов. Изменение текстуры зерна это качественный показатель позволяющий определить оптимальное время уборки. Для его установления, при промышленном производстве овощного гороха, используют различные приборы, в том числе финометр [5, 6, 7]. Принцип их действия основан на замере силы потраченной на разрушение зерен выраженной в градусах. При созревании плотность зерна увеличивается, усилий на его разрушение требуется больше, соответственно, показатель прибора (градус) повышается. Важно, максимально замедлить процесс перезревания овощного гороха.

Промышленное выращивание гороха предполагает использование пестицидов [8] избыточное применение которых приводит к их накоплению в окружающей среде и товарной части растений, являющейся сырьем или конечным продуктом питания. Повысить экологическую безопасность производства возможно, заменяя химические препараты биологическими [9]. Для зернобобовых культур показан значительный положительный эффект от дополнительной инокуляции ризобактериями – симбионтами стимулирующими рост растений бобовых культур, образующих клубеньки. Растения в вариантах с использованием бактерий имеют более высокие значения биохимических, биометрических, физиологических показателей и урожайности [например 10, 11]. Повышается их сопротивляемость в отношении стрессовых факторов [12]. Ризобии, способные вступать в симбиоз с растениями гороха и образовывать клубеньки, присутствуют в почве на территории

большой части Российской Федерации, что характерно не для всех бобовых культур. Внесение ризобактерий в виде биопрепарата, дополнительно к имеющейся в почве аборигенной микрофлоре, может оказывать положительное влияние на растения. Недавние исследования показали, что у высокоотзывчивого на инокуляцию почвенными микроорганизмами зернового генотипа происходит замедление созревания семян [13]. Применительно к овощным сортам, описанное явление имеет большое значение для пролонгации периода созревания зерна в фазу технической спелости. Однако у растений гороха отмечена высокая сортоспецифическая реакция на обработку семян бактериями [14, 15]. Необходимо изучение проявления симбиотического взаимодействия между определенным генотипом и штаммом ризобий.

Цель наших исследований заключалась в оценке влияния дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum* штамма 245a на биометрические, физиологические параметры и урожайность сортов овощного гороха.

Материалы и методы

Исследование влияния применения биологического препарата Ризоторфин, содержащего штамм *Rhizobium leguminosarum* 245a на растения гороха овощного использования проводилось на Крымской OCC – филиале ВИР (Краснодарский край, г. Крымск) в 2021-2023 годах. Испытывали 6 коммерческих сортов селекции станции разных сроков созревания: Прима – очень ранний, Маяк и Альфа 2 – ранние, Веста – среднеранний, Парус (безлисточкового морфотипа) и Патриот – среднеспелые. Ризоторфин – для гороха, произведенный на базе предприятия «ЭКОС БИОПРЕПАРАТЫ» (г. Санкт-Петербург), получали ежегодно от производителя. Семена обрабатывали водным раствором препарата и дистиллированной водой (контроль) за день до посева. Норма расхода – 1 кг на 1 т семян. Посев осуществляли в оптимальные агрономические сроки в третьей декаде марта механизировано сеялкой СКС-6-10 на глубину 5-6 см. Площадь делянки составила 10 м², учетная площадь – 1 м². Повторность опыта трехкратная. Содержание сухих веществ определяли высушиванием частей растений при 105°C. Для измерения биометрических параметров брали снопы по 10 растений.

Изменение текстуры зерна овощного гороха в процессе созревания устанавливали при помощи финометра. Из выполненных бобов вымолачивали зерно. Далее, пробы помещали в финометр и снимали показания в условных градусах. Согласно ГОСТу 5312-2014 «Горох овощной свежий для консервирования», из сырья с показателями финометра 29-45 градусов получают консервы высшего сорта, 46-56 градусов – первого и 57-72 – второго. Замеры начинали проводить, когда показатели соответствовали высшему сорту, по всем вариантам опыта в трех повторностях. Учеты вели в течение 7 суток.

Определяли долю влияния генотипа (сорта), варианта обработки (контроль, препарат), среды (год) и взаимодействия факторов на результирующий признак проведением многофакторного дисперсионного анализа (Factorial ANOVA, LSD-test) с использованием пакета программ STATISTICA10.

Результаты и их обсуждение

Климатические факторы оказывают значительное влияние на рост, развитие растений гороха и симбиотическую активность ризобактерий. В 2021 году период от посева до всходов был переувлажненным, гидротермический коэффициент равнялся 10,1. До наступления фазы «цветение» прошло два ливневых дождя, интенсивность осадков составила 58,1 мм и 67,0. Большое количество влаги привело к заболачиванию почвы и ее переуплотнению. Низкий уровень аэрации способствовал угнетению корневой системы, что отрицательно отразилось на развитии растений овощного гороха. Недостаток кислорода в почве также негативен для ризобактерий. В 2022 году в период вегетации гороха осадки выпадали неравномерно, после появления всходов их практически не наблюдалось. Гидротермический коэффициент составил 0,7-0,8. Недостаток влаги компенсировали проведением двух поливов, в период вегетативного роста и бутонизации, с оросительной нормой 250 м³/га. Рост сортов овощного гороха в 2023 году проходил в более благоприятных условиях при равномерном распределении осадков. Значения гидротермического коэффициента находились в пределах от 1,3 для ранних сортов до 1,7 для поздних.

Овощные луцильные сорта гороха используются для переработки и потребления в свежем виде в фазу «техническая спелость», когда нижние бобы еще зеленые и имеют характерную сеточку. В эту фазу проводили оценку зависимости биометрических параметров, физиологических и урожайности сортов овощного гороха от дополнительной инокуляции *Rhizobium leguminosarum* штамм 245а.

По результатам трехлетнего эксперимента (2021-2023 годы) изменчивость изучаемых биометрических параметров зависела от сорта гороха и взаимодействия факторов сорт*год (табл.1). Генотипы значительно отличались по показателям вегетативных и продуктивных признаков, что подтверждает их контрастность. Среднее значение высоты растений по сортам в 2021 году составило 44,6 см, 2022 – 52,1, 2023 – 58,6. Высота прикрепления нижнего боба находилась на уровне 33,9 см в 2021 году; 44,3 – 2022 и 43,9 – 2023. Высота растений и высота прикрепления нижнего боба у всех сортов были ниже в 2021 году – менее благоприятном по климатическим показателям в период вегетации гороха. Для признаков, характеризующих продуктивность, отмечена иная тенденция. По генотипам, среднее значение числа выполненных бобов на растении составило 3,9 шт. в

Таблица 1. Средние показатели биометрических параметров сортов овощного гороха и характеристика их зависимости от источников вариации (Краснодарский край, 2021-2023 гг.).
Table 1. Values of biometric parameters of vegetable pea varieties and characteristics of their dependence on sources of variation (Krasnodar Region, 2021-2023).

Сорт	Вариант обработки	Длина стебля, см.	Высота прикрепления нижнего боба, см.	Выполненных бобов на растении, шт.	Длина боба, см.	Зерен в бобе, шт.
Прима	контроль	41,9	28,0	3,2	7,5	5,9
	препарат	45,6	31,1	3,5	7,2	5,3
Маяк	контроль	38,4	30,0	3,3	8,0	6,4
	препарат	40,4	29,8	3,8	8,2	6,4
Альфа 2	контроль	54,7	43,9	3,9	7,4	5,5
	препарат	58,1	42,4	4,3	7,4	5,4
Веста	контроль	55,7	46,1	4,5	8,0	6,3
	препарат	56,3	46,1	4,3	7,9	6,2
Парус	контроль	53,8	44,6	4,1	7,5	5,8
	препарат	57,2	47,5	4,4	7,6	6,2
Патриот	контроль	58,5	48,0	4,2	8,6	6,6
	препарат	60,3	50,8	4,3	8,3	6,5
среднее значение	контроль	50,0	40,1	3,9	7,8	6,0
	препарат	53,0	41,2	4,1	7,8	6,0
Источник вариации Source of Variation		значение p (уровень значимости влияния фактора) p value (significance level of influence of factors)				
Сорт		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Вариант обработки		0,000	0,032	0,028	0,331	0,344
Год		0,000	0,000	0,000	0,000	0,226
Сорт*Вариант обработки		0,757	0,061	0,208	0,086	0,461
Сорт*Год		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Вариант обработки*Год		0,026	0,044	0,194	0,009	0,147
Сорт*Вариант обработки*Год		0,037	0,309	0,146	0,088	0,000

41,9 – жирным выделены значимые отличия между показателями контроля и препарата, по результатам многофакторного дисперсионного анализа (Factorial ANOVA, Fisher LSD, при $p < 0,05$)

41,9 – Significant differences between the values of 'control' and the 'preparation' are highlighted in bold, according to the results of multivariate analysis of variance (Factorial ANOVA, Fisher LSD, при $p < 0,05$)

2021 году, 3,2 – 2022, 4,8 – 2023. Длина боба в 2021 году и 2023 была 8,0 см., 2022 – 7,4. Число зерен в бобе практически не отличалось по годам наблюдений и составило 5,9-6,2 шт. Показатели числа выполненных бобов на растении и длины бобов у большинства изучаемых сортов были самыми низкими в 2022 году. В этот год период формирования и налива бобов проходил в условиях недостаточной обеспеченности влагой. Число бесплодных узлов и общее на растении, ширина боба имели значения характерные для каждого сорта и значимо не отличались между годами наблюдений и вариантами применения препарата (данные не представлены).

Выявлено статистически значимое влияние препарата Ризоторфин на биометрические признаки овощного гороха. При использовании препарата, в среднем по сортам, длина растений, высота прикрепления нижнего боба и число выполненных бобов на растении были выше, в сравнении со значениями контрольного варианта (табл.1). Отсутствие значи-

мой взаимосвязи между сортом и вариантом обработки по биометрическим показателям указывает на зависимость реакции растений на применение дополнительной инокуляции ризобиями от генотипа. В варианте с использованием препарата отмечено статистически значимое увеличение высоты растений сортов Прима (+3,7 см к показателю контрольного варианта), Альфа 2 (+3,3), Парус (+3,4), и высоты прикрепления нижнего боба у сортов Прима (+3,1), Парус (+2,8), Патриот (+2,8). Для сорта Маяк установлено повышение числа выполненных бобов на растении при применении Ризоторфина на 0,4 шт. в сравнении со значением контроля.

Эффективность симбиотического взаимодействия между генотипами овощного гороха и ризобактериями оценивали по сухой надземной биомассе растений и его частей. Изменчивость показателей изучаемых признаков была обусловлена генотипом, условиями выращивания, вариантом применения дополнительной инокуляции, и взаимодействием

Таблица 2. Сухая масса растений и урожайность сортов овощного гороха с характеристикой их зависимости от источников вариации (Краснодарский край, 2021-2023 годы).
Table 2. The content of dry substances in the above-ground biomass of plants and the yield of vegetable pea varieties with characteristics of their dependence on sources of variation (Krasnodar Region, 2021-2023).

Сорт	Вариант обработки	Сухая масса, г/м ²				Урожайность зеленого горошка, кг/м ²
		общая	стеблей и листьев	бобов	лопаток	
Прима	контроль	425,5	185,6	231,0	8,9	0,62
	препарат	490,6	217,9	255,5	17,2	0,70
Маяк	контроль	358,4	146,5	206,9	5,0	0,55
	препарат	415,9	174,1	236,7	5,2	0,64
Альфа 2	контроль	385,9	203,8	169,7	12,4	0,43
	препарат	425,0	222,0	186,1	17,0	0,51
Веста	контроль	519,7	268,3	240,4	11,0	0,70
	препарат	438,5	235,9	196,3	6,3	0,62
Парус	контроль	448,0	227,8	210,6	9,6	0,58
	препарат	565,4	296,0	261,5	7,9	0,72
Патриот	контроль	544,5	264,0	274,1	6,4	0,74
	препарат	595,2	288,8	299,0	7,4	0,85
Год						
2021	контроль	380,0	159,4	213,0	2,0	0,54
	препарат	382,8	161,9	213,5	1,9	0,54
2022	контроль	418,0	220,8	195,3	7,6	0,47
	препарат	475,6	251,8	221,9	7,5	0,56
2023	контроль	542,9	267,8	258,1	17,0	0,80
	препарат	606,8	303,7	282,1	21,1	0,91
среднее значение	контроль	447,0	216,0	222,1	8,9	0,60
	препарат	488,4	239,1	239,2	10,2	0,67
Source of Variation Источник вариации		значение p (уровень значимости влияния фактора) p value (significance level of influence of factors)				
Сорт		0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Вариант обработки		0,007	0,0025	0,048	0,376	0,005
Год		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Сорт*Вариант обработки		0,008	0,012	0,046	0,136	0,140
Сорт*Год		0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Вариант обработки*Год		0,186	0,144	0,385	0,405	0,167
Сорт*Вариант обработки*Год		0,501	0,365	0,712	0,309	0,505

Лопатка – плоский боб на начальном этапе развития

ем факторов год*вариант обработки, сорт*вариант обработки (табл.2). Сухая надземная биомасса растений значительно отличалась по годам наблюдений и составила 381,4 г/м² в 2021 году, 446,8 – 2022 году, 574,8 – 2023 году. Показатели сухой массы стеблей с листовым аппаратом также различались. Самое низкое значение признака отмечено в 2021 году – 160,7 г/м², в 2022 году и 2023 показатели были выше на 75,6 и 125,0 соответственно. Сухая масса бобов в 2021 и в 2022 годах значимо не отличалась и составила 231,2 г/м² и 208,6. Максимальный уровень отмечен в 2023 году – 270,1 г/м². На плоские бобы в фазе «лопатка» приходилось в 2021 году – 7,5 г/м² ассимилятов, в 2022 – 2,0, в 2023 – 19,0. В неблагоприятных условиях 2021 года сухая масса вегетативных и генеративных частей растений была значимо ниже, в сравнении с показателями 2023 года. Формирование вегетативных органов растений в 2022 году проходило при достаточном обеспечении влагой, что способствовало накоплению ассимилянтов в стеблях с листьями и надземной биомассе. Низкое значение сухой массы бобов обусловлено отсутствием осадков и высокими температурами в период образования и налива бобов. Самые высокие значения всех изучаемых признаков были в 2023 году – наиболее благоприятном по климатическим факторам для роста и развития растений овощного гороха.

Применение препарата оказало значительное влияние на сухую массу растений, стеблей и листьев, а также бобов. Средние по сортам значения данных признаков выше в варианте с использованием Ризоторфина, в сравнении с контролем (табл. 2). Данная тенденция прослеживалась не во все годы наблюдений. В условиях 2021 года по изучаемым параметрам между вариантом с применением препарата и без него разницы не наблюдалось. Значимые отличия установлены при развитии растений в более благоприятных погодных условиях 2022 и 2023 годов. Наиболее отзывчивы на дополнительную инокуляцию сорта Веста и Парус. Для сорта Веста характерна

негативная реакция, выраженная в значительном уменьшении показателей сухой массы растений (-84,14 г/м² к контролю) и бобов (-44,1). Значительный положительный эффект применения препарата выявлен для растений сорта Парус безлисточкового морфотипа, у которого большинство показателей сухой массы выше в этом варианте (табл. 2).

Скорость перезревания сортов овощного гороха учитывали от начала фазы «техническая спелость», когда показатель плотности зерна, измеряемый финометром, был 29-45 градусов. Сравнение средних значений по сортам показало, что самые высокие темпы созревания у сорта Парус (6,8 град./сут.). Медленнее всех перезревает зерно сорта Альфа 2 (5,1 град./сут.). Показатели сортов Веста, Прима, Патриот, Маяк составили 5,8 град./сут., 5,7, 5,5, 5,3 соответственно. Интенсивность перезревания овощного гороха зависит от климатических факторов. Засушливые условия, высокая температура и недостаток влаги, приводят к увеличению суточного изменения градусов и сокращают оптимальный период уборки до 2-3 суток [4, 7]. Наши результаты подтверждают эти данные. При жарких и засушливых условиях 2021 и 2022 годов в период формирования бобов значения признака были 6,1 град./сут. и 5,2 соответственно. В 2023 году процесс созревания проходил медленнее, показатель равнялся 4,2 град./сут. Применение препарата несколько замедлило интенсивность перезревания овощного гороха. Данный показатель, в среднем по эксперименту, составил 5,8 град./сут. для контрольного варианта и 5,6 – при использовании дополнительной инокуляции. Тенденция наблюдалась в 2021 и 2022 гг., в условиях 2023 года разница между вариантами обработки составила 0,1 град./сут. Наибольшие отличия между показателями отмечены у сорта Альфа 2, значения в варианте с применением препарата Ризоторфин ниже на 0,7 град./сут., в сравнении с контролем. Для остальных сортов разница между показателями контроля и препарата не превышала 0,2 град./сут. (рис. 1).

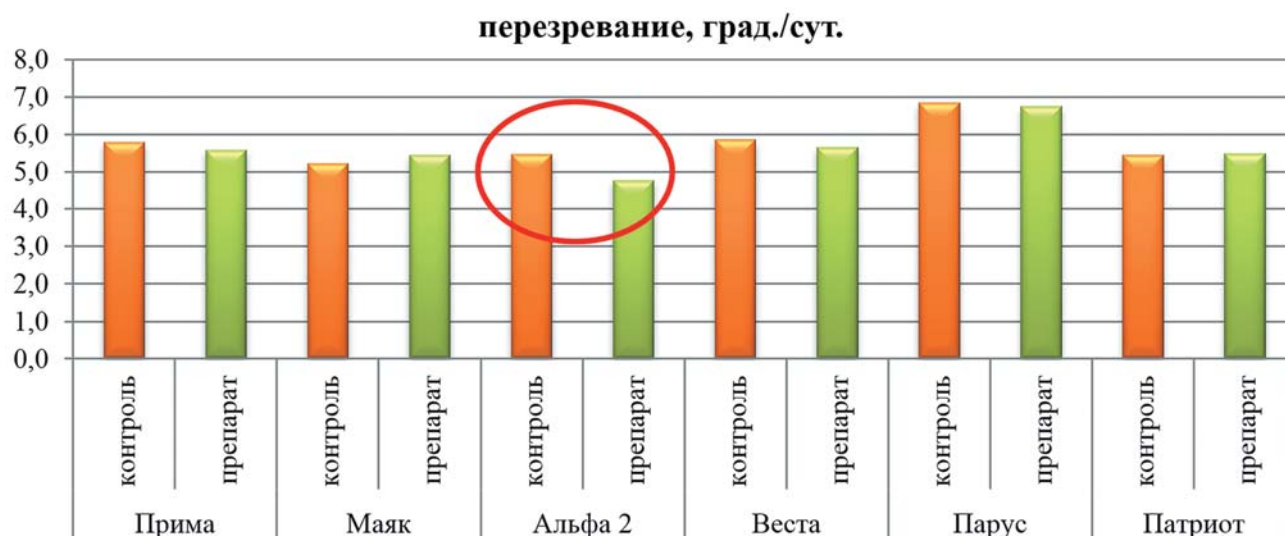


Рис. 1. Интенсивность изменения плотности зерна овощных сортов гороха за сутки в зависимости от применения препарата Ризоторфин (Краснодарский край, 2021-2023 годы)

Fig. 1. The intensity of changes in grain density of vegetable pea varieties per day depending on the use of the biopreparation Rhizotorfin (Krasnodar region, 2021-2023)

Урожайность зеленого горошка зависела от сорта, варианта применения препарата, условий года выращивания и взаимодействия факторов сорт*год (табл.2). Максимальное значение признака было у сорта Патриот (0,80 кг/м²) среднеспелой группы созревания, минимальное – у раннего Альфа 2 (0,47). Урожайность Примы (0,66 кг/м²), Маяка (0,60), Весты (0,66) и Паруса (0,65) значимо не отличалась. В условиях 2021 и 2022 годов, в среднем по эксперименту, сформирован сопоставимый урожай зеленого горошка – 0,54 кг/м² и 0,52 соответственно. Значимо выше показатель 2023 года – 0,86 кг/м². Значительное положительное влияние на урожайность генотипов оказало применение дополнительной инокуляции семян бактериями *Rhizobium leguminosarum* 245a (табл.2). Использование препарата привело к увеличению показателя у сорта Прима на 11,8%, Маяк – 16,1, Альфа 2 – 17,8, Парус – 24,3, Патриот – 14,4, в сравнении со значениями контроля. Проведение многофакторного дисперсионного анализа подтвердило значимость отличий между вариантами обработки для сорта Парус.

Применение дополнительной инокуляции ризобактериями оказало ростостимулирующий эффект на растения гороха овощного. Значения всех изучаемых признаков были выше в данном варианте (табл.1 и 2, рис.1). Действие препарата, в большей степени, проявлялось в годы с благоприятными погодными условиями на начальных этапах роста растений овощного гороха, когда происходил процесс колонизации корневой системы растений ризобактериями, и начиналось формирование клубеньков. Влияние недостатка кислорода в пахотном горизонте почвы на бактерии *Rhizobium leguminosarum* мало изучено, однако, можно предположить, что оно оказывает значительное негативное воздействие, также как повышенная кислотность почвы [16, 17] или высокие температуры [18]. В 2021 году, после инокуляции и посева семян в пахотном горизонте почвы сложились условия недостаточной аэрации, что негативно отразилось на процессе взаимодействия между корневой системой растений и симбионтами. Показатели большинства изучаемых признаков значимо не отличались по вариантам применения препарата (табл.1 и 2). Условия 2022 года были более засушливыми, однако, проведение одного полива после посева и второго в период бутонизации способствовали симбиозу между горохом и ризобактериями. В большей степени это отразилось на физиологических признаках характеризующих вегетативное развитие – сухая масса растений и стеблей с листовым аппаратом – их показатели были значимо выше при применении Ризоторфина в сравнении с контролем (табл.2). Сухая масса бобов и урожайность были незначительно выше при использовании препарата. В оба года изучения отмечено снижение интенсивности созревания зерна, показатель в варианте с применением препарата был ниже контрольного на 0,2 град./сут. Наибольший эффект дополнительной инокуляции отмечен в 2023 году – с равномерным распределением осадков и оптимальными температу-

рами на протяжении всего периода вегетации гороха. Значения большинства биометрических параметров, физиологических и урожайности были выше при использовании препарата (табл.1 и 2). Влияния применения Ризоторфина на скорость созревания, в среднем по генотипам, не установлено.

Изучение влияния дополнительной инокуляции гороха посевного бактериями *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* показало зависимость эффективности симбиоза от генотипа [14, 15]. Данная тенденция наблюдалась и в нашем трехлетнем эксперименте, при оценке отзывчивости овощных сортов на применение коммерческого штамма ризобактерий. Для большинства генотипов отмечены более высокие значения биометрических признаков, физиологических и урожайности в варианте с применением препарата Ризоторфин (табл.2). Растения сорта Веста среднераннего срока созревания, выращенные с применением препарата и без него, по биометрическим показателям не отличались (табл.1). Разница наблюдалась в значениях физиологических признаков и урожайности, они были выше в контрольном варианте (табл.2). Для растений сорта Парус безлисточкового морфотипа среднего срока созревания установлен значительный положительный эффект от дополнительной инокуляции семян ризобактериями. Длина стебля, высота прикрепления нижнего боба, сухая масса надземной части растений, стеблей с листовым аппаратом, бобов и урожайность были значимо выше в варианте с применением препарата Ризоторфин (табл.1 и 2).

Выводы

Установлено значительное ростостимулирующее влияние применения препарата Ризоторфин содержащего штамм *Rhizobium leguminosarum* 245a на растения овощного гороха. Использование препарата привело к увеличению длины растений, высоты прикрепления нижнего боба и числа выполненных бобов на растении, повышению сухой массы растений, стеблей с листьями, а также бобов. Наблюдалось снижение интенсивности созревания зерна. Дополнительная инокуляция ризобактериями способствовала повышению урожайности зеленого горошка в фазу технической спелости.

Эффективность применения ризобактерий на овощном горохе зависела, в том числе, от погодных условий года. Нарушение водно-воздушного режима в пахотном горизонте почвы в начале симбиотического взаимодействия нивелировало разницу между вариантами применения препарата по большинству изучаемых признаков.

Отмечена генотип-зависимая реакция растений овощного гороха на обработку семян бактериями *Rhizobium leguminosarum* штамма 245a.

Для растений сорта Парус безлисточкового морфотипа выявлен значительный положительный эффект от дополнительной инокуляции ризобактериями, в том числе, на урожайность зеленого горошка. На основании полученных результатов мы рекомендуем применять препарат Ризоторфин, при выращивании данного сорта на товарное производство.

• Литература

1. Итоги второй Международной конференции по вопросам питания. Семьдесят вторая сессия всемирной ассамблеи здравоохранения. ВОЗ; 2019 [протитировано 13.05.2024]. Доступно: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA72/A72_58-ru.pdf
2. Ускорение мер по обеспечению безопасности пищевых продуктов. Семьдесят третья сессия всемирной ассамблеи здравоохранения. ВОЗ; 2020 [протитировано 13.05.2024]. Доступно: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA73/A73_R5-ru.pdf
3. Кайгородова И.М., Ушаков В.А., Голубкина Н.А., Котляр И.П., Пронина Е.П., Антошкина М.С. Пищевая ценность, качество сырья и продовольственное значение культуры гороха овощного (*Pisum sativum* L.). *Овощи России*. 2022;(3):16-32. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-16-32> <https://elibrary.ru/wlxvhj>
4. Дрозд А.М., Самарина Л.Н. Изменение продуктивности овощных сортов гороха и качества зеленого горошка в процессе его перезревания. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1976;56(2):29-39.
5. Rutledge P.J., Board P.W. Comparison of physical methods for estimating the maturity of raw, frozen and cooked peas. *Journal of Texture Studies*. 1980;11(4):379-388. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1980.tb01316.x>
6. Anderson J.A.D., White J.G.H. The relationship between green pea yield and tenderometer reading. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*. 1974;2:31-33. <https://doi.org/10.1080/03015521.1974.10427666>
7. Fallon E., Tremblay N., Desjardins Y. Relationships among growing degree-days, tenderness, other harvest attributes and market value of processing pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in Quebec. *Canadian Journal of Plant Science*. 2006;86(2):525-537. <https://doi.org/10.4141/P04-144>
8. Беседин А.Г. Сорта и основные приемы возделывания гороха овощного на Кубани. *Овощи России*. 2013;(1):86-89. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-1-86-89> <https://elibrary.ru/qcjhxr>
9. Šunjka D., Mechora Š. An alternative source of biopesticides and improvement in their formulation—Recent advances. *Plants*. 2022;11(2):172. <https://doi.org/10.3390/plants11223172>
10. Hafeez F., Shah N., Malik K. Field evaluation of lentil cultivars inoculated with *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae strains for nitrogen fixation using nitrogen-15 isotope dilution. *Biol Fertil Soils*. 2000;(31):65–69. <https://doi.org/10.1007/s003740050625>
11. Mishra P.K., Bisht S.C., Jeevanandan K., Kumar S., Bisht J.K., Bhatt J.C. Synergistic effect of inoculating plant growth-promoting *Pseudomonas* spp. and *Rhizobium leguminosarum*-FB1 on growth and nutrient uptake of rajmash (*Phaseolus vulgaris* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2014;60(6):799-815. doi.org/10.1080/03650340.2013.843773
12. Glick B.R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica* 2012. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
13. Mamontova T., Afonin A.M., Ihling C., Soboleva A., Lukasheva E., Sulima, A.S., Shtark O.Y., Akhtemova G.A., Povydysh M.N., Sinz A., Frolov A., Zhukov V.A., Tikhonovich I.A. Profiling of seed proteome in pea (*Pisum sativum* L.) lines characterized with high and low responsiveness to combined inoculation with nodule bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. *Molecules*. 2019;24(8):1603. <https://doi.org/10.3390/molecules24081603>
14. Zhukov V.A., Akhtemova G.A., Zhermakov A.I., Sulima A.S., Shtark O.Y., Tikhonovich I.A. Evaluation of the symbiotic effectiveness of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in pot experiment. *Agric. Biol.* 2017;52:607-614. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.607>
15. Штарк О.Ю., Данилова Т.Н., Наумкина Т.С., Васильчиков А.Г., Чеботарь В.К., Казаков А.Е., Жернакова А.И., Неманкин Т.А., Прилепская Н.А., Борисов А.Ю., Тихонович И.А. Анализ исходного материала гороха посевного (*Pisum sativum* L.) для селекции сортов с высоким симбиотическим потенциалом и выбор параметров для его оценки. *Экологическая генетика*. 2006;4(2):22-28. <https://elibrary.ru/hznusv>
16. Drew E.A., Denton M.D., Sadras V.O., Ballard R.A. Agronomic and environmental drivers of population size and symbiotic performance of *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae in Mediterranean-type environments. *Crop and Pasture Science*. 2012;63(5):467-477. <https://doi.org/10.1071/CP12032>
17. Fettel N.A., Evans C.M., Carpenter D.J., Brockwell J. Residual effects from lime application on soil pH, rhizobial population and crop productivity in dryland farming systems of central New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2007;47(5):608-19. <https://doi.org/10.1071/EA06070>
18. Serova T.A., Kusakin P.G., Kitaeva A.B., Seliverstova E.V., Gorshkov A.P., Romanyuk D.A., Zhukov V.A., Tsyganov V.E. Effects of elevated temperature on *Pisum sativum* nodule development: I—Detailed characteristic of unusual apical senescence. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(24):17144. <https://doi.org/10.3390/ijms242417144>

• References

- Assembly. WHO; 2019 [cited 05/13/2024]. Available: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA72/A72_58-ru.pdf (In Russ.)
2. Accelerating food safety measures. Seventy-third World Health Assembly. WHO; 2020 [cited 05/13/2024]. Available: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA73/A73_R5-ru.pdf (In Russ.)
3. Kaigorodova I.M., Ushakov V.A., Golubkina N.A., Kotlyar I.P., Pronina E.P., Antoshkina M.S. Nutritional value, quality of raw materials and food value of vegetable pea culture (*Pisum sativum* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2022;(3):16-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-16-32> <https://elibrary.ru/wlxvhj>
4. Drozd A.M., Samarina L.N. Changes in the productivity of vegetable pea varieties and the quality of green peas during their overripening. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 1976;56(2):29-39. (In Russ.)
5. Rutledge P.J., Board P.W. Comparison of physical methods for estimating the maturity of raw, frozen and cooked peas. *Journal of Texture Studies*. 1980;11(4):379-388. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1980.tb01316.x>
6. Anderson J.A.D., White J.G.H. The relationship between green pea yield and tenderometer reading. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*. 1974;2:31-33. <https://doi.org/10.1080/03015521.1974.10427666>
7. Fallon E., Tremblay N., Desjardins Y. Relationships among growing degree-days, tenderness, other harvest attributes and market value of processing pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in Quebec. *Canadian Journal of Plant Science*. 2006;86(2):525-537. <https://doi.org/10.4141/P04-144>
8. Bessedin A.G. Varieties and basic techniques of pea cultivation in Kuban. *Vegetable crops of Russia*. 2013;(1):86-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-1-86-89> <https://elibrary.ru/qcjhxr>
9. Šunjka D., Mechora Š. An alternative source of biopesticides and improvement in their formulation—Recent advances. *Plants*. 2022;11(2):172. <https://doi.org/10.3390/plants11223172>
10. Hafeez F., Shah N., Malik K. Field evaluation of lentil cultivars inoculated with *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae strains for nitrogen fixation using nitrogen-15 isotope dilution. *Biol Fertil Soils*. 2000;(31):65–69. <https://doi.org/10.1007/s003740050625>
11. Mishra P.K., Bisht S.C., Jeevanandan K., Kumar S., Bisht J.K., Bhatt J.C. Synergistic effect of inoculating plant growth-promoting *Pseudomonas* spp. and *Rhizobium leguminosarum*-FB1 on growth and nutrient uptake of rajmash (*Phaseolus vulgaris* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2014;60(6):799-815. doi.org/10.1080/03650340.2013.843773
12. Glick B.R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica* 2012. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
13. Mamontova T., Afonin A.M., Ihling C., Soboleva A., Lukasheva E., Sulima, A.S., Shtark O.Y., Akhtemova G.A., Povydysh M.N., Sinz A., Frolov A., Zhukov V.A., Tikhonovich I.A. Profiling of seed proteome in pea (*Pisum sativum* L.) lines characterized with high and low responsiveness to combined inoculation with nodule bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. *Molecules*. 2019;24(8):1603. <https://doi.org/10.3390/molecules24081603>
14. Zhukov V.A., Akhtemova G.A., Zhermakov A.I., Sulima A.S., Shtark O.Y., Tikhonovich I.A. Evaluation of the symbiotic effectiveness of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in pot experiment. *Agric. Biol.* 2017;52:607-614. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.607>
15. Shtark O.Y., Danilova T.N., Naumkina T.S., Vasilchikov A.G., Chebotar V.K., Kazakov A.E., Zhermakov A.I., Nemankin T.A., Prilepskaya N.A., Borisov A.Y., Tikhonovich I.A. Analysis of pea (*Pisum sativum* L.) source material for breeding of cultivars with high symbiotic potential and choice of criteria for its evaluation. *Ecological Genetics*. 2006;4(2):22-28. <https://elibrary.ru/hznusv>
16. Drew E.A., Denton M.D., Sadras V.O., Ballard R.A. Agronomic and environmental drivers of population size and symbiotic performance of *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae in Mediterranean-type environments. *Crop and Pasture Science*. 2012;63(5):467-477. <https://doi.org/10.1071/CP12032>
17. Fettel N.A., Evans C.M., Carpenter D.J., Brockwell J. Residual effects from lime application on soil pH, rhizobial population and crop productivity in dryland farming systems of central New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2007;47(5):608-19. <https://doi.org/10.1071/EA06070>
18. Serova T.A., Kusakin P.G., Kitaeva A.B., Seliverstova E.V., Gorshkov A.P., Romanyuk D.A., Zhukov V.A., Tsyganov V.E. Effects of elevated temperature on *Pisum sativum* nodule development: I—Detailed characteristic of unusual apical senescence. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(24):17144. <https://doi.org/10.3390/ijms242417144>

Об авторах:

Ольга Владимировна Путина – кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, автор для переписки: olga-rhji@mail.ru, SPIN-код: 3183-9952, <https://orcid.org/0000-0003-1013-7273>

Олег Владимирович Путин – кандидат с.-х. наук, научный работник, kross67@mail.ru, AuthorID: 844462

Владимир Александрович Жуков – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией генетики растительно-микробных взаимодействий, vzhukov@arriam.ru, SPIN-код: 2610-3670, <https://orcid.org/0000-0002-2411-9191>

Анатолий Григорьевич Беседин – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом генетических ресурсов и селекции овощных культур, kross67@mail.ru, AuthorID: 701520

About the Authors:

Olga V. Putina – Cand. Sci. (Biology), Researcher, SPIN-code: 3183-9952, <https://orcid.org/0000-0003-1013-7273>, Corresponding Author, olga-rhji@mail.ru

Oleg V. Putin – Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, kross67@mail.ru, AuthorID: 844462

Vladimir A. Zhukov – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Genetics of Plant-Microbe Interactions, vzhukov@arriam.ru, SPIN-code: 2610-3670, <https://orcid.org/0000-0002-2411-9191>

Anatoliy G. Bessedin – (Agriculture), Leading Researcher of the Department of Genetic Resources and Vegetable Breeding, kross67@mail.ru, AuthorID: 701520

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-92-98>
УДК: 635.9:57.017(470.31)

М.Ю. Грязнов, О.М. Савченко*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский Институт Лекарственных и Ароматических Растений» (ФГБНУ ВИЛАР) 117216, Россия, г. Москва, ул. Грина, д. 7

*Автор для переписки:
nordfenugreek@gmail.com

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы НИР ФГБНУ ВИЛАР «Поиск и выявление перспективных видов дикорастущих растений, изучение их ресурсного потенциала, формирование высокопродуктивных агроценозов лекарственных и ароматических культур путем создания новых сортов и разработки интенсивных, экологически безопасных технологий их возделывания» (№ FGUU-2022-0009).

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

Вклад авторов: Грязнов М.Ю.: изучение литературы, концептуализация, разработка методологии исследования, проведение исследований и подготовка материала для статьи, написание первоначального текста и редактирование рукописи. Савченко О.М.: изучение литературы, концептуализация, разработка методологии исследования, проведение исследований и подготовка материала для статьи, написание первоначального текста и редактирование рукописи.

Для цитирования: Грязнов М.Ю., Савченко О.М. Биологические особенности *Oenothera tetragona* Roth. в условиях культуры в Нечерноземной зоне России. *Овощи России*. 2024;(4):92-98. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-92-98>

Поступила в редакцию: 22.03.2024

Принята к печати: 29.05.2024

Опубликована: 08.07.2024

Mikhail Yu. Gryaznov, Olga M. Savchenko*

All-Russian scientific research Institute of medicinal and aromatic plants 7, Grin street, Moscow, Russia, 117216

*Corresponding Author:
nordfenugreek@gmail.com

Funding. The work was carried out within the framework of the research project of the Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian scientific research Institute of medicinal and aromatic plants (VILAR) "Search and identification of promising species of wild plants, studying their resource potential, the formation of highly productive agroecosystems of medicinal and aromatic crops by creating new varieties and developing intensive, environmentally friendly technologies for their cultivation" (No. FGUU-2022-0009).

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

Authors' contributions: Gryaznov M.Yu.: literature study, conceptualization, development of research methodology, conducting research and preparing material for the article, writing the original text and editing the manuscript. Savchenko O.M.: literature study, conceptualization, development of research methodology, conducting research and preparing material for the article, writing the original text and editing the manuscript.

For citation: Gryaznov M.Yu., Savchenko O.M. Biological features of *Oenothera tetragona* Roth. in the conditions of culture in the Non-Chernozem zone of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):92-98. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-92-98>

Received: 22.03.2024

Accepted for publication: 29.05.2024

Published: 08.07.2024

Биологические особенности *Oenothera tetragona* Roth. в условиях культуры в Нечерноземной зоне России

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Энотера четырехугольная – декоративное растение, используемое в народной медицине. До настоящего времени на территории Нечерноземной зоны РФ не проводились исследования биологических особенностей энотеры четырехугольной.

Цель работы – интродукционное и биологическое изучение энотеры четырехугольной в Нечерноземной зоне России в условиях Московской области.

Материал и методика. Опыт заложен двухмесячной рассадой по схеме 60х30 см. Фенологические наблюдения и биометрические измерения (в фазу массового цветения) проводили по методикам, принятым в ВИЛАРе. Экспериментальные данные обрабатывали по Б.А. Доспехову. Погодные условия уточняли на сайте «Погода и климат». Микропрепараты готовили по методикам для световой микроскопии.

Результаты. Продолжительность периода от начала вегетации (отрастание) до массового плодоношения у *Oenothera tetragona* Roth. составляет в среднем около 110-115 суток в условиях Московской области. Растение хорошо адаптировано: проходит весь сезонный цикл роста и развития. В состав популяции *Oenothera tetragona* Roth. входит множество вариативных биотипов, что свидетельствует о возможности целенаправленного отбора форм с полезными признаками. Основную оценку селекционного материала можно проводить, начиная со второго года жизни растений, по комплексу взаимосвязанных количественных признаков (высота, количество генеративных побегов и др.). Впервые изучены некоторые анатомические особенности эпидермы листа энотеры четырехугольной; определено число кроющих трихом и количество устьиц на 1 мм². В результате микроскопического исследования эпидермы листовых пластинок растений *O. tetragona* Roth. было выявлено наличие трех групп, которые отличались по микроскопическим признакам (форма и число устьиц, опушение) при отсутствии заметной корреляции с основными фенотипическими признаками.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Oenothera tetragona Roth., лекарственное и декоративное растение, биологические особенности, фенологические наблюдения, устьица, трихомы

Biological features of *Oenothera tetragona* Roth. in the conditions of culture in the Non-Chernozem zone of Russia

ABSTRACT

Relevance. *Oenothera tetragona* is an ornamental plant used in folk medicine. Until now, studies of the biological characteristics of the *Oenothera tetragona* have not been carried out on the territory of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation.

The purpose of the work is the introduction and biological study of the *Oenothera tetragona* in the Non-Chernozem zone of Russia in the conditions of the Moscow region.

Methodology. The experiment was based on two-month-old seedlings according to a 60x30 cm pattern. Phenological observations and biometric measurements (during the mass flowering phase) were carried out according to the methods adopted at VILAR (All-Russian scientific research Institute of medicinal and aromatic plants). Experimental data were processed according to B.A. Dosphehov. Weather conditions were checked on the Weather and Climate website. Microspecimens were prepared according to methods for light microscopy.

Results. In the conditions of the Moscow region the period from the beginning of the growing season to mass fruiting in *Oenothera tetragona* Roth. averages about 110-115 days. The plant is well adapted: it goes through the entire seasonal cycle of growth and development. The population includes *Oenothera tetragona* Roth. includes many variable biotypes, which indicates the possibility of targeted selection of forms with useful traits. The main assessment of breeding material can be carried out, starting from the second year of plant life, based on a set of interrelated quantitative traits (height, number of generative shoots, etc.). Some anatomical features of the epidermis of the *Oenothera tetragona* leaf have been studied for the first time; the number of covering trichomes and the number of stomata per 1 mm² were determined. As a result of microscopic examination of the epidermis of leaf plates of *O. tetragona* Roth.: the presence of three groups was revealed, which differed in microscopic characteristics (shape and number of stomata, pubescence) in the absence of a noticeable correlation with the main phenotypic characteristics.

KEYWORDS:

Oenothera tetragona Roth., medicinal and ornamental plants, biological features, phenological observations, stomata, trichomes

Введение**Introduction**

Энотера четырехугольная (*Oenothera tetragona* Roth. син. *Oenothera fruticosa* ssp. *tetragona* (Roth) W.L. Wagner., *Oenothera fruticosa* subsp. *glauca* (Michx.) Straley), вид цветковых многолетних декоративных красивоцветущих растений семейства Кипрейных (Онагриковых) – *Chamaeneriaceae* (*Onagraceae*) рода *Oenothera* L. секции *Kneiffia*. Естественный ареал: восточная и центральная часть Северной Америки. Обычно растёт на полях, лугах, лесных опушках, по берегам ручьёв и в редколесьях. Поднимается на высоту до 1700 м [1-3].

Высота растений – 30-70 см. Стебли прямостоячие или полегающие, разветвлённые или неразветвлённые, иногда сизоватые, слегка опушённые, волоски часто оканчиваются желёзкой, нередко голые до соцветия. Корневая система мочковатая. Листорасположение очередное. Листья прикорневые, формирующие розетку и увядающие после цветения, и стеблевые. Прикорневые листья 3–12 × 0,5–3 см, обратноланцетные или обратнойцевидные, по краю зубчатые или разреженно-зубчатые, иногда цельнокрайние. Черешок 1–3 см длиной. Стеблевые листья 2–6 (11) × (0,5) 1–2 (5) см, линейные, узкоэллиптические, яйцевидные или широкояйцевидные, цельнокрайние, по краю зубчатые или разреженно-зубчатые, тёмно-зелёные, реже сизоватые. Черешок 0,1–2 (6) см длиной. Осенью листья краснеют. Растение однодомное. Соцветие кисть, прямостоячая, в пазухах несколько цветков. Бутоны со свободными верхушками 4-8 (до 13) мм. *Oenothera tetragona* Roth имеет красивые большие чашевидные цветки золотисто-желтого цвета с округлыми ярко-желтыми лепестками до 2,5 (3,0) см в длину, что привлекает огромное число насекомых-опылителей. Цветки обоеполые, раскрываются перед восходом солнца. Чашечка из 4 чашелистиков (0,8-2,2 см), гипантий 0,5-2,0 см. Венчик из 4 лепестков длиной 1,5-2,0 см. Тычинок – 8, завязь нижняя, четырехгнездная. Цветет в июне-августе. Семенные коробочки (7-17 × 3-5 мм) от продолговатых до продолговато-эллипсоидных с наибольшей шириной посередине, слегка четырехугольные, иногда с четырьмя узкими продольными крыловидными выростами, в основании суженные в плодоножку. Семена 0,8×0,4 мм. Сорта энотеры четырёхугольной немногочисленные, отличаются

ся высотой растений и оттенками окраски цветков: «Fireworks» – цветки жёлтые, блюдцевидные, около 2,5 см в диаметре, развиваются из красных бутонов; листья пурпурно-коричневые; «Fyrverkeri» – цветки золотисто-жёлтые, побеги и почки красные; «Hohes Licht» – цветки канареечно-жёлтые; «Sonnenwende» – цветки золотисто-жёлтые [4, 5].

Семена энотеры четырёхугольной содержат масло (до 30 %) и являются перспективным источником полиненасыщенных жирных кислот. Также в надземной части и корнях растения обнаружены сапонины, каротиноиды, стероиды, флавоноиды, фенолкарбоновые кислоты, дубильные вещества, полисахариды, антоцианы, слизи, политерпеноиды, микроэлементы, смолы, стерины. Корни и листья энотеры применяют в народной медицине Северной Америки для лечения заболеваний дыхательных путей и воспалительных процессов [6].

Энотера четырёхугольная возделывается преимущественно как декоративное растение: в рокариях, на альпийских горках. От других видов отличается обильным и продолжительным (более 30 суток) цветением, устойчива в срезке. Не поражается болезнями и вредителями [4, 5, 7, 8].

Ранее было установлено, что *Oenothera tetragona* может успешно выращиваться в условиях лесостепной зоны Башкирского Предуралья [8].

Цель работы – интродукционное и биологическое изучение энотеры четырёхугольной (*Oenothera tetragona* Roth.) в Нечерноземной зоне России в условиях Московской области.

Материалы и методы**Materials and methods**

Почва опытного участка ВИЛАР дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, имеет следующие средние агрохимические показатели: гумус 2,9% (по Тюрину); подвижный фосфор (по Кирсанову) 24 мг/кг и обменный калий 72 мг/кг почвы. Реакция среды слабокислая pH KCl 5,3. Московская область входит во второй агроклиматический район (Агроклиматический справочник). Климат умеренно-континентальный, с хорошо выраженными переходными сезонами, теплым летом, умеренно-холодной зимой и устойчивым снежным покровом. Суммарная

Таблица 1. Характеристика метеорологических условий в период проведения исследования, 2021-2023 годы
Table 1. Characteristics of meteorological conditions during the study period, 2021-2023

Месяц	Средние месячные температуры, °C					
	2021	2022	2023	среднее за период	среднее многолетнее	отклонение
Апрель	7,3	5,8	9,7	7,6	+6,7	+0,9
Май	13,9	10,7	12,7	12,4	+13,2	-0,8
Июнь	19,9	18,9	16,8	18,5	+17,0	+1,5
Июль	25,1	20,7	18,5	21,4	+19,2	+2,2
Август	19,4	21,9	19,6	20,3	+17,0	+3,3
Сентябрь	9,6	10,1	15,0	11,6	+11,3	+0,3
Количество осадков, мм						
Апрель	90	69	30	63	37	+26
Май	93	61	35	63	50	+13
Июнь	63	42	71	59	80	-21
Июль	43	91	151	95	85	+10
Август	110	4	63	59	82	-23
Сентябрь	85	75	6	55	68	-13

солнечная радиация составляет 87-89 ккал/см в год. Температура самого холодного месяца (январь) – 11°C, самого теплого месяца (июль) +17°C. Период со среднесуточной температурой выше +10°C длится в среднем 206–216 (до 220) суток. Средняя многолетняя сумма эффективных температур за вегетационный период составляет 1371°C. Московская область относится к зоне достаточного увлажнения: гидротермический коэффициент увлажнения (по Г.К. Селянинову) – 1,4. Годовая сумма осадков достигает 550–560 мм при невысокой испаряемости с поверхности (420 мм), осадки в виде дождя преимущественно выпадают в июле-августе.

За период наблюдений средние месячные температуры в течение всего вегетационного сезона на 1-2 градуса превышали средние многолетние значения для региона. Значительные превышения – более 3 градусов – наблюдались в летние месяцы в 2021 гг. и в сентябре 2023 года (табл. 1). Количество осадков только в начале и в середине вегетационного сезона (апрель-июль) превышало средние многолетние значения по региону, а в августе и сентябре выпадало меньше осадков. В целом, метеорологические условия были типичными и благоприятными для роста и развития *Oenothera tetragona* Roth.

Опыт был заложен 14 мая 2021 года двухмесячной рассадой (образец 209-19, *Oenothera fruticosa* ssp. *tetragona* (Roth) W.L. Wagner., Польша, Люблин, Ботанический сад университета имени Марии Кюри-Складовской), которую высаживали по схеме 60x30 см, из расчета по 25-30 растений на деланке. Всего: 4 деланки, не менее 100 растений.

Фенологические наблюдения и биометрические измерения (в фазу массового цветения) проводили по методикам, принятым в ВИЛАРе [9]. Экспериментальные данные обрабатывали по Б.А. Доспехову [10]. Погодные условия уточнялись на сайте «Погода и климат» [11].

Материал для микроскопических исследований был собран в фазу массового цветения. Исследование проводились на листовых пластинках растений, начиная со второго года жизни. Участки нижней и верхней эпидермы средней части стеблевых листьев изучались на временных препаратах в 5-7 полях зрения для каждого листа при увеличении $\times 70$ и $\times 280$ светового микроскопа ЛОМО МИК-МЕД-1 и фотографировали камерой 14.0 Мп USB 2.0 C-Mount. Количество клеток, устьиц и трихомов в поле зрения (0,785 мм²) пересчитывали на 1 мм². Количественные показатели и длину трихом определяли при помощи окуляр-микрометра 9x Ernst Zeits Wetzlar и объект-микрометра ОМ-П с длиной основной шкалы 1 мм. Препараты готовили по методикам для световой микроскопии [12].

Выборка составляла 10 измерений, статистическая обработка выполнена в программе Microsoft Excel. Для каждого изучаемого признака определяли его среднее значение (M), ошибку среднего (m) и коэффициент вариации (Cv). Устьичный индекс рассчитывали как отношение числа устьиц на верхнем эпидермисе к числу устьиц на нижнем на 1 мм² площади листа [13] по формуле: $U_i = U / (U + K) \cdot 100\%$, где U – количество устьиц на 1 мм², K – количество эпидермальных клеток на 1 мм² [14, 15].

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В таблице 2 представлены даты наступления основных фенологических фаз у растений *Oenothera tetragona* Roth. второго-третьего годов жизни (2022-23 годы).

В процессе наблюдений установлено, что у двулетних растений начало периода массовой бутонизации приходится на I-II декады июня, цветение начинается во II декаде июня, массовое плодоношение – в I декаде августа. Таким образом, энотера четырехугольная 2-го и 3-го годов жизни в условиях Московской области проходит весь сезонный цикл роста и развития, цветёт и плодоносит. Продолжительность периода от начала вегетации (отрастание) до массового плодоношения составляет в среднем около 110-115 суток, что вполне вписывается в продолжительность вегетационного периода нашей зоны (200-220 суток).

Выявление изменчивости морфологических признаков является особенно необходимым на начальном этапе селекционной работы с любым видом растений. Морфологические признаки растений энотеры четырехугольной характеризовались определенной изменчивостью. В таблице 2 представлены средние величины количественных морфологических признаков и коэффициенты вариации в питомнике *Oenothera tetragona* Roth. второго-третьего годов жизни (2022-2023 годы).

Наиболее высокая фенотипическая изменчивость отмечена по количеству генеративных побегов на одно растение – 43,4%. Такие признаки как высота, ширина и длина листа выражены средней вариабельностью (коэффициенты вариации 15,5; 16,1; 15,2; соответственно), так как эти показатели определяются как другими количественными признаками, так и условиями произрастания. К числу слабо изменчивых признаков следует отнести диаметр соцветия и массу 1000 семян (коэффициенты вариации 9,9; 2,9; соответственно).

В 2022-2023 годах по результатам наблюдений и учетов было проведено морфологическое описание наиболее часто встречающихся биотипов в культивируемой популяции *Oenothera tetragona* Roth. Описание проводи-

Таблица 2. Начало наступления основных фенологических фаз *Oenothera tetragona* Roth. (2022-2023 годы)
Table 2. Beginning of the onset of the main phenological phases of the *Oenothera tetragona* Roth. plants, (2022-2023)

Фаза	Начало наступления фаз
Отрастание	II декада апреля
Начало бутонизации / массовая бутонизация	I декада июня / I-II декады июня
Начало цветения / массовое цветение	II декада июня / III декада июня II декада июля
Начало плодоношения / массовое плодоношение	II-III декада июля / I декада августа
Продолжительность вегетационного периода, суток (от отрастания до массового плодоношения)	110-115

Таблица 3. Изменчивость морфологических признаков растений *Oenothera tetragona* Roth. 2-3 годов жизни (2022-2023 годы)
Table 3. Variability of morphological characters of the *Oenothera tetragona* Roth plants, 2-3 years of life (2022-2023)

Признаки	Среднее значение	Коэффициент вариации (CV%)
Высота, см	49,9±2,06	15,5
Количество генеративных побегов, шт./пм.	49,5±7,33	43,4
Стеблевой лист: длина, см	6,2±0,42	15,2
Стеблевой лист: ширина, см	1,5±0,05	16,1
Цветок: диаметр венчика, мм.	45±2,4	9,9
Масса 1000 семян, г	0,104±0,0065	2,9

лось с частичным использованием методики ООС RTG/144/1, созданной на основе международной методики UPOV и утвержденной Госкомиссией РФ по испытанию и охране селекционных достижений для новых сортов энотеры *Oenothera* L. (*O. biennis* L., *O. fruticosa* L., *O. macrocarpa* Nutt., *O. missouriensis* Sims, *O. rosea* L'Her. Ex Aiton, *O. speciosa* Nutt.) [16].

В процессе исследований были выделены следующие биотипы:

№1. Форма куста: полусомкнутая. Высота растения: 37-42 см. Стебель: интенсивность антоциановой окраски – средняя, опушенный. Лист: интенсивность зелёной окраски – средняя; опушение – с обеих сторон слабое. Бутон: с антоциановой окраской; узкий, при распускании с оранжевым оттенком. Венчик: темно-жёлтый, насыщенный, диаметр – 38-42 мм. Расположение цветоносов на разном уровне (центральный выше). Лепестки: не гофрированные.

№2. Форма куста: полусомкнутая. Высота растения: 45-50 см. Стебель: интенсивность антоциановой окраски – средняя, не опушенный. Лист: светло-зелёный; опушение – с обеих сторон сильное. Бутон: со слабой антоциановой окраской; узкий, при распускании с оранжевым оттенком. Венчик: лимонно-жёлтый, насыщенный, диаметр – 43-47 мм. Расположение цветоносов на одном уровне. Лепестки: не гофрированные.

№3. Форма куста: полусомкнутая. Высота растения: 32-37 см. Стебель: интенсивность антоциановой окраски – средняя, не опушенный. Лист: интенсивность зелёной окраски – средняя; гладкий. Бутон: с антоциановой окраской; узкий, при распускании с оранжевым оттенком. Венчик: ярко-жёлтый, насыщенный, диаметр – 48-52 мм. Расположение цветоносов на разном уровне (центральный выше). Лепестки: не гофрированные.

№4. Форма куста: полусомкнутая. Высота растения: 51-56 см. Стебель: интенсивность антоциановой окраски – средняя, не опушенный. Лист: интенсивность зелёной окраски – средняя; гладкий. Бутон: с антоциановой окраской; узкий, при распускании с оранжевым оттенком. Венчик: ярко-жёлтый, насыщенный, диаметр – 40-44 мм. Расположение цветоносов на разном уровне (центральный выше). Лепестки: не гофрированные.

№5. Форма куста: полураскидистая. Высота растения: 49-54 см. Стебель: интенсивность антоциановой окраски – сильная, опушенный. Лист: тёмно-зелёный; гладкий. Бутон: с сильной антоциановой окраской; снизу расширенный. Венчик: светло-жёлтый, насыщенный, диаметр – 46-50 мм. Расположение цветоносов на разном уровне (центральный выше). Лепестки: гофрированные.

№6. Форма куста: полусомкнутая. Высота растения: 54-60 см. Стебель: интенсивность антоциановой окраски

– средняя, гладкий. Лист: волнистый, интенсивность зелёной окраски – средняя; опушение слабое. Бутон: со слабой антоциановой окраской; слегка расширенный. Венчик: жёлтый, насыщенный, диаметр – 44-48 мм. Расположение цветоносов на разном уровне (центральный выше). Лепестки: не гофрированные.

№7. Форма куста: полураскидистая. Высота растения: 41-46 см. Стебель: интенсивность антоциановой окраски – средняя, гладкий. Лист: волнистый, светло-зелёный; опушение очень слабое. Бутон: с антоциановой окраской; слегка расширенный у основания. Венчик: лимонно-жёлтый, насыщенный, диаметр – 41-45 мм. Расположение цветоносов на одном уровне. Лепестки: гофрированные.

Межвидовые и внутривидовые различия морфологии выделительной ткани растений формируются под влиянием абиотических условий мест произрастания растений, которые оказывают воздействие на процессы формирования эпидермы [17]. Методом микроскопического анализа изучается анатомическое строение растения, устанавливаются характерные анатомо-диагностические и морфометрические характеристики [18].

Количество устьиц, клеток верхней и нижней эпидермы при отсутствии таксономической значимости являются индикаторами адаптационного потенциала растений [13]. По морфо-анатомическим характеристикам листьев можно оценить адаптационные возможности растений: например, небольшое число устьиц и их малый размер приводят к постоянному открытию устьиц и чрезмерной транспирации, что свидетельствует о низкой приспособленности растений к условиям освещённости и влажности [19]. Увеличение количества трихомов может быть



Рис. 1. *O. tetragona* Roth. Общий вид.
Фаза массового цветения
Fig. 1. *O. tetragona* Roth. General form. Mass flowering phase

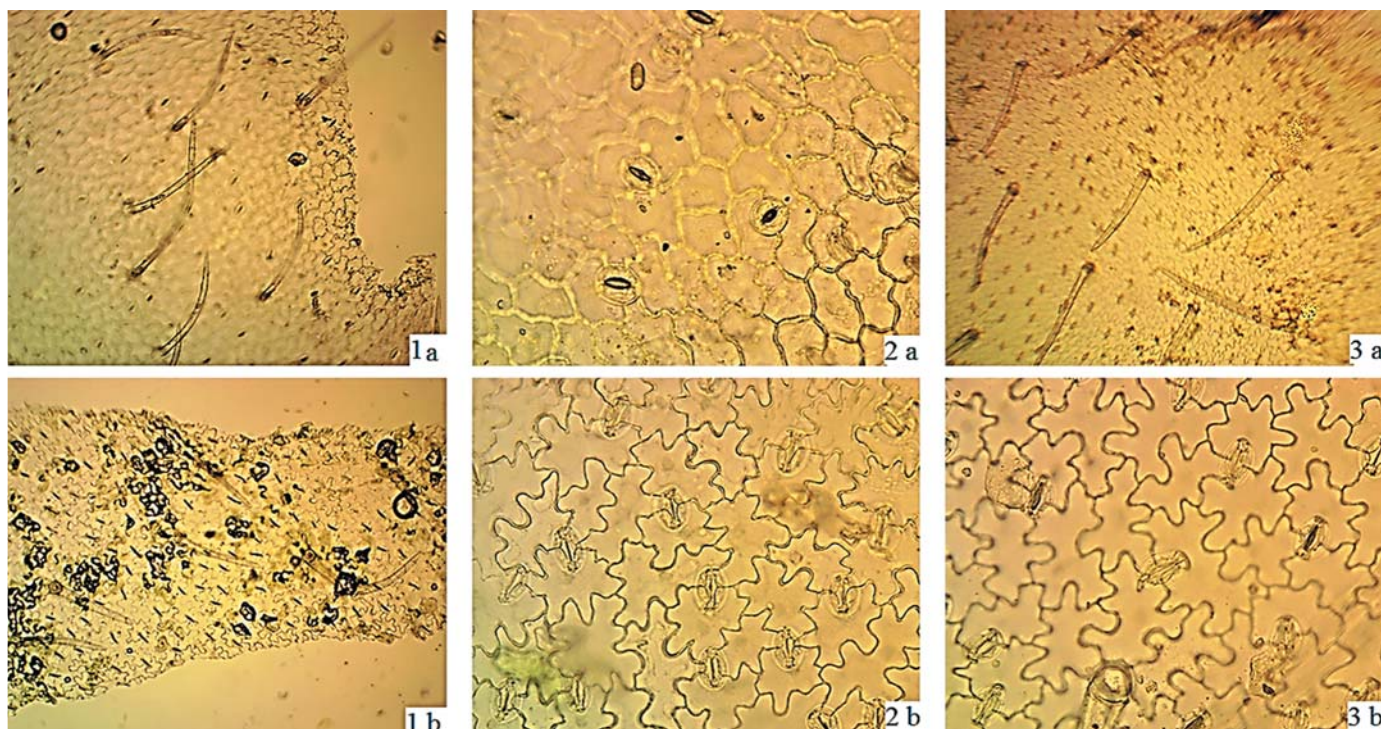


Рис. 2. Эпидерма листовой пластинки *O. tetragona* Roth. 1a, 1b – верхняя и нижняя эпидерма листьев первой группы (увеличение $\times 70$); 2a, 2b – верхняя и нижняя эпидерма листьев второй группы (увеличение $\times 280$); 3a, 3b – верхняя и нижняя эпидерма листьев третьей группы (увеличение $\times 70$ и $\times 280$).
Fig. 2. Epidermis of the leaf plate of the *O. tetragona* Roth. 1a, 1b – upper and lower epidermis of leaves of the first group (magnification $\times 70$); 2a, 2b – upper and lower epidermis of leaves of the second group (magnification $\times 280$); 3a, 3b – upper and lower epidermis of leaves of the third group (magnification $\times 70$ and $\times 280$).

следствием проявления механизма защиты листьев от перегрева, недостатка влаги и других стресс-факторов [20].

На рисунке представлены три различных формы *O. tetragona* Roth., различающиеся по степени опушения и форме устьиц.

Популяцию *O. tetragona* Roth. биокolleкции ФГБНУ ВИАР можно разделить на условные группы по следующим анатомическим особенностям эпидермы листовой пластинки: опушение, форма и количество устьиц. Клетки нижней эпидермы листовых пластинок *O. tetragona* Roth. имеют извилистую форму стенок. Клетки

Таблица 4. Количественная и морфометрическая характеристика эпидермы листовой пластинки *Oenothera tetragona* Roth.
Table 4. Quantitative and morphometric characteristics the epidermis of the plate of the *Oenothera tetragona* Roth.

Группа	Сторона листа	O1	O2	O3
Показатели				
Кол-во клеток, шт/мм ²	Верх	836,08 $\pm$ 19,06 18,93	798,29 $\pm$ 18,23 23,67	938,11 $\pm$ 21,13 22,77
Cv%	Низ	944,21 $\pm$ 19,32 20,15	822,96 $\pm$ 18,49 21,75	1069 $\pm$ 26,03 27,16
Кол-во устьиц, шт/мм ²	Верх	126,73 $\pm$ 10,96 42,39	112,78 $\pm$ 9,73 43,41	47,21 $\pm$ 3,96 44,82
Cv%	Низ	189,15 $\pm$ 11,05 44,06	238,49 $\pm$ 13,02 42,78	227,06 $\pm$ 12,77 41,38
УИ, %*	Верх	13,09	12,31	4,77
	Низ	16,68	22,45	17,51
Длина устьиц, мкм	Верх	18,22 $\pm$ 3,93 9,22	17,36 $\pm$ 1,88 10,13	20,03 $\pm$ 1,66 10,27
Cv%	Низ	16,51 $\pm$ 4,15 11,04	18,28 $\pm$ 2,31 11,93	19,86 $\pm$ 2,24 13,44
Ширина устьиц, мкм	Верх	16,08 $\pm$ 3,55 8,29	16,67 $\pm$ 2,17 9,65	17,21 $\pm$ 2,39 14,03
Cv%	Низ	14,31 $\pm$ 3,18 10,62	14,74 $\pm$ 2,55 10,22	14,62 $\pm$ 2,27 12,38
Кол-во трихом, шт/мм ²	Верх	65,27 $\pm$ 5,18 39,85	Не обнаружено	157,84 $\pm$ 11,19 41,27
Cv%	Низ	42,88 $\pm$ 4,51 40,19		91,36 $\pm$ 8,75 40,72
Длина трихом, мкм /	Верх	28,97 $\pm$ 1,83 15,08		24,98 $\pm$ 2,73 11,96
Cv%	Низ	22,76 $\pm$ 1,94 12,77		22,88 $\pm$ 2,15 10,87

Примечание: *Устьичный индекс

нижней эпидермы – округло-вытянутой формы. Устьичный аппарат аномоцитного типа. Листовые пластинки первой и второй группы покрыты агранулярными одноклеточными трихомами на нижней и на верхней эпидерме. Трихомы конической формы, с тонкими стенками, расположены на межжилковом пространстве. Вокруг мест прикрепления трихом отсутствуют образующие розетку клетки эпидермы (рис. 2).

Устьица расположены на верхней и на нижней эпидерме, следовательно, листья амфистоматические. На нижней стороне устьиц больше в 1,5-2 раза, за исключением формы ОЗ: там число устьиц на нижней эпидерме выше, чем на верхней почти в 5 раз. (Таблица 4).

Эпидерма листовой пластинки у формы О2 *Oenothera tetragona* Roth. отличается округлыми устьицами. У форм О1 и ОЗ *O. tetragona* устьица овальной формы. Верхняя эпидерма у растений группы ОЗ отличается самым низким устьичным индексом: 4,77 % (табл. 4).

На листьях *Oenothera tetragona* Roth. изучаемых форм простые кроющие трихомы сосредоточены преимущественно на верхней эпидерме и имеют низкую вариативность по длине. У формы О2 кроющие одноклеточные трихомы не обнаружены.

При определении достоверности различий по критерию Стьюдента (t) установлено, что число устьиц на нижней ($t=3.58-26.2$) и верхней ($t=5-24.98$) эпидерме, число клеток эпидермиса на нижней ($t=4.6-34.3$) и верхней ($t=3.55-31.38$) эпидерме, число кроющих трихом на нижней ($t=3.8-18.44$) и верхней ($t=3.6-18.21$) эпидерме достоверно различаются по описанным группам: $t_{st}=2.85$ при 99%-м доверительном уровне. В условиях агроценоза листья *O. tetragona* Roth. отличаются по

таким анатомическим признакам, как число кроющих трихом и число устьиц на 1 мм². К форме с наиболее ксероморфными признаками с точки зрения анатомии листа, можно отнести растения *O. tetragona* Roth. из группы О2 (наиболее высокое общее количество устьиц при меньших размерах) и ОЗ (наиболее интенсивное опушение). На это следует обращать внимание при дальнейшем возделывании данного вида.

Заключение

Conclusion

Oenothera tetragona Roth. в условиях Московской области полностью адаптирована: проходит весь сезонный цикл роста и развития. В состав популяции *Oenothera tetragona* Roth. входит множество вариативных биотипов, что свидетельствует о возможности целенаправленного отбора форм с полезными признаками. Основную оценку селекционного материала можно проводить, начиная со второго года жизни растений, по комплексу взаимосвязанных количественных и качественных признаков (высота, количество генеративных побегов, диаметр венчика и др.).

В результате микроскопического исследования эпидермы листовых пластинок растений *O. tetragona* Roth. было выявлено наличие трех групп, которые отличались по микроскопическим признакам (форма и число устьиц, опушение) при отсутствии заметной корреляции с основными фенотипическими признаками. Полученные результаты можно использовать в дальнейших исследованиях по экологии данного вида и при отборе перспективных форм в селекционном процессе.

• Литература

1. *Oenothera tetragona* Roth. Hortflora; 2024 [обновлено 27 мая 2018; процитировано 7 марта 2024]. Доступно: <https://hortflora.rbg.vic.gov.au/taxon/ad9adace-5340-11e7-b82b-005056b0018f>
2. *Oenothera fruticosa* subsp. *tetragona* (Roth) W.L. Wagner. Portal to the Flora of Italy; 2024 [обновлено 1 января 2023; процитировано 7 марта 2024] Доступно: https://dryades.units.it/floritaly/index.php?procedure=taxon_page&tipo=all&id=10280
3. *Oenothera tetragona* Roth. Alpine Garden Society; 2024 [обновлено 1 января 2024; процитировано 7 марта 2024]. Доступно: <http://encyclopaedia.alpinegardensociety.net/plants/Oenothera/tetragona>
4. Энотера четырехугольная. Портал Большая Российская энциклопедия; 2024 [обновлено 28 февраля 2024; процитировано 7 марта 2024]. Доступно: <https://bigenc.ru/c/enotera-chetyriokhugol-naia-433e73>.
5. *Oenothera tetragona* var. *riparia* (Nuttall) Munz in flora of North America. Flora of North America; 2024 [обновлено 1 января 2024; процитировано 7 марта 2024] Доступно: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=250130304
6. Azimova S.S., Glushenkova A.I. *Oenothera tetragona* Roth. Lipids, Lipophilic Components and Essential Oils from Plant Sources. London: Springer, 2012. P. 644-645. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-323-7_2105
7. Ларина Г.Е., Серая Л.Г., Голимовская С.А., Петровнина Т.А., Калембет И.Н., Полякова Н.Н., Гудкова Н.Ю., Быкова О.А. Фитопатология (микозы) лекарственных растений в многолетних коллекционных посадках. 90 лет – от растения до лекарственного препарата: достижения и перспективы. Сборник материалов юбилейной международной научной конференции. 2021. С.83-92.

https://doi.org/10.52101/9785870191003_2021_83

<https://www.elibrary.ru/ddlwwp>

8. Миронова Л.Н., Реут А.А. Интродукция лекарственных растений в Ботаническом Саду-Институте УНЦ РАН на примере рода *Oenothera* L. Проблемы устойчивого управления лесами Сибири и Дальнего Востока. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 75-летию образования Дальневосточного научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2014. С. 280-283.

<https://www.elibrary.ru/xsmjpo>

9. Цицилин А.Н., Ковалев Н.И., Коротких И.Н., Кудринская (Басалаева) И.В., Бабенко Л.В., Савченко О.М., Хазиева Ф.М. Методика исследований при интродукции лекарственных и эфирномасличных растений. (2-е издание, переработанное и дополненное). Москва: ФГБНУ ВИЛАР, 2022. 64 с. ISBN 978-5-87019-103-4.

<https://www.elibrary.ru/elwoos>

10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по Требованию, 2013. 349 с.

11. Климатический монитор г. Москва. Погода и климат; 2024 [обновлено 7 марта 2024; процитировано 7 марта 2024]:

<http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php>

12. Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятков А.Г. Джалилова Х. Х., Ильина Г. М., Чубатова Н. В. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М.: Издательство МГУ, 2004. 312 с.

13. Пленник Р.Я., Попова Н.А. Особенности анатомического строения листа видов рода *Hedysarum* L. Южной Сибири в связи с их адаптацией. Экология. 1990;(5):3–10.

14. Нехаиченко Д.В., Кокшеева И.М., Кислов Д.Е. Изменчивость эпидермальных структур листа *Hydrangea paniculata* (Hydrangeaceae) в условиях культуры. Вестник КрасГАУ. 2014;12(99):52-57.

<https://www.elibrary.ru/thamkv>

15. Воробьева А.Н., Басаргин Д.Д. Особенности строения эпидермы листа *Saussurea pulchella* (Fisch.) Fisch. и *S. neopulchella* Lipsch. Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013;3(23):38-45.
<https://www.elibrary.ru/sikiyb>
16. Официальный бюллетень ГК РФ по испытанию и охране селекционных достижений. 25.02.2013. № 12-06/98. С. 247-252. Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «Госсорткомиссия»); 2024 обновлено 25 февраля 2013; процитировано 26 февраля 2024] Доступно:
<https://gossortrf.ru/publication/byulleteni.php>
17. Тамахина А.Я., Гадиева А.А. Морфология выделительной ткани листьев и вторичные метаболиты некоторых представителей рода *Inula*. Юг России: экология, развитие. 2017;12(3):53-63.
<https://www.elibrary.ru/zmzpmz>
18. Николаевская Т.С., Федоренко О.М. Особенности опушения листовой пластинки у растений северных популяций *Arabidopsis lyrata* subsp. *Petraea* и *Arabidopsis thaliana*. Труды Карельского научного центра РАН. 2014;(5):59-70. <https://www.elibrary.ru/thjtrd>
19. Виноградова Ю.К., Григорьева О.В., Вергун Е.Н. Строение устьичного аппарата видов рода *Symphytotrichum* Nees как дополнительный показатель их инвазивности. Российский журнал биологических инвазий. 2020;(4):34-44. <https://www.elibrary.ru/pdcmrx>
20. Ахубекова А.А., Тамахина А.Я. Адаптивные признаки эпидермы листьев представителей семейства *Boraginaceae*. Известия Горского государственного аграрного университета. 2020;57(2):188-195.
<https://www.elibrary.ru/elkjah>

• References

1. *Oenothera tetragona* Roth. HortFlora. Cultivated Flora of South-eastern Australia, Royal Botanic Gardens Victoria; 2024 [updated May 27, 2018; cited March 7, 2024]. Available:
<https://hortflora.rbg.vic.gov.au/taxon/ad9adace-5340-11e7-b82b-005056b0018f>
2. *Oenothera fruticosa* subsp. *tetragona* (Roth) W. L. Wagner. Portale della Flora d'Italia (Portal to the Flora of Italy); 2024 [updated January 1, 2023; cited March 7, 2024] Available:
https://dryades.units.it/floritaly/index.php?procedure=taxon_page&tipo=all&id=10280
3. *Oenothera tetragona* Roth. Alpine Garden Society; 2024 [updated January 1, 2024; cited March 7, 2024]. Available:
<http://encyclopaedia.alpinegardensociety.net/plants/Oenothera/tetragona>
4. Evening primrose quadrangular. Portal Great Russian Encyclopedia; 2024 [updated February 28, 2024; cited March 7, 2024]. Available:
<https://bigenc.ru/c/enotera-chetyriokhugol-naia-433e73>
5. *Oenothera tetragona* var. *riparia* (Nuttall) Munz in flora of North America. Flora of North America; 2024 [updated January 1, 2024; cited March 7, 2024] Available:
http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=250130304
6. Azimova S.S., Glushenkova A.I. *Oenothera tetragona* Roth. Lipids, Lipophilic Components and Essential Oils from Plant Sources. London: Springer, 2012. P. 644-645. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-323-7_2105
7. Larina G.E., Seraya L.G., Golimbovskaya S.A., Petrovnina T.A., Kalebmet I.N., Polyakova N.N., Gudkova N.Yu., Bykova O.A. Phytopathology (mycoses) of medicinal plants in perennial collection plantings. 90 years – from plant to medicinal product: achievements and

- prospects. Collection of materials from the anniversary international scientific conference. 2021. P. 83-92.
<https://www.elibrary.ru/ddlwwp>
https://doi.org/10.52101/9785870191003_2021_83 (in Russ.)
8. Mironova L.N., Reut A.A. Introduction of medicinal plants in the Botanical Garden-Institute of the Ural Scientific Center of the Russian Academy of Sciences using the example of the genus *Oenothera* L. Problems of sustainable management of forests in Siberia and the Far East. Materials of the All-Russian conference with international participation, dedicated to the 75th anniversary of the formation of the Far Eastern Research Institute of Forestry. 2014. P. 280-283.
<https://www.elibrary.ru/xsmjpo> (in Russ.)
9. Tsitsilin A.N., Kovalev N.I., Korotkikh I.N., Kudrinskaya I.V., Babenko L.V., Savchenko O.M., Khazieva F.M. Research methodology during the introduction of medicinal and essential oil plants. Moscow: VILAR, 2022. 64 p. ISBN 978-5-87019-103-4
<https://www.elibrary.ru/elwoos> (in Russ.)
10. Dospheov B.A. Methodology of field experience: with the basics of statistical processing of research results. M., 2013. 349 p. (in Russ.)
11. Climate monitor of Moscow. Weather and climate; 2024 [updated March 7, 2024; cited March 7, 2024]:
<http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php>
12. Barykina R.P., Veselova T.D., Devyatov A.G. Dzhaililova Kh.Kh., Ilyina G.M., Chubatova N. V. Handbook of botanical microtechnology. Fundamentals and methods. M.: Moscow State University Publishing House, 2004. 312 p. (in Russ.)
13. Plennik R.Ya., Popova N.A. Features of the anatomical structure of leaves of species of the genus *Hedysarum* L. of Southern Siberia in connection with their adaptation. Ecology. 1990;(5):3-10. (in Russ.)
14. Nekhaychenko D.V., Koksheeva I.M., Kislov D.E. Variability of the *Hydrangea paniculata* (Hydrangeaceae) leaf epidermis structure in the culture conditions. Bulletin of KSAU. 2014;12(99):52-57.
<https://www.elibrary.ru/thamkv> (in Russ.)
15. Vorobyeva A.N., Basargin D.D. Structural features of leaf epidermis *Saussurea pulchella* (Fisch.) Fisch. and *S. neopulchella* Lipsch. Tomsk State University Journal of Biology. 2013;3(23):38-45. <https://www.elibrary.ru/sikiyb> (in Russ.)
16. Official bulletin of the Civil Code of the Russian Federation on testing and protection of selection achievements. 02/25/2013. No. 12-06/98. pp. 247-252. State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements (FSBI "Gossortkommission"); 2024 updated February 25, 2013; cited February 26, 2024] Available: <https://gossortrf.ru/publication/byulleteni.php>
17. Tamakhina A.Ya., Gadiyeva A.A. Morphology of excretory tissue of leaves and secondary metabolites of some species from *Inula* genus. South of Russia: ecology, development. 2017;12(3):53-63. <https://www.elibrary.ru/zmzpmz> (in Russ.)
18. Nikolaevskaya T.S., Fedorenko O.M. The leaf trichome morphology features of two *arabidopsis* plants (*A. lyrata* ssp. *petraea* and *A. thaliana*) in northern populations. Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences. 2014;(5):59-70.
<https://www.elibrary.ru/thjtrd> (in Russ.)
19. Vinogradova Yu.K., Grygorieva O.V., Vergun E.N. Stomatal structure in *symphyotrichum nees* species as the index of their invasiveness. Russian Journal of Biological Invasions. 2020;(4):34-44.
<https://www.elibrary.ru/pdcmrx> (in Russ.)
20. Akhkubekova A.A., Tamakhina A.Ya. Adaptive features of a leaf epidermis in some members of family *Boraginaceae*. Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2020;57(2):188-195. <https://www.elibrary.ru/elkjah> (in Russ.)

Об авторах:

Михаил Юрьевич Грязнов – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник,
<https://orcid.org/0000-0002-3434-8625>,
SPIN-код: 8097-4930, selectionvilar@yandex.ru
Ольга Михайловна Савченко – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, автор для переписки,
<https://orcid.org/0000-0002-3054-1719>,
SPIN-код: 5592-3553, nordfenugreek@gmail.com

About the Authors:

Mikhail Yu. Gryaznov – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher,
<https://orcid.org/0000-0002-3434-8625>,
SPIN-code: 8097-4930, selectionvilar@yandex.ru
Olga M. Savchenko – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher,
<https://orcid.org/0000-0002-3054-1719>,
SPIN-code: 5592-3553,
Correspondence Author, nordfenugreek@gmail.com

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-99-104>
УДК: 635.655-02:631.531.027

Ф. Э. Мульо Панолуиса^{1*},
Е. В. Романова¹, К. А. Саласар Флорес²

¹ Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы
117198, РФ, г. Москва,
ул. Миклухо-Маклая, д. 6

² Политехническая школа Чимборасо
Эквадор, 060155, г. Риоабамба

*Автор для переписки:
mfreddy.28fm@gmail.com;
mulyo_panoluisa_f@pfur.ru

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

Вклад авторов: Ф.Э. Мульо Панолуиса: изучение литературы, проведение исследований и подготовка материала для статьи, проведение исследовательского процесса, в частности, написание первоначального текста рукописи. Е.В. Романова: научное руководство исследованием, проведение исследовательского процесса. К.А. Саласар Флорес: формулирование идеи, разработка методологии исследования. Все авторы принимали участие в написании статьи.

Для цитирования: Мульо Панолуиса Ф.Э., Романова Е.В., Саласар Флорес К.А. Влияние инокуляции микробиологическими препаратами на морфологические признаки и урожайность сои овощной. *Овощи России*. 2024;(4):99-104. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-99-104>

Поступила в редакцию: 30.04.2024

Принята к печати: 19.05.2024

Опубликована: 08.07.2024

Freddy Eduardo Mullo Panoluisa^{1*},
Elena V. Romanova¹,
Cristian Alexander Salazar Flores²

¹ Agrobiotechnological Department, Agrarian
and Technological Institute, RUDN University
8/2 Miklukho-Maklaya st.,
Moscow, 117198, Russian Federation

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
(ESPOCH)
Riobamba, 060155, Ecuador

*Corresponding Author:
mfreddy.28fm@gmail.com;
mulyo_panoluisa_f@pfur.ru

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

Authors' Contribution: Freddy Eduardo Mullo Panoluisa: studying the literature, conducting research and preparing material for the manuscript, conducting the research process, in particular, writing the original text of the manuscript. E.V. Romanova: scientific supervision of the study, conducting the research process. Cristian Alexander Salazar Flores: formulation of the idea, development of the research methodology. All authors took part in writing the manuscript.

For citation: Mullo Panoluisa F.E., Romanova E.V., Salazar Flores C.A. Effect of inoculation with microbiological preparations on morphological characteristics and yield of vegetable soybean. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):99-104. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-99-104>

Received: 30.04.2024

Accepted for publication: 19.05.2024

Published: 08.07.2024

Влияние инокуляции микробиологическими препаратами на морфологические признаки и урожайность сои овощной

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Соя овощная – особый сорт с высокой добавленной стоимостью, употребляемый в свежем виде и собираемый в фазе технической спелости (R6). Сортотип-А — один из перспективных образцов сои овощной, изученный и выявленный в результате работы, которая была выполнена совместно с Федеральным научным центром овощеводства (ФНЦО) и агробиотехнологическим департаментом аграрно-технологического института (АТИ) РУДН им. Патриса Лумумбы.

Материал и методика. Цель исследования – оценить влияние двух микробиологических препаратов на основе *S. fredii* и *B. japonicum* с целью выявления того, какой микробиологический препарат дает наилучшие результаты по морфологическим показателям, урожайности сои овощной в условиях Нечерноземной зоны РФ. Объектом исследования являлся сортотип-А сои овощной. Проводили два вида обработки: В1 – обработка препаратом с *Bradyrhizobium japonicum* (1 л/т семян), В2 – обработка препаратом с *Sinorhizobium fredii* (1 л/т семян). Контроль – без обработки (К).

Результаты. По данным статистического анализа биометрических показателей установлено, что обработка с *S. fredii* (В2) имела самые высокие средние значения для показателей толщины стебля (11,50 мм), высоты прикрепления нижнего боба (11,19 см), числа ветвей (3,40 шт.) и числа продуктивных узлов (27,48 шт.). Препарат В2 улучшил структуру урожая, повлияв на получение самых высоких показателей массы растения (30,47 г), массы семян с растения (15,33 г), массы 1000 семян (171,25 г), числа семян с растения (98,50 шт.), числа семян в бобе (2,89 шт.) и урожайности семян (3,11 т/га). Применение микробиологических препаратов на основе *B. japonicum* и *S. fredii* дало лучшие результаты по сравнению с контрольной обработкой.

Заключение. Исследование показало, что в Нечерноземной зоне РФ препарат В2 имел лучшие симбиотические отношения с соей овощной (сортотип-А), что позволяет рекомендовать его использование для достижения лучших показателей урожайности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сортотип-А, соя овощная, микробиологические препараты, азот, инокуляция, урожайность, морфологические признаки

Effect of inoculation with microbiological preparations on morphological characteristics and yield of vegetable soybean

ABSTRACT

Relevance. Vegetable soybean is a special variety with high added value, consumed fresh and harvested at the stage technical ripeness (R6). Accession-A is one of the promising vegetable soybean materials, studied and identified as a result of work that was carried out jointly with the Federal Scientific Vegetable Center in the Moscow Region (FSVC) and the Agrobiotechnology Department of the Agricultural Technological Institute (ATI) of the RUDN University named after Patrice Lumumba. The use of microorganisms to promote atmospheric nitrogen fixation is a common practice in soybean production.

Methodology. The purpose of this study was to evaluate the effect of two microbiological preparations based on *Sinorhizobium fredii* and *Bradyrhizobium japonicum* in order to identify which microbiological preparation gives the best results in terms of morphological indicators and vegetable soybean yield under the conditions region of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. The object of the study was accession-A of vegetable soybean. Two types of treatment were carried out: B1 – treatment with a preparation with *Bradyrhizobium japonicum* (1 l/t of seeds), B2 – treatment with a preparation with *Sinorhizobium fredii* (1 l/t of seeds). Control without treatment (K).

Results. According to statistical analysis of biometric indicators, it was found that treatment with *S. fredii* (B2) had the highest average values for indicators of stem diameter (11.50 mm), lower pod attachment height (11.19 cm), number of branches (3.40 pcs.) and the number of productive nodes (27.48 pcs.). Preparation B2 improved the structure of the crop, influencing the obtainment of the highest indicators of plant weight (30.47 g), seed weight per plant (15.33 g), weight of 1000 seeds (171.25 g), number of seeds per plant (98.50 pcs.), number of seeds in a bean (2.89 pcs.) and seed yield (3.11 t/ha). The use of microbiological preparations based on *B. japonicum* and *S. fredii* gave better results compared to the control treatment.

KEYWORDS:

accession, vegetable soybean, microbiological preparations, nitrogen, inoculation, yield, morphological characteristics

Введение

В мировом масштабе посевные площади сои уступают только пшенице, рису и кукурузе. Благодаря высокому содержанию белка, калорийности и ценному биохимическому составу соя представляет собой растение, имеющее особое значение для развития пищевой промышленности и производства продуктов животноводства [1].

Одной из актуальных задач является расширение ассортимента потребляемых овощных культур с высокой пищевой ценностью, в число которых входит и соя овощная [2]. Расширение посевов сои овощной в России, получение новых сортов является хорошей альтернативой решения вопроса недостатка белка растительного происхождения. Соя овощная (эдамаме) – прибыльная культура с низкими затратами, высокой питательной ценностью, коротким циклом выращивания и обогащающая почву. Это обеспечивает быструю экономическую отдачу и приносит пользу здоровью потребителей [3].

Употребляют сою овощную в пищу, в основном, в свежем виде или замораживают при достижении бобами технической спелости (в фазе R6), то есть, когда бобы сформировались полностью и имеют зелёную окраску для использования в качестве овощей. При биологической спелости семян овощная соя может вполне использоваться, как и зерновая. Соя овощная является низкокалорийным продуктом, она богата белком и клетчаткой, не содержит холестерин [4,5,6].

Хороший урожай сои зависит от методов управления растениеводством, таких как использование удобрений, которые могут значительно увеличить производство [7,8]. Для правильного роста и развития сое необходимы как макроэлементы для их структурной и функциональной роли, такие как азот (N), фосфор (P), калий (K), сера (S), кальций (Ca) и магний (Mg), так и микроэлементы для их ферментативной и клеточной регуляции [8,9]. Азот (N) является одним из основных питательных веществ в соевых бобах, и большая часть потребности в азоте в посевах сои удовлетворяется за счет биологической фиксации [10,11].

Соя – растение, способное удовлетворять свои потребности в питательных веществах за счет поглощения атмосферного азота посредством ризобий, где происходит его биологическая фиксация. Образование корневых клубеньков позволяет восстанавливать атмосферный азот посредством фермента нитрогеназы и обеспечивает адекватное снабжение растения аммонием (NH_4^+) в виде уреидов и амидов [12]. Применение инокулянтов для обработки семян улучшает усвоение азота и повышает урожайность.

Использование микробиологических препаратов, как альтернативы повышению урожайности сельскохозяйственных культур для снижения негативного воз-

действия химических удобрений на окружающую среду, является технологией все более широкого применения и постоянного совершенствования. Она основана на включении в семена микроорганизмов (инокуляции), таких, как микоризные грибы, N_2 -фиксирующие бактерии и/или солибилизаторы фосфора. Они положительно влияют на продуктивность сельскохозяйственных культур, фитосанитарное качество, а также повышают содержание органического вещества в почве [13].

Для повышения качества семян и урожайности культуры проводят инокуляцию семян микробиологическими препаратами. Так, обработка семян инокулянтом, усиливает образование клубеньков на корнях и улучшает фиксацию азота [14,15]. Условием формирования симбиоза сои с микроорганизмами является наличие в почве активных специфических штаммов клубеньковых бактерий [16]. В настоящее время специфическими симбионтами сои считаются *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii*, *B. liaoningense*, *Bradyrhizobium sp.*, *Sinorhizobium fredii* [17]. Симбиотические отношения обычно очень специфичны, поэтому необходимо изучить, какие бактерии имеют наилучшие симбиотические отношения с овощной соей.

Цель исследования – оценить два микробиологических препарата на основе *S. fredii* и *B. japonicum* с целью выявления того, какой препарат дает наилучшие результаты по морфологическим показателям, урожайности сои овощной в условиях Нечерноземной зоны РФ.

Материал и методы исследования

Исследование было проведено в период с 2020 по 2022 годы в ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (ФНЦО, Одинцовский район Московской области) и в агробиотехнологическом департаменте Аграрно-технологического института РУДН им. Патриса Лумумбы. Посев в 2020–2022 годах проводили во второй декаде мая.

Почва экспериментального поля дерново-подзолистая среднесуглинистая. Мощность пахотного горизонта до 32 см, содержание гумуса – 1,88%, содержание валового азота 0,09%, средние значения $\text{pH}=6,0$. Содержание подвижных форм P_2O_5 29,4 мг/100 г почвы, K_2O – 22,8 мг/100 г почвы. Наименьшая влагоёмкость 28-30%. На участке исследования, отведенном для проведения эксперимента, никогда не выращивались соя или какие-либо другие бобовые культуры. Средняя температура в месяцы развития урожая за три года составила 16,63°C. Осадки в период проведения наблюдений были достаточно неравномерными. За время разработки исследований выпало 420 мм осадков.

Объекты исследования. В опыте испытывали сортообразец-А сои овощной из коллекционного

фонда ФНЦО (рис.). Проводили два вида предпосевной обработки семян препаратами:

В1 – обработка препаратом *Bradyrhizobium japonicum* (1 л/т семян);

В2 – обработка препаратом *Sinorhizobium fredii* (1 л/т семян);

Контроль – без обработки (К).

Микробиологическое удобрение «БиоБестА» (свидетельство о гос. регистрации № 253-19-318-1) содержит азотфиксирующие бактерии *Sinorhizobium fredii* не менее 70×10^6 кл/см³, которые повышают адаптивные возможности сои, способствуют быстрому наращиванию биомассы культуры в условиях, отличных от оптимальных (<https://www.ametis.ru/production/fertilizer>).

Инокулянт **Оптимайз 400** (гос. регистрации № 090-21-2283-1) увеличивает скорость образования клубеньков сои. Он содержит в каждом грамме 10 миллиардов бактерий *Bradyrhizobium japonicum*, которые нужны сое для фиксации атмосферного азота (<https://glavagronom.ru/fertilizers/organicheskie-optimayz-400>).

Примененные для инокуляции семян препараты обладают азотфиксирующими свойствами и являются симбионтами сои, это может способствовать повышению урожайности возделываемых культур.

Статистическая обработка данных, проводилась с использованием статистического пакета InfoStat 2020 (студенческая версия). Экспериментальная схема представляет собой полный случайный блок с четырьмя повторениями.

В полевом опыте отбирали по 10 растений (случайные образцы) с каждого участка в фазе биологической спелости, для определения следующих характеристик [18,19, 20]:

Биометрические показатели: Толщина стебля (мм), высота прикрепления нижнего боба (см), число бобов на растении (шт.), число ветвей на растении (шт.), число продуктивных узлов на растении (шт.), высота растения (см), длина главного корня (см), площадь листьев на растении (см²).

Структура урожая: масса растения (г), масса семян с растения (г), среднее число семян с растения (шт.), среднее число семян в бобе (шт.) и масса 1000 семян (г), урожайность семян (т/га).

Эффективность инокуляции микробиологическими препаратами. В полевом опыте отбирали по 10 растений сои (случайные образцы) с каждого участка в фазе (R1). Растения извлекали из почвы, затем подсчитывали корневые клубеньки. Зараженными считали растения, имеющие более трех функциональных клубеньков, определяемых по их окраске. Определялись: процент растений с клубеньками (%), число клубеньков на растении (шт.), длина главного корня (см), площадь листьев



Рис. Сортообразец-А сои овощной
Fig. Variety sample-A of vegetable soybean

на растении (см²/растение) и высота растения (см) [19,20,21].

Результаты исследования и обсуждение

Сравнение влияния на биометрические показатели вариантов обработок показало значимые статистические различия ($p < 0,05$) для числа продуктивных узлов и толщины стебля. Самые высокие показатели были получены при обработке образца *Sinorhizobium fredii* – 27,48 шт. и 11,50 мм соответственно (+15,81% и 7% в сравнении с контролем) (табл. 1).

Общее среднее значение показателя высоты прикрепления нижнего боба составило 11,05 см, самое высокое значение было зафиксировано под действием препарата В2 – 11,19 см. Среднее число ветвей на растении составило 3,22 шт. Больше количество ветвей и число продуктивных узлов было отмечено с обработкой В2 – 3,40 шт. и 27,48 шт., соответственно. Препарат В1 показал самое

высокое среднее значение по числу бобов на растении – 37,18 шт. По показателю высоты растений разницы в эффекте использованных препаратов нет, наибольшее значение было в контроле – 65,16 см (общее среднее – 63,98 см).

Результаты, полученные в данном исследовании, превосходят результаты, полученные Шафигуллиным (2019), в его работе по интродукции сои овощной в условиях центрального района Нечерноземной зоны, где средние значения, полученные для сортообразца А были: высота растения (30,48 см), толщина стебля (6,9 мм), высота прикрепления нижнего боба (8,2 см), число ветвей (2,2 шт.) и число бобов (28,6 шт.) [22]. Вероятно, микробиологические препараты положительно повлияли на развитие культуры.

Обработки показали значимые статистические различия для структуры урожая, при этом обработка препаратом В2 показала самые высокие: массу растения (30,47 г), массу семян с растения (15,33

Таблица 1. Биометрические показатели сортообразца А сои овощной, в среднем за 2020–2022 годы
Table 1. Biometric indicators of vegetable soybean accession-A, average for 2020–2022

Обработка	Толщина стебля (мм)*	Высота прикрепления нижнего боба (см)	Число бобов (шт)	Число ветвей (шт)	Число продуктивных узлов (шт)*	Высота растения (см)
К	9,93	11,15	35,40	3,15	25,68	65,16
В1	10,70	10,81	37,18	3,13	27,38	61,63
В2	11,50	11,19	35,68	3,40	27,48	65,15
Среднее значение	10,71	11,05	36,08	3,22	26,84	63,98
НСР ₀₅	0,98	0,69	2,88	0,38	1,18	6,22

* Средние значения значимо различаются ($p < 0,05$)

Таблица 2. Структура урожая сортообразца А сои овощной, в среднем за 2020–2022 годы
Table 2. Yield structure of vegetable soybean accession-A, average for 2020–2022

Обработка	Масса растения (г)*	Масса семян с растения (г)*	Масса 1000 семян (г)*	Число семян с растения (шт.)*	Число семян в бобе (шт.)*	Урожайность семян (т/га) *
К	25,10	13,70	158,25	91,00	2,55	2,50
В1	27,54	14,09	164,50	93,25	2,65	2,86
В2	30,47	15,33	171,25	98,50	2,89	3,11
Среднее значение	27,70	14,37	164,67	94,25	2,70	2,82
НСР ₀₅	2,27	0,48	6,84	3,52	0,18	0,12

* Средние значения значимо различаются ($p < 0,05$)

Таблица 3. Оценка эффективности микробиологических препаратов при инокуляции семян сортообразца-А сои овощной, в среднем за 2020-2022 годы
 Table 3. Evaluation of the effectiveness of microbiological preparations when inoculating vegetable soybean seeds accession-A, average for 2020-2022

Обработка	Растения с клубеньками (%)	Число клубеньков (шт.)*	Длина главного корня (см)*	Площадь листьев (см ²) *	Высота растения (см)
К	0	0	20,75	1312,25	57,78
В1	60,00	23,36	21,60	1351,75	56,88
В2	92,50	32,43	24,42	1393,50	55,18
Среднее значение	50,83	18,59	22,26	1352,50	56,61
НСР ₀₅	23,8	7,94	1,27	20,30	4,99

* Средние значения значимо различаются ($p < 0,05$)

г), массу 1000 семян (171,25 г), число семян с растения (98,50 шт.), число семян в бобе (2,89 шт.) и урожайность семян (3,11 т/га) (табл. 2). Дополнительно оценивалась масса 1000 семян в фазе технической спелости, среднее значение было 459,37 г. Самое высокое значение было зафиксировано с препаратом В2- 474,63 г.

Исследование показало, что процент растений с клубеньками, число клубеньков, длина главного корня и площадь листьев были выше после проведенных обработок препаратом В2 (92,50%; 32,43 шт.; 24,42 см, 1393,50 см² соответственно). Для показателей количества числа клубеньков на растение, длины главного корня и площади листьев были обнаружены статистически значимые различия между обработками (табл. 3). Общие средние значения показателей составили 18,59 шт.; 22,26 см и 1352,50 см², соответственно. По показателю высоты растений в фазе начала технической спелости разницы в эффекте использованных препаратов нет, наибольшее значение было у контрольного варианта - 57,78 см, при общем среднем - 56,61 см.

В исследовании Clua (2013) по оценке инокуляции сои культурой *B. japonicum* и микоризой среднее число клубеньков на растение колебалось от 17,75 до 32,00. С другой стороны, Aguilera (2017) получила в среднем 21,95 клубеньков на растение, используя *B. japonicum*. Данные, полученные указанными авторами, аналогичны данным, полученным в проведенном исследовании, где число клубеньков на растении варьируется от 23,36 до 32,43 шт. Sveta (2000) указывает, что растения с 10–30 клубеньками в репродуктивной стадии имеют достаточные условия для фиксации азота и, следовательно, высокую урожайность.

Выводы

1. Сравнение влияния на биометрические показатели биопрепаратов показало, что обработка В2 (*Sinorhizobium fredii*) давала самые высокие средние значения для показателей толщины стебля (11,50 мм), высоты прикрепления нижнего боба (11,19 см), числа ветвей (3,40 шт.) и числа продуктивных узлов (27,48 шт.). Обработка препаратом В1 способствовала самому высокому числу бобов на растении – 37,18 шт.

2. Анализ структуры урожая показал, что обработки имели значимые статистические различия, препарат В2 повлиял на формирование самых высоких показателей массы растения (30,47 г), массы семян с растения (15,33 г), массы 1000 семян (171,25 г), числа семян с растения (98,50 шт.), числа семян в бобе (2,89 шт.) и урожайности семян (3,11 т/га).

3. Важно отметить, что на исследуемой территории не выращивались ни соя, ни какие-либо другие бобовые культуры, поэтому в контрольном варианте на корнях наблюдаемых растений не обнаружено клубеньков, из чего можно сделать вывод, что в этих почвах отсутствуют азотфиксирующие бактерии.

4. Применение микробиологических препаратов на основе *B. japonicum* и *S. fredii* дало лучшие результаты по сравнению с контрольной обработкой. Однако препарат В2 показал наибольшее число растений с клубеньками (92,50%), количество клубеньков (32,43 шт.), длины главного корня (24,42 см) и площади листьев (1393,50 см²).

5. В условиях Нечерноземной зоны РФ препарат В2 имел лучшие симбиотические отношения с соей овощной (сортообразец-А). Поэтому для достижения лучших показателей урожайности могут быть рекомендованы микробиологические препараты на основе *S. fredii*.

• Литература

1. Zakirova S., Abdullalilova M., Mo'minova M., Yokubova N. Soybean cultivation technology. International scientific-practical conference actual issues of agricultural development: problems and solutions, June 6-7, 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8002470>
2. Тильба В.А. Совершенствование приемов возделывания и переработки сои на основе инновационных элементов. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2012;3(23):9-13. <https://www.elibrary.ru/sykvkl>
3. Zhang Q., Li Y., Kit L. Chin, Qil Y. Vegetable soybean: Seed composition and production research. *Italian Journal of Agronomy*. 2017;12(3):872. <http://doi.org/10.4081/ija.2017.872>
4. Мавлянова Р.Ф., Зуев В. И., Ким В.В., Пирназаров Д.Р. Технология возделывания овощной сои в Узбекистане. Издание 2-ое, дополненное. Ташкент, Узбекистан, изд. "Sylo Servis", 2013. 24 с.
5. Djanta M.K.A., Agoyi E.E., Agbahoungba S., Quenum F.J., Chadare F.J., Assogbadjo A.E., Sinsin B. Vegetable soybean, edamame: Research, production, utilization and analysis of its adoption in Sub-Saharan Africa. *Journal of Horticulture and Forestry*. 2020;12(1):1-12. <http://doi.org/10.5897/JHF2019.0604>
6. Konovsky J., Lumpkin T.A., McClary D. Edamame: The Vegetable Soybean. *Understanding the Japanese Food and Agrimarket*, 1988 (Gotoh 1984). 1994. P. 173-181.
7. Bagale S. Nutrient Management for Soybean Crops. *International Journal of Agronomy. Hindawi*. 2021;(2021):e3304634. <http://doi.org/10.1155/2021/3304634>
8. Hellal F.A., Abdelhamid M.T. Nutrient management practices for enhancing soybean (*Glycine max* L.) production. *Acta Biologica Colombiana*. May 2013 18(2):3-14.
9. Vargas R.L., Schuch L.O.B., Barros W.S., Rigo G.A., Szareski V.J. et al. Macronutrients and Micronutrients Variability in Soybean Seeds. *Journal of Agricultural Science*. 2018;10(4):209. <http://doi.org/10.5539/jas.v10n4p209>
10. La Menza N.C., Monzon J.P., Specht J.E., Grassini P. Is soybean yield limited by nitrogen supply? *Field Crops Research*. 2017;(213):204-212. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.009>
11. Ohya T., Tewari K., Ishikawa S., et al. Role of nitrogen on growth and seed yield of soybean and a new fertilization technique to promote nitrogen fixation and seed yield. 2017. P. 153-185. <http://doi.org/10.5772/66743>
12. Gage D.J. Infection and invasion of roots by symbiotic nitrogen-fixing rhizobia during nodulation of temperate legumes. *Microbiology and molecular biology reviews: MMBR*. 2004;68(2):280-300. <http://doi.org/10.1128/MMBR.68.2.280-300.2004>
13. Noda Y. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*. 2009;32(2):1-1. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942009000200001&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0864-0394.
14. Васильчиков А.Г., Гурьев Г.П. Изучение эффективности различных форм микробных препаратов для инокуляции сои. *Земледелие*. 2017;(3):3-4. <https://www.elibrary.ru/ynlapv>
15. Гайдученко А.Н., Тильба В.А. Короткоротационные севообороты универсального использования в условиях Амурской области. Пути повышения ресурсного потенциала сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. Владивосток. 2007. С. 299-317.
16. Низкий С.Е. Ресурсно-ценностный подход к оценке развития растительных сообществ на заброшенных сельскохозяйственных землях Амурской области. Благовещенск: ООО «ИПК «ОДЕОН», 2019. 140 с. ISBN: 978-5-6040714-3-4. <https://www.elibrary.ru/mxszhn>
17. Zakhia F., de Lajudie P. Taxonomy of rhizobia. *Agronomie*. 2001;(21):569-576. <http://doi.org/10.1051/agro:2001146>
18. Новар М.Э., Введенский В.В., Влияние поздней внекорневой подкормки Альбитом, Аскобином и Литовитом на урожайность и структуру урожая сои. *Кормопроизводство*. 2022;(4):25-28. <https://doi.org/10.25685/krm.2022.59.17.001> <https://www.elibrary.ru/asbobi>
19. Vincent J.M. A Manual for the practical study of root nodules bacteria. Blackwell Sci. Publications. Oxford, England. 1970.
20. Clua A., Olgiati J., Beltrano J. Evaluación de la doble inoculación *Bradyrhizobium-micorrizas* y el uso de fitoterápicos de semilla en el crecimiento, eficiencia de inoculación y el rendimiento de un cultivo de soja. *Gerencia de Comunicación e Imagen Institucional, DNA SICC, INTA. RIA (Revista de Investigaciones Agropecuarias)*. 2013;39(3):250-258. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/560>
21. Veronesi M. Evaluación de inoculantes y promotores de crecimiento en un cultivo de soja en Gualeguaychú, provincia de Entre Ríos [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. 2014. <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/evaluacion-inoculantes-sojagualeguaychu.pdf>
22. Шафигуллин Д.Р. Агробиологические и физиолого-биохимические аспекты интродукции сои овощной (*Glycine max* L.) в условиях центрального района Нечернозёмной зоны. М., 2019. <https://www.elibrary.ru/efhwki>
23. Aguilera B.A. Biofertilizantes y su efecto sobre el crecimiento y rendimiento de la soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Paraguay: Ingeniería Agronómica, FIA UNE, 2017. 2017. https://www.academia.edu/36741609/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_ESTADO_FACULTAD_DE_INGENIERIA_DE_AGRICULTURA_MICA_TESIS_DE_GRADO
24. Câmara G. Nitrogênio e produtividade da soja. In: Câmara G.M.S. (Eds.). Soja: s.p.Tecnologia da Produção II. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. P. 295-339.

• References

2. Tilba V.A. The improvement of methods of cultivation and soybean processing based of innovative elements. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2012;3(23):9-13. <https://www.elibrary.ru/sykvkl> (In Russ.)
4. Mavlyanova R.F., Zuev V.I., Kim V.V., Pirnazarov D.R. Technology of cultivation of vegetable soybeans in Uzbekistan. Tashkent, Uzbekistan, ed. "Sylo Servis", 2013. 24 p. (In Russ.)
14. Vasilchikov A.G., Gurev G.P. Investigation of efficiency of different forms of microbial preparations for soybean inoculation. *Zemledelie*. 2017;(3):3-4. <https://www.elibrary.ru/ynlapv> (In Russ.)
15. Gayduchenko A.N., Tilba V.A. Short-term crop rotations of universal use in the conditions of the Amur region. Ways to increase the resource potential of agricultural production: collection scientific Vladivostok. 2007. P. 299-317. (In Russ.)
16. Nizkiy S.Ye. Resource-value approach to assessing the development of plant communities on abandoned agricultural lands in the Amur region. *Blagoveshchensk: IPK ODEON LLC* 2019. 140 p. ISBN: 978-5-6040714-3-4. <https://www.elibrary.ru/mxszhn> (In Russ.)
18. Novar M.E., Vvedenskiy V.V. The effect of "Albit", "Askobin" and "Litovit" top dressing on soybean productivity. *Kormoproizvodstvo*. 2022;(4):25-28. <https://doi.org/10.25685/krm.2022.59.17.001> <https://www.elibrary.ru/asbobi>
22. Shafigullin D.R. Agrobiological and physiological-biochemical aspects of the introduction of vegetable soybean (*Glycine max* L.) in the conditions of the central region of the Non-Chernozem Zone. M., 2019. <https://www.elibrary.ru/efhwki> (In Russ.)

Об авторах:

Мульо Панолиуса Фредди Эдуардо – аспирант,

<http://orcid.org/0000-0002-5312-3800>,

SPIN-код: 1282-9830, автор для переписки,

mfredy.28fm@gmail.com; mulyo_panoluisa_f@pfur.ru

Елена Валерьевна Романова – кандидат сельскохозяйственных наук,

доцент, SPIN-код: 7862-0287,

<http://orcid.org/0000-0002-8287-5462>, Romanova-ev@rudn.ru

Саласар Флорес Кристиан Александр – доцент факультета

компьютерных наук и электроники,

<http://orcid.org/0000-0002-6927-7863>, cristian_salazarf@hotmail.com

About the Authors:

Freddy Eduardo Mullo Panoluisa – PhD student, SPIN-code: 1282-9830,

<http://orcid.org/0000-0002-5312-3800>, Corresponding Author,

mfredy.28fm@gmail.com, mulyo_panoluisa_f@pfur.ru

Elena V. Romanova – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor,

SPIN-code: 7862-0287,

<http://orcid.org/0000-0002-8287-5462>, Romanova-ev@rudn.ru

Cristian Alexander Salazar Flores – Professor,

Faculty of Computer Science and Electronics,

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH),

<http://orcid.org/0000-0002-6927-7863>, cristian_salazarf@hotmail.com

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-105-110>
УДК: 633.88-02(470.62)

Р.Р. Тхаганов^{1*},
Н.И. Сидельников², О.Л. Сайбель²

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» (Северо-Кавказский филиал) 353225, Россия, Краснодарский край, Динской район, ст. Васюринская, пос. ЗОС ВНИИЛР

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений» 117216, Россия, г. Москва, ул. Грина, д. 7

*Автор для переписки:
krasnodarvilar@gmail.com

Финансирование. Работа проводилась согласно теме НИР «Поиск и выявление перспективных видов дикорастущих растений, изучение их ресурсного потенциала, формирование высокопродуктивных агроценозов лекарственных и ароматических культур путем создания новых сортов и разработки интенсивных, экологически безопасных технологий их возделывания» (№ FGUU-2022-0009).

Вклад авторов: Р.Р. Тхаганов: концептуализация, методология, написание – подготовка черновика рукописи, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи. Н.И. Сидельников: научное руководство исследованием, редактирование рукописи. О.Л. Сайбель: концептуализация, научное руководство исследованием, редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Н.И. Сидельников является членом редакционной коллегии журнала «Овощи России» с 2017 года, но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляют.

Для цитирования: Тхаганов Р.Р., Сидельников Н.И., Сайбель О.Л. Приемы повышения урожайности травы и семенной продуктивности эхинацеи пурпурной в условиях Краснодарского края. *Овощи России*. 2024;(4):105-110. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-105-110>

Поступила в редакцию: 23.04.2024
Принята к печати: 29.05.2024
Опубликована: 08.07.2024

Ruslan R. Thaganov^{1*},
Nikolay I. Sidelnikov², Olga L. Saibel²

¹All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (North Caucasus branch) village ZOS VNIIILR, Vasyurinskaya station, Dinskoy district, Krasnodar Territory, Russia, 353225

²All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants 7, Grin str., Moscow, Russia, 117216

*Corresponding Author: krasnodarvilar@gmail.com

Funding. The work was carried out in accordance with the research topic "Search and identification of promising species of wild plants, study of their resource potential, formation of highly productive agroecosystems of medicinal and aromatic crops by creating new varieties and developing intensive, environmentally friendly technologies for their cultivation" (No. FGUU-2022-0009).

Authors' Contribution: R.R. Thaganov: conceptualization, methodology, writing – drafting the manuscript, conducting research, writing-reviewing and editing the manuscript. N.I. Sidelnikov: scientific supervision of the study, editing the manuscript. O.L. Saibel: conceptualization, scientific supervision of the study, manuscript editing.

Conflict of interest: N.I. Sidelnikov has been a member of the editorial board of the Journal "Vegetable crops of Russia" since 2017, but had nothing to do with the decision to publish this manuscript. The manuscript passed the journal's peer review procedure. The authors declare no other conflicts of interest.

For citation: Thaganov R.R., Sidelnikov N.I., Saibel O.L. Methods of increasing herbage yield and seed productivity of *Echinacea purpurea* under conditions of Krasnodar krai. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):105-110. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-105-110>

Received: 23.04.2024
Accepted for publication: 29.05.2024
Published: 08.07.2024

Приемы повышения урожайности травы и семенной продуктивности эхинацеи пурпурной в условиях Краснодарского края

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Для производства фармацевтической продукции из сырья эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.) необходимо достаточное количество высококачественных семян при закладке производственных площадей с высокой урожайностью надземной массы.

Материал и методика. На эхинацее второго года вегетации с целью повышения урожая травы и семенной продуктивности проведены испытания органоминерального удобрения ЭкоФус (1,5 л/га) с микроудобрениями Силиплант (0,5 л/га) или Цитовит (1,0 л/га). В качестве эталона использовали двукратную некорневую подкормку Силиплант (0,5 л/га). Скашивание надземной массы производили в третьей декаде августа. На семенных плантациях испытывали: в фазу начала отрастания ЭкоФус (1,5 л/га), в фазу стеблевания – регуляторы роста Эпин-экстра (0,06 л/га), Агат-25К (0,04 л/га) и их баковые смеси. Сбор семян осуществляли в середине сентября.

Результаты. Опрыскивание ЭкоФус с микроудобрениями способствовало активизации процессов роста и привело к повышению на 22-26% урожайности надземной массы, увеличению в ней на 5-7% фенолпропаноидов, их сбор с гектара повысился в пределах 28-35%. Более эффективен был комплекс ЭкоФус (1,5 л/га) и Силиплант (0,5 л/га), прибавка урожайности и действующих веществ составила 26 и 35% по сравнению с контролем и на 11 и 15% – с эталоном. Некорневые подкормки в начале вегетации растений и в фазу стеблевания баковыми смесями ЭкоФус с биорегуляторами Агат и Эпин-экстра привели к более раннему цветению растений (на 2-4 суток), повышению количества соцветий на 9-10%, соцветий с семенами на 14-15% и массы семян с одного соцветия на 12-14%. Урожайность семян возросла на 21-25%, масса 1000 шт. – на 7-8% и их всхожесть – на 2-3%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Echinacea purpurea, ЭкоФус, микроудобрения, регуляторы роста, урожайность сырья и семян, фенолпропаноиды

Methods of increasing herbage yield and seed productivity of *Echinacea purpurea* under conditions of Krasnodar krai

ABSTRACT

Relevance. For the production of pharmaceutical products from raw materials of *Echinacea purpurea* L., it is necessary to have a sufficient amount of high-quality seeds when planting production areas with high yields of aboveground mass.

Methods. On *Echinacea purpurea* of the second year of vegetation in order to increase herbage yield and seed productivity, tests of organomineral fertilizer EcoFus (1.5 l/ha) with microfertilizers (Siliplant (0.5 l/ha) or Cytovit (1.0 l/ha)). As a standard, we used double foliar feeding with Siliplant (0.5 l/ha). The above-ground mass was mowed in the third ten days of August. On seed plantations we tested: in the early growth phase EcoFus (1.5 l/ha), in the stemming phase – growth regulators Epin-extra (0.06 l/ha), Agat-25K (0.04 l/ha) and their tank mixtures. Seed collection was carried out in mid-September.

Results. Double spraying with complex – EcoFus with microfertilizers, promoted activation of growth processes, and it resulted in 22-26% increase of above-ground mass yield, 5-7% increase of phenylpropanoids in it, their collection per hectare increased within 28-35%. A more effective complex was revealed: EcoFus (1.5 l/ha) with Siliplant (0.5 l/ha), which allowed to increase yield and collection of active substances by 26 and 35% in comparison with the control, and in comparison with the reference (Siliplant 0.5 l/ha) – by 11 and 15%, respectively. In order to increase seed productivity of *Echinacea purpurea*, spraying with EcoFus at the beginning of vegetation of plants and EcoFus complex with bioregulators Agat and Epin-extra in the phase of stemming was applied. Foliar fertilization with these tank mixtures resulted in earlier flowering of plants (by 2-4 days), increased the number of inflorescences by 9-10%, inflorescences with seeds by 14-15% and seed weight of one inflorescence by 12-14%. Activation of generative processes of *Echinacea purpurea* had a positive effect on seed yield and their quality: yield increased by 21-25%, weight of 1000 pieces by 7-8% and their germination by 2-3%.

KEYWORDS:

Echinacea purpurea, EcoFus, microfertilizers, growth regulators, raw material and seed yields, phenylpropanoids



Введение

Ученые в области фармакологии в 21 веке пристальное внимание уделяют поиску лекарственных форм природного происхождения для лечения пациентов с нарушением иммунного статуса. К ним относится *Echinacea purpurea* L. (эхинацея пурпурная) – многолетнее травянистое растение, достигающее высоты до 1,3 м в условиях Краснодарского края. На территории России – это растение не произрастает в естественных условиях, поэтому оно было введено в культуру и возделывается в промышленных масштабах, в частности в южных регионах страны.

Основными действующими веществами эхинацеи являются гидроксикоричные кислоты (цикориевая, кофейная и ее производные), максимальное количество которых отмечается в стеблевых листьях в фазу цветения, а также полисахариды, флавоноиды, глюкопротеиды, дубильные вещества, эфирное масло [1, 2]. В настоящее время стандартизация сырья эхинацеи проводится по сумме фенилпропаноидов, группе биологически активных веществ, к которым относятся гидроксикоричные кислоты [3].

Препараты на основе сырья эхинацеи пурпурной применяют в случае ослабления иммунной системы человека, при простудных заболеваниях и респираторных инфекциях, они обладают антиоксидантными и противодиабетическими свойствами, антибактериальной активностью по отношению к грамположительным микроорганизмам [4, 5, 6]. Трава эхинацеи также является сырьем при получении лекарственных средств, способствующих повышению иммунитета различных видов животных [8].

Для увеличения производства лекарственного сырья эхинацеи необходимо обеспечить высокую урожайность культуры, а для расширения производственных площадей создать необходимый запас высококачественных семян.

В изданных научных работах представлены результаты применения на плантациях эхинацеи микроудобрений таких как: АгроМастер и Феровит, гуминового удобрения – Лигногумат, которые позволяют обеспечить усиление роста и развития, повышения урожайности культуры [9, 10]. Экзогенные подкормки комплексом микроудобрения Силиплант с гуминовыми препаратами также способствуют увеличению до 23 % урожайности травы эхинацеи [11].

Для увеличения семенной продуктивности лекарственных культур (календулы, копеечника, змееголовника) рядом авторов предлагается использование регуляторов роста Циркон и Эпин-экстра [12, 13, 14], на синюхе – кремнийсодержащего микроудобрения Силиплант [15].

Усовершенствование элементов технологии выращивания для повышения урожайности травы и семян *Echinacea purpurea*, основанных на внесении баковых смесей органоминерального удобрения с микроудобрением и росторегулятором служило целью нашей работы.

Материалы и методы

Исследования на эхинацее пурпурной перспективного нового сорта Южанка проводили на посадках второго года вегетации путем постановки мелкоделяночных опытов по методике, разработанной для лекарственных куль-

тур [16] в 2021-2023 годах. Разбивка делянок – рендомизированная с четырехкратным повторением, площадь делянки – 24 м².

Посев эхинацеи осуществляли осенью 2020 и 2021 годов.

Агрохимические показатели опытного участка: в пахотном слое гумуса – 5,0%, фосфора – 9,17-0,22%, общего азота – 0,22-0,30%, калия – 1,7-2,1%. Наибольшую площадь занимают черноземные почвы. Они относятся к так называемым западно-предкавказским черноземам, отличаются плодородием. Мощность почвенного слоя достигает 1,5-2,0 м.

Климат в зоне исследований умеренный, характеризуется жарким летом и неустойчивым увлажнением, зима малоснежная с частыми оттепелями. Среднесуточная температура в период исследований превышала норму в пределах 2,7–12,8°C. Среднемесячная температура воздуха в зимний период менялась в интервале от -7 до +12°C, зима малоснежная с частыми оттепелями. Лето очень жаркое с малым количеством осадков, среднемесячная температура колеблется от +23 до 41°C.

Среднемесячное количество осадков в летние месяцы меняется в интервале 51-75 мм, среднегодовое количество осадков 560-600 мм.

Для решения поставленной задачи ранней весной для стимулирования ростовых процессов и соответственно повышения урожайности травы, испытывали опрыскивание комплексом ЭкоФус (органоминеральное удобрение) с нормой расхода 1,5 л/га с Силиплантом (универсальное микроудобрение) – 0,5 л/га или с Цитовитом (высококонцентрированный препарат) в дозе 1,0 л/га. В качестве эталона использовалась ранее предложенная производству технология повышения урожайности травы – двукратная некорневая подкормка Силиплантом с нормой 0,5 л/га. Обработки осуществляли препаратами двукратно: фаза отрастания – первая обработка при наличии 6-7 настоящих листочков, фазу стеблевания – вторая, скашивание надземной массы производили в третьей декаде августа.

На семенных плантациях *Echinacea purpurea* для получения семян с высокой всхожестью и энергией прорастания испытывали: в фазу начала отрастания ЭкоФус (1,5 л/га), в фазу стеблевания – регуляторы роста Эпин-экстра (д.в. 24-эпибрассинолид) 0,06 л/га, Агат-25К (д.в. штаммы бактерий *Pseudomonas aureofaciens* H16 и *Bacillus megaterium*) (0,04 л/га) и баковые смеси ЭкоФус + Эпин-Экстра или ЭкоФус + Агат-25К. Сбор семян осуществляли в середине сентября. На один гектар вносили 300 литров рабочей смеси. Контрольный вариант обрабатывали водой.

Всхожесть семян определяли по ГОСТ 34221-2017. Повторность опыта 6-ти кратная.

Определение содержания фенилпропаноидов проводили в 3-х кратной повторности по методике, изложенной в ГФ XIV «Эхинацея пурпурная трава» [17].

Цифровые значения обрабатывали с применением статистического анализа Excel.

Результаты и их обсуждение

Медленный рост и развитие *Echinacea purpurea* на первом году жизни в условиях Западного Предкавказья сказывается на наступлении основных фенологических фаз, так бутонизация отмечена только во второй дека-

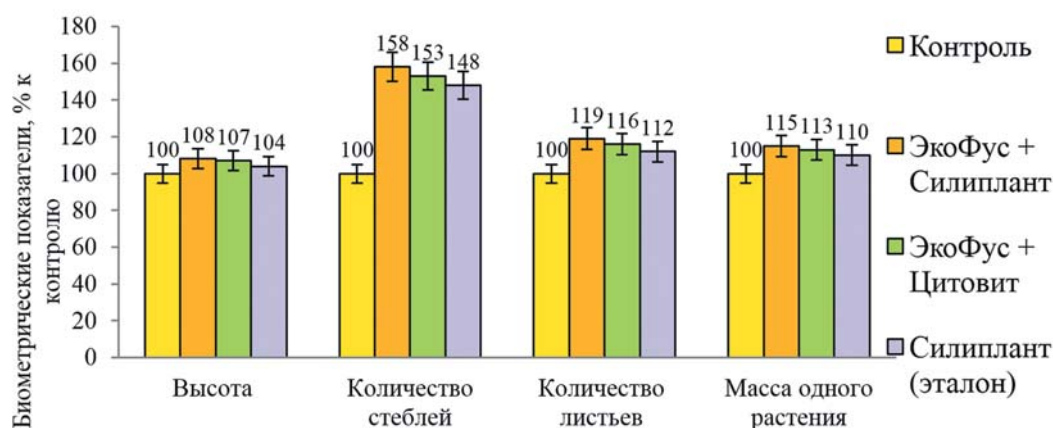


Рис. 1. Эффективность применения ЭкоФуса, Силипланта и Цитовита на эхинацее пурпурной 2 года вегетации
Fig. 1. Effectiveness of EcoFus, Siliplant and Cytovit application on Echinacea purpurea 2 years of vegetation

де сентября, когда необходимо проводить уборку сырья. При этом урожайность культуры невысокая и в зависимости от метеословий составляет от 1,0 до 1,5 т/га, поэтому основная уборка надземной массы проводится на второй и последующие года вегетации.

Проведенные на втором году вегетации эхинацеи некорневые подкормки комплексом ЭкоФуса с микроудобрениями привели к активизации ростовых процессов. Наблюдалось повышение биометрических показателей растений, которые к моменту уборки сырья превышали контроль: по высоте – на 7-8%, по массе одного растения – на 13-15%, по количеству листьев – на 16-19%. Здесь же отмечено значительное увеличение количества стеблей на растении (53-58%), что связано с появлением в июне новых побегов, которые составляют 35-38% от общего количества. Сравнивая полученные биометрические показатели на вариантах: ЭкоФус + микроудобрения, эталон (Силиплант) – можно отметить их превышение по всем параметрам развития по отношению к контрольным растениям (рис. 1).

Учет урожайности сырья (трава) показал (табл. 1), что при двукратном применении баковой смеси ЭкоФус с Силиплантом по сравнению с контрольным вариантом, прибавка составила 1,07 т/га (26%), ЭкоФус с Цитовитом – 0,89 т/га (22%). Содержание фенилпропаноидов увеличивалось на 5-7%, а их сбор с гектара – на 28-35%. В эталонном варианте (Силиплант – 0,5 л/га) сбор действующих веществ возрос на 18% только в

связи с приростом урожайности надземной массы на 14% (табл. 1).

Более значительные результаты получены при использовании комплекса ЭкоФус с Силиплантом, так как в сравнении с вариантом без внесения препаратов по урожайности превышение составляет 26%, по содержанию фенилпропаноидов в траве – 8%, и в результате сбор их с гектара увеличился до 35%. В эталонном варианте (Силиплант с нормой расхода 0,5 л/га) сбор действующих веществ возрос на 15% в связи с приростом надземной массы до 11%.

Таким образом, совместное использование Силипланта с органоминеральным удобрением ЭкоФус является более эффективным приемом получения высококачественного урожая лекарственного сырья *Echinacea purpurea*, чем применение одного микроудобрения Силиплант, ранее рекомендованного для применения.

При определении структуры урожая установлено, что в вариантах при внесении комплекса удобрений и эталоне (Силиплант) наблюдается увеличение процента листьев, а % стеблей снижается, по соцветиям различий между вариантами не установлено. При опрыскивании ЭкоФус + Силиплант масса листьев повышается на 7%, тогда как стеблей снижается на 10% (рис. 2). Для данной культуры очень важен прирост листовой массы, так как в основном фенилпропаноиды (действующие вещества) содержатся в этих органах растения.

Таблица 1. Воздействие баковых смесей ЭкоФуса с росторегуляторами на урожайность травы Echinacea purpurea (II год вегетации)
Table 1. Effects of tank mixtures of EcoFus with growth regulators on yield grass of Echinacea purpurea (II year of vegetation)

Опытные варианты	Урожайность травы (воздушно-сухой)		Содержание фенилпропаноидов в пересчете на цикориевую кислоту, %	Выход фенилпропаноидов с единицы площади	
	т/га	прибавка, т/га		кг/га	% к контролю
Контроль (опрыскивание водой)	4,12	-	3,27±0,167	134,7	-
ЭкоФус (1,5 л/га) + Силиплант (0,5 л/га)	5,19	1,07	3,51±0,180	182,2	35
ЭкоФус (1,5 л/га) + Цитовит (1,0 л/га)	5,01	0,89	3,43±0,173	171,8	28
Силиплант (0,5 л/га) (эталон)	4,70	0,58	3,39±0,178	159,3	18
НСР ₀₅	0,258		0,131		

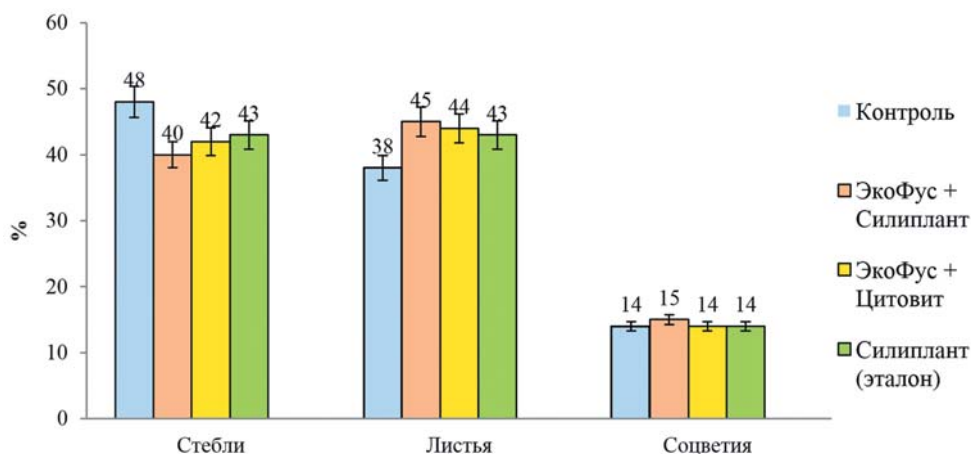


Рис. 2. Влияние комплексов ЭкоФуса с микроудобрениями на структуру *Echinacea purpurea* (II год вегетации)
Fig. 2. Effect of EcoFus complexes with microfertilizers on the structure of *Echinacea purpurea* (II year of vegetation)

Анализ полученных результатов позволяет рекомендовать на *Echinacea* для повышения урожайности травы и увеличения сбора фенолпропаноидов с единицы площади использование двукратной обработки комплекса ЭкоФус + Силиплант.

В наших предыдущих научных работах было доказано, что применение росторегуляторов – Гибберсиба, Агата, Циркона в фазу начала цветения культуры благоприятно сказывается на урожай и качество семян. Однако, впоследствии мы убеди-

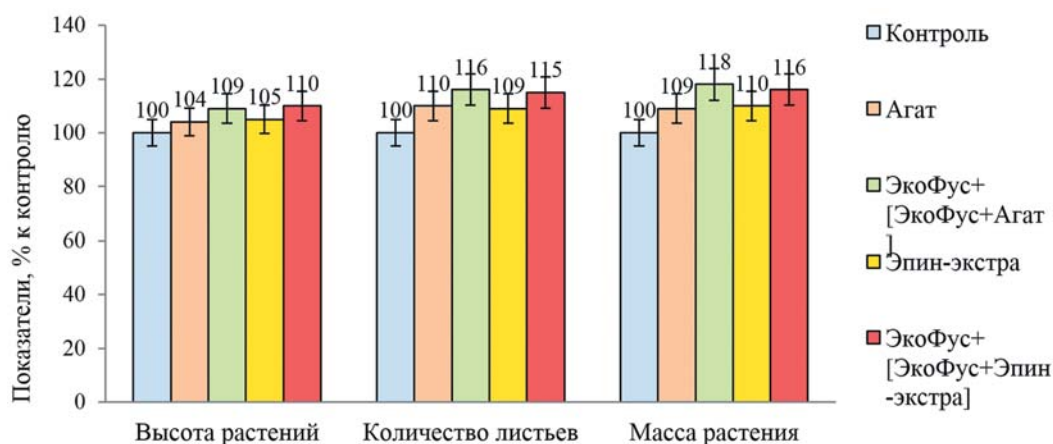


Рис. 3. Изменение биометрических показателей эхинацеи при обработках комплексами ЭкоФуса с регуляторами роста
Fig. 3. Changes in biometric indices of *Echinacea* under treatments with EcoFus complexes with growth regulators

Таблица 2. Воздействие биорегуляторов и их комплекса с ЭкоФусом на образование генеративных побегов (соцветия) и семян *Echinacea purpurea* (II год вегетации)
Table 2. Effects of bioregulators and their complex with EcoFus on the formation of generative shoots (inflorescence) and seeds of *Echinacea purpurea* (II year of vegetation)

Опытные варианты	Количество соцветий на растении		Кол-во соцветий с семенами на растении		Кол-во семян с одного соцветия	Масса семян одного соцветия	
	шт.	% к контролю	шт.	% к контролю		г	% к контролю
Контроль (опрыскивание водой)	11,8±0,62	-	7,8±0,40	-	91,1±4,57	0,361±0,0183	-
Агат (0,04 кг/га)	12,6±0,65	7	8,6±0,45	10	94,8±4,76	0,393±0,0200	9
ЭкоФус (1,5 л/га) + [ЭкоФус + Агат] (1,5 л/га + 0,04 кг/га)	13,0±0,67	10	9,0±0,47	15	95,9±4,81	0,411±0,0208	14
Эпин-экстра (0,06 л/га)	12,5±0,65	6	8,5±0,44	9	94,4±4,68	0,386±0,0194	7
ЭкоФус (1,5 л/га) + [ЭкоФус + Эпин-Экстра] (1,5 л/га+0,06 л/га)	13,1±0,68	9	8,9±0,39	14	95,0±4,78	0,400±0,0201	12
НСР ₀₅	0,31		0,37		1,72	0,0102	

Таблица 3. Урожайность и качество семян *Echinacea purpurea* II года вегетации при применении органоминерального удобрения ЭкоФус и биорегуляторов
Table 3. Yield and quality of seeds of *Echinacea purpurea* II year of vegetation at application of organomineral fertilizer EcoFus and bioregulators

Опытные варианты	Всхожесть семян, %	Урожайность семян		Масса 1000 семян,	
		т/га	% к контролю	г	% к контролю
Контроль (опрыскивание водой)	83	0,48	-	3,97±0,199	-
Агат (0,04 кг/га)	85	0,55	14	4,17± 0,216	5
ЭкоФус (1,5 л/га) + [ЭкоФус + Агат] (1,5 л/га + 0,04 кг/га)	86	0,60	25	4,28±0,219	8
Эпин-экстра (0,06 л/га)	84	0,54	13	4,13± 0,209	4
ЭкоФус (1,5 л/га) + [ЭкоФус + Эпин-экстра] (1,5 л/га + 0,06 л/га)	85	0,58	21	4,25± 0,215	7
НСР _{0,5}		0,028			

лись в невозможности проводить механизированные обработки в фазу цветения, так как к этому времени высота растений практически достигает 1 м. В связи с этим, были заложены опыты по использованию биорегуляторов в более ранние сроки развития растений (фаза стеблевания). Обработки семенных посевов эхинацеи (второй года вегетации) в фазу начала отрастания ЭкоФусом и баковой смесью ЭкоФус + Агат и Эпин-Экстра в фазу стеблевания ускорили цветение на 2-4 суток. Проведенные биометрические учеты в фазу цветения показали, что на этих вариантах наблюдалось усиление роста и развития культуры: высота превышала контроль в пределах 9-10%, количество листьев – 15-16%.

Опрыскивание баковыми смесями: ЭкоФус + Агат и ЭкоФус + Эпин-Экстра активизировали развитие генеративных органов растения – увеличилось количество соцветий по сравнению с контролем до 10%, соцветий с семенами – до 15% и массы семян одного соцветия – до 14% (табл. 2).

Полученные результаты хорошо согласуются с данными по семенной продуктивности. Согласно таблице 3, на вариантах комплексного применения органоминерального удобрения и росторегуляторов, урожайность семян повышалась в сравнении с контролем на 21-25%, а с отдельным применением биорегуляторов – на 8-9%. В вариантах с бинарными смесями увеличивается и масса 1000 семян до 8% и их всхожесть – до 3 %, что говорит об улучшении их качества.

Таким образом, разработанная технология опрыскивания комплексом ЭкоФуса с Эпин-экстра или Агатом может быть рекомендована для применения на семенных посевах эхинацеи пурпурной в южной зоне России.

Заключение

1. Двукратное опрыскивание комплексом – ЭкоФус с микроудобрениями, способствовало активизации процессов роста, и это привело к повышению на 22-26% урожайности надземной массы, увеличению в ней на 5-7% фенолпропаноидов, их сбор с гектара повысился в пределах 28-35%.

2. Наибольшая эффективность наблюдалась на варианте ЭкоФус + Силиплант, где урожайность (трава) превысила контроль на 1,07 т/га (26%), содержание фенолпропаноидов на 8% и их сбор с гектара на 35%. При применении данного комплекса также наблюдалось повышение урожайности и сбора действующих веществ по сравнению с эталоном (Силиплант) – на 11 и 15%, соответственно.

3. Использование Силипланта (0,5 л/га) с органоминеральным удобрением ЭкоФус (1,5 л/га) является более эффективным приемом получения высококачественного урожая лекарственного сырья эхинацеи, чем применение одного микроудобрения, и позволяет рекомендовать данный комплекс при промышленном возделывании культуры.

4. Применение ЭкоФуса в начале отрастания эхинацеи и его комплекса с биорегуляторами (Агат и Эпин-экстра) в фазу стеблевания ускорили цветение на 2-4 суток и активизировали генеративное развитие: увеличилось количество соцветий до 10%, соцветий с семенами – до 15% и массы семян одного соцветия – до 14%.

5. В вариантах комплексного применения органоминерального удобрения и росторегуляторов, урожайность семян повышалась в сравнении с контролем на 21-25%, при этом увеличивалась и масса 1000 семян до 8% и их всхожесть – до 3%, что говорит об улучшении их качества.

• Литература

1. Сидельников А.Н., Хазиева Ф.М. Содержание фармакологически активных фенольных соединений в сырье эхинацеи пурпурной, выращенной в разных регионах России. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2015;(6):23-28. <https://elibrary.ru/uapxav>
2. Корнильев Г.В., Палий А.Е., Логвиненко Е.А. Биологически активные вещества *Echinacea angustifolia* DC. и *Echinacea purpurea* (L.) Moench. коллекции Никитинского ботанического Сада. Бюллетень государственного Никитинского ботанического сада. 2014;(111):46-57. <https://elibrary.ru/uckqpl>
3. Куркин В.А. Фенилпропаноиды как важная группа биологически активных соединений лекарственных растений. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015;(12-7):1338-1342. <https://elibrary.ru/vjfuhr>
4. Chiou S.Y., Sung J.M., Huang P.W., Lin S.D. Antioxidant, Antidiabetic, and Antihypertensive Properties of *Echinacea purpurea* Flower Extract and Caffeic Acid Derivatives Using *In Vitro* Models. *Journal of Medicinal Food*. 2017;20(2):171-179. <https://doi.org/10.1089/jmf.2016.3790>
5. Dall'Acqua S., Perissutti B., Grabnar I. Pharmacokinetics and immunomodulatory effect of lipophilic *Echinacea* extract formulated in softgel capsules. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2015;97(PtA):8-14. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2015.09.021>
6. Kumar R.M., Ramaiah S. Pharmacological importance of *Echinacea purpurea*. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 2011;2(4):304-314.
7. Брюхачев А.Н., Захарова Ю.В., Брюхачева Е.О. Антибактериальная активность эхинацеи пурпурной. Международный научно-исследовательский журнал. 2023;11(137):45-50. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.90> <https://www.elibrary.ru/kojnch>
8. Мирошина Т.А., Рассолов С.Н. Использование препаратов на основе эхинацеи пурпурной в животноводстве. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022;3(209):74-80. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-74-80> <https://www.elibrary.ru/jzirdw>
9. Гончарова Л.Ю., Симонович Е.И., Сахарова С.В. Влияние некоторых удобрений («Белогор», «Лигногумат» и «Покон») на урожайность эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* Moench.) и отдельные показатели чернозема обыкновенного. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2012;4(170):62-65. <https://www.elibrary.ru/pciyp>
10. Яхтанигова Ж.М., Кулешова И.В. Применение удобрений в посевах эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.) в условиях центрально-черноземного региона. Новые технологии. 2021;17(5):145-154. <https://doi.org/10/47370/2072-0920-2021-17-5-145-154> <https://www.elibrary.ru/dzlypd>
11. Быкова О.А., Тхаганов Р.Р., Аникина А.Ю., Сидельников Н.И. Приемы повышения урожайности лекарственных культур в условиях Западного Предкавказья. Труды Кубанского аграрного университета. 2022;(102):103-109. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-102-103-109> <https://www.elibrary.ru/sfsrwy>
12. Ромашкина С.И., Хазиева Ф.М. Перспективы выращивания *Hedysarum alpinum* L. в Нечерноземной зоне Российской Федерации. Вестник КРАСГАУ. 2020;12(165):63-68. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-12-63-68> <https://elibrary.ru/vcbkmg>
13. Тоцкая С.А., Савченко О.М., Грязнов М.Ю. Приемы повышения урожайности и их влияние на качество сырья и семян змееголовника молдавского. Агрохимический вестник. 2019;(6):37-41. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10088> <https://elibrary.ru/dscgmi>
14. Гушина В.А., Тимошкин О.А., Вельмисева Л.Е., Остробородова Н.И. Урожайность и качество семян календулы лекарственной в зависимости от приемов возделывания в лесостепи Среднего Поволжья. Земледелие. 2016;(6):35-38. <https://elibrary.ru/wwrgzr>
15. Хазиева Ф.М., Ковалев Н.И., Бурова А.Е., Ромашкина С.И., Саматадзе Т.Е. Изучение влияния регуляторов роста и микроудобрений на биопродуктивность синюхи голубой (*Polemonium caeruleum* L.). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022;14(3):90-104. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-90-104> <https://elibrary.ru/fzroqv>
16. Методика проведения полевых опытов с лекарственными и эфирномасличными культурами / Н.И. Ковалев, Е.Ю. Бабаева, А.Н. Цицилин [и др.]. – Издание 2-е, дополненное и переработанное. Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений", 2023. 112 с. ISBN 978-5-87019-107-2. <https://elibrary.ru/qgsdau>
17. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издания. URL: <https://femb.ru/record/pharmacopeia> 14 (дата обращения: 11.04.2024 г.)

• References

1. Sidel'nikov N.I., Ossipov V.I., Sidel'nikov A.N., Hazieva F.M. Content of pharmacologically active phenolic compounds in the raw material of *echinacea purpurea* plants grown up in different regions of Russia. Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry. 2015;(6):23-28. <https://elibrary.ru/uapxav>
2. Kornilyev G.V., Paliy A.Y., Logvinenko L.A. Biologically active substances of *Echinacea angustifolia* DC. and *Echinacea purpurea* (L.) Moench. from Nikitsky botanical gardens collection. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*. 2014;(111):46-57. <https://elibrary.ru/uckqpl>
3. Kurkin V.A. Phenylpropanoids as the important biologically active compounds of medicinal plants. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2015;(12-7):1338-1342. <https://elibrary.ru/vjfuhr>
4. Chiou S.Y., Sung J.M., Huang P.W., Lin S.D. Antioxidant, Antidiabetic, and Antihypertensive Properties of *Echinacea purpurea* Flower Extract and Caffeic Acid Derivatives Using *In Vitro* Models. *Journal of Medicinal Food*. 2017;20(2):171-179. <https://doi.org/10.1089/jmf.2016.3790>
5. Dall'Acqua S., Perissutti B., Grabnar I. Pharmacokinetics and immunomodulatory effect of lipophilic *Echinacea* extract formulated in softgel capsules. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2015;97(PtA):8-14. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2015.09.021>
6. Kumar R.M., Ramaiah S. Pharmacological importance of *Echinacea purpurea*. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 2011;2(4):304-314.
7. Bryukhachev A., Zakharova Y.V., Bryukhacheva E.O. Antibacterial activity of *Echinacea purpurea*. *International Research Journal*. 2023;11(137):45-50. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.90> <https://www.elibrary.ru/kojnch>
8. Miroshina T.A., Rassolov S.N. Use of products based on purple coneflower in animal husbandry. *Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2022;3(209):74-80. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-74-80> <https://www.elibrary.ru/jzirdw>
9. Goncharova L.Yu., Simonovich E.I., Sakharova S.V., Shimanskaya E.I. The influence of some fertilizers ("Belogor", "Lignogumat" and "Pokon") on yield of *Echinacea purpurea* (*Echinacea purpurea* Moench.) and single indexes of the ordinary chernozem soil. *Bulletin of higher educational institutions. North Caucasus Region. Natural sciences*. 2012;4(170):62-65. <https://www.elibrary.ru/pciyp>
10. Yakhtanigova Zh.M., Kulishova I.V. Fertilization of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) in the conditions of the Central Chernozem Region. *New Technologies*. 2021;17(5):145-154. <https://doi.org/10/47370/2072-0920-2021-17-5-145-154> <https://www.elibrary.ru/dzlypd>
11. Bykova O.A., Tkhanov R.R., Anikina A.YU., Sidel'nikov N.I. Methods of increasing the yield of medicinal crops in the conditions of the Western Caucasus. *Proceedings of the Kuban Agrarian University*. 2022;(102):103-109. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-102-103-109> <https://www.elibrary.ru/sfsrwy>
12. Romashkina S.I., Khazieva F.M. The prospects of cultivation of *Hedysarum alpinum* L. in Non-Chernozem zone of the Russian Federation. *Bulletin of KSAU*. 2020;12(165):63-68. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-12-63-68> <https://elibrary.ru/vcbkmg>
13. Totkaya S.A., Savchenko O.M., Khazieva F.M., Grjaznov M.Yu. Methods of yield increase and its impact on quality of raw materials and seeds of moldavian dragonhead. *Agrochemical herald*. 2019;(6):37-41. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10088> <https://elibrary.ru/dscgmi>
14. Gushchina V.A., Timoshkin O.A., Velmiseva L.E., Ostroborodova N.I. Productivity and seed quality of *Calendula officinalis* depending on cultivation techniques in forest-steppe of the Middle Volga Region. *Zemledelie*. 2016;(6):35-38. <https://elibrary.ru/wwrgzr>
15. Hazieva F.M., Korotkikh I.N., Kovalev N.I., Burova A.E., Romashkina S.I., Samatadze T.E. Growth regulators and microfertilizer on *Polemonium caeruleum* L. application: effectiveness for medicinal raw material and seeds yield increasing. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022;14(3):90-104. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-90-104> <https://elibrary.ru/fzroqv>
16. Methods of conducting field experiments with medicinal and essential oilseed crops. Edition 1, supplemented and revised. M., Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants". 2023. 112 p. ISBN 978-5-87019-107-2. <https://elibrary.ru/qgsdau>
17. State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV edition. URL: <https://femb.ru/record/pharmacopeia> 14 (date of access: 11.04.2024).

Об авторах:

Руслан Рамазанович Тхаганов – старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-2834-3131>, SPIN-код: 2150-4710, автор для переписки, krasnodarvilar@gmail.com

Николай Иванович Сидельников – академик РАН, доктор с-х наук, директор ФГБНУ ВИЛАР, SPIN-код: 2569-5980, Scopus ID 57190126607

Ольга Леонидовна Сайбель – доктор фармацевтических наук, руководитель Центра химии и фармацевтической технологии ФГБНУ ВИЛАР, SPIN-код: 2842-4587

About the Authors:

Ruslan R. Thaganov – Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-2834-3131>, SPIN-code: 2150-4710, Correspondence Author, krasnodarvilar@gmail.com

Nikolay I. Sidelnikov – Dr. Sci. (Agriculture), Academician of the Russian Academy of Sciences, SPIN-code: 2569-5980, Scopus ID 57190126607

Olga L. Saibel – Dr. Sci. (Pharm.), Head of the Center for Chemistry and Pharmaceutical Technology, SPIN-code: 2842-4587

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-111-119>
УДК: 630*2:630*182

Alemitu Worku*

Ethiopian Forestry Development Jimma center,
Plantation and Agroforestry Research
1187, Addis Ababa, Ethiopia

*Corresponding Author:

alemituworku13@gmail.com

Funding. I am ensured that this study didn't get any financial support from any funding agencies
Conflicts of interest. The author declare that there is no potential conflict of interest.

Authors' Contribution: Alemitu Worku planned this review, and prepared the first manuscript, Finally author read and agreed on the final manuscript.

Acknowledgements. First, I would like to thank Almighty of God for allowing me to complete this review in peace patience and with great honor. Next I would like to acknowledge Ethiopian forestry development Jimma center.

Ethical considerations. I declared that this manuscript is not submitted for possible publication to other journal publishers. In addition to this, I confirmed that this result is free of research misconduct.

Research limitations. There is a limitation on the role of Agroforestry in ecosystem and especially on mitigation of climate change.

For citation: Worku A. The Role of Agroforestry in Ecosystem Services and Mitigation of Climate Change. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):111-119. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-111-119>

Received: 25.03.2024

Accepted for publication: 16.06.2024

Published: 08.07.2024

Алемиту Ворку*

Центр развития лесного хозяйства
Эфиопии в Джимме,
Исследования плантаций
и агролесомелиорации.
1187, Аддис-Абеба, Эфиопия

*Автор для переписки:

alemituworku13@gmail.com

Вклад авторов: Алемиту Ворку спланировал эту рукопись и подготовил первую рукопись, Наконец автор прочитал и согласовал окончательную рукопись.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Worku A. The Role of Agroforestry in Ecosystem Services and Mitigation of Climate Change. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):111-119.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-111-119>

Поступила в редакцию: 25.03.2024

Принята к печати: 16.06.2024

Опубликована: 08.07.2024

The Role of Agroforestry in Ecosystem Services and Mitigation of Climate Change

Check for updates



ABSTRACT

Relevance. Agroforestry systems are believed to provide a multitude of ecological services. It is thought that agroforestry enhances resilience to the impacts of climate change and aids in adaptation by supporting diverse land use practices, sustainable lifestyles, and income streams, as well as increasing productivity in both forests and agriculture, and reducing weather-related losses in production.

Results and Discussion. The aim of this review was to present genuine evidence on the role of agroforestry in ecosystem conservation and mitigation of climate change impacts. Compared to monocropping and open cereal-based agriculture, agroforestry has made a more significant contribution to ecosystem conservation and in reducing carbon dioxide emissions. However, it has been found that agroforestry contributes less to carbon sequestration than natural forests. Carbon sequestration through above-ground and underground biomass, carbon emission reduction from deforestation, and microclimate adjustment are key measures for mitigating climate change. Agroforestry systems provide essential ecosystem services, such as food, fuel wood, fodder, income, and improved soil production, which enable communities to cope better with the impacts of climate change. Therefore, agroforestry must be given significant attention if it is to play a crucial role in ecosystem management.

KEYWORD:

Agriculture, Biodiversity, Carbon dioxide, Homegarden, Species diversity

Роль агролесоводства в экосистемных услугах и смягчении последствий изменения климата

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Считается, что агролесомелиорационные системы предоставляют множество экологических услуг. Считается, что агролесоводство повышает устойчивость к последствиям изменения климата и помогает в адаптации, поддерживая разнообразные методы землепользования, устойчивый образ жизни и потоки доходов, а также повышая продуктивность как в лесах, так и в сельском хозяйстве, а также сокращая потери производства, связанные с погодой.

Результаты. Целью этого обзора было представить достоверные данные о роли агролесомелиорации в сохранении экосистем и смягчении последствий изменения климата. По сравнению с монокультурным и открытым сельским хозяйством, основанным на выращивании зерновых, агролесоводство внесло более значительный вклад в сохранение экосистем и сокращение выбросов углекислого газа. Однако было обнаружено, что агролесоводство в меньшей степени способствует связыванию углерода, чем естественные леса. Связывание углерода за счет надземной и подземной биомассы, сокращение выбросов углерода в результате вырубки лесов и корректировка микроклимата являются ключевыми мерами по смягчению последствий изменения климата. Системы агролесомелиорации обеспечивают важные экосистемные услуги, такие как продукты питания, дрова, фураж, доход и улучшенное плодородие почвы, что позволяет общинам лучше справляться с последствиями изменения климата. Поэтому агролесоводству необходимо уделять значительное внимание, если оно должно играть решающую роль в управлении экосистемами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сельское хозяйство, биоразнообразие, углекислый газ, приусадебный участок, видовое разнообразие

1. Introduction

Crop productivity may be conserved while offering an alternative solution to ecological problems by applying agroforestry [1-3]. Depending on the spatial layout or temporal sequence, this system combines animal production, crop cultivation, and/or tree culture on the piece of land [4]. Agroforestry may help in the conservation of natural ecosystems through efficient resource management and sustainable land management (including reforestation) [5]. Agroforestry also has a significant role to condense greenhouse gas (GHG) emissions since it incorporates a number of activities that have been found to promote carbon absorption [6]. Additionally, the system can support biodiversity by incorporating a variety of plant and agricultural species that can serve as habitats for a variety of wildlife [7, 8]. Agroforestry has been demonstrated to provide socioeconomic benefits for rural residents in addition to its favorable effects on the environment [9]. The community's economic resilience might be improved by implementing a large-scale agro-ecosystem including animals, plants and other agricultural crops [10]. The method may potentially improve family food security through a range of food sources [11]. Therefore, agroforestry may be able to assist with present socioeconomic issues.

According to Ripple, Wolf [12], in order to keep the increase in global temperature to 1.5 degrees Celsius, which is now occurring due to climate change, immediate action is needed [13]. Extreme droughts, flooding, and diseases are just a few of the climate change hazards that can seriously harm agricultural systems and cause soil erosion, crop failure, biodiversity loss, reduced soil moisture, insect damage, and economic losses. Due to increased severe occurrences and frequent drier and wetter weather that endangers present production methods and food supply, farmers are now finding it challenging to plan planting and harvesting [14]. Agriculture, forests, and trees are crucial for reducing carbon emissions and achieving the targets set forth in the Paris Agreement, by replanting the appropriate plant species in the appropriate location (site), farmers may make adjustments to the effects of climate change [15]. Literature has shown that due to its economic, social and environmental benefits [16], agroforestry is the common experience that has been promoted throughout in the world [17]. It's also an instrument for diversifying production from a single land unit [18].

Ethiopia's population is growing rapidly, leading to increasing demands for food, energy, and other resources. This is driving the expansion of cropland into the remaining forests and woodlands in the country. Agricultural investment and small-holder farming continue to be major contributors to Ethiopia's greenhouse gas emission levels [19]. In response to these challenges, the Ethiopian government has identified agroforestry as a critical component of its Forestry Strategic Plan, Climate Resilient Green Economy

strategy, and Sustainable Land Management program. Agroforestry, which integrates trees with crops and/or animals, has gained significant attention and focuses from the government as a practice that can help address the countries environmental and food security concerns. Agroforestry system is the basic extension package in Ethiopia [20]. Because it is highly practice in all parts of the country in different configuration like tree-enset-coffee, tree-enset, and woodlot, scattered trees on farmland and pasture land, and boundary planting [21]. Agriculture is the mainstay of Ethiopian economy, which accounts 42-45% of the total gross domestic product (GDP) of the country [22]. However, it is adversely affected by soil erosion and land degradation [23], climate change [24], shortage of land and lack of proper land use [25]. Literature shows, tree-based agroforestry systems significantly contribute in alleviating poverty [26]. Although it is still debatable and much investigated, agroforestry systems may help maintain ecosystems [27]. Furthermore, there is a lack of empirical data about the relationships between household livelihood resilience and agroforestry, especially with regard to climate change mitigation [28]. Therefore, the purpose of this paper is to present empirical evidence on the particular role that agroforestry plays in both mitigating climate change impact and providing ecosystem services.

2. Socioeconomic benefits of Agroforestry

Agroforestry is distinct from other land-use systems because it incorporates a variety of plant species. This kind of tree-based farming can, from an economic standpoint, boost economic resilience by diversifying the goods produced [2]. Since they may meet a range of needs, such as offering rural residents alternative income sources, using multifunctional trees in particular may increase the profitability of agroforestry by providing food (such as wild edible fruits) or fodder during challenging times [29]. Furthermore, in addition to the income generated by their yearly crops, certain plant species with higher economic value can be able to provide income for the residents of the area. Due to the plant's delayed growth phase, teak-agroforestry (*Tectona grandis*) systems in Indonesia, shown to produce up to 12% of the total household income while having less of a recycling period [30]. Agroforestry is yet another technique to improve the benefit-to-cost ratio. Planting woody species that require less input (chemical fertilizers, pesticides) is one strategy that can enhance farmer income while lowering production costs [31].

The farmers' awareness of the procedure, especially in regards to choosing appropriate plants for their system, may have significant effects on the outcome. Growing certain trees next to complimentary crops might be beneficial. Contrarily, nutrient competition can be caused by the inappropriate selection of tree or crop components [32], which affects production and, subsequently, the farmers' profit.

According to Iskandar, Iskandar [33], the introduction of agroforestry in rural areas may open up new job options for off-farm work. Since they may participate directly in production operations, women may also get profit from greater work options, which might improve gender inequality in rural areas. Additionally, retaining jobs in rural areas can reduce the exodus of people from those places, improving the rural economy [34]. Agroforestry contributes the food and nutritional security of people who live close to forests while also producing income. In Indonesia, children between the ages of one and five were found to be taking micronutrients at a greater rate than was previously believed, according to Ickowitz, Rowland [35] examination of geographical data. Low-income farmers who had received agroforestry training upon it was introduced also shown better food yield and plant diversity this indicating improved food availability [36]. Implementation of agroforestry system has been positively correlated with family food security, according to findings from other research conducted in South Asia, Latin America, and Sub-Saharan Africa [37, 38].

3. Agroforestry for Ecosystem services

Agroforestry uses a number of ecological techniques that might enhance ecosystem provision in pastoral areas, these techniques include raising biodiversity, improving water quality, decreasing erosion, improving soil fertility, improving aesthetics, and sequestering carbon [37]. It is commonly known that agroforestry techniques provide services and advantages throughout a wide geographic and temporal scales. It is becoming more widely recognized as a part of a multipurpose working environment that provides economic commodities, environmental benefits, and ecological services.

Agroforestry systems give different biological system administrations, extending from the arrangement of nourishment, and fiber to non-commodity yields, such as climate, water and soil control and recreational, stylish and social legacy values [39]. Evaluation of these environment administrations makes information to get it the supply and request of environment administrations, to raise mindfulness, and to realize priority on the political motivation within the European Union [40]. Evaluations of biological system capacities and their potential arrangement of environment administrations to individuals have been overwhelmed by common sciences and financial matters [41]. The common approaches to assessment have been recognized as biophysical, socio-cultural and financial [42]. Montagnini [43] focused on the potential of agroforestry systems for sequestering carbon by looking at a number of case studies from across the world.

3.1. Agroforestry for Biodiversity conservation

Agroforestry is a new approach helps us in conservation of ecosystem through improving soil and microclimate properties, reduced erosion, and improved water quality, carbon sequestration and biodiversity conservation [44]. The five

main functions of agroforestry system in biodiversity conservation are as follows [45]: (1) Agroforestry provides habitat for species that can withstand some degree of disturbance; (2) Agroforestry helps preserve sensitive species' germplasm; (3) Agroforestry minimize the rates at which natural habitat is converted by offering a more productive to traditional agricultural systems that may involve clearing natural habitats; (4) Agroforestry creates connectivity by creating corridors between habitat remnants, which may support the integrity of these remnants and the conservation of area-sensitive floral and faunal species; and (5) Agroforestry contributes to biological diversity conservation by offering other ecosystem services like erosion control and water recharge.

It has been shown that agroforestry is a viable alternative for less biologically diverse agriculture in striking a balance between productivity and biodiversity conservation. Nevertheless, other research has also shown that the benefit of agroforestry systems for conserving biodiversity varies according to management choices. The availability of resources and the vegetative composition of animal species can be impacted by various management choices, which could have an impact on the species' overall conservation value. The development of biodiversity-friendly management strategies depends on the identification and evaluation of these tradeoffs because they represent the best options for preserving ecosystem functioning and the services required to ensure sustainable output. Agroforestry systems for biodiversity conservation and the varying implications that management approaches might have on the value of particular agroforestry systems [46].

3.2. Agroforestry for Soil Improvement

Depending on the crop type, temperature, and geography, agroforestry can have different impacts on soil quality through changes in ecosystem functions and services brought about by the direct and indirect effects of trees. By bringing back nutrients that have been leached through their deep roots, trees contribute significantly to the cycling of nutrients by acting as a "safety net" against nutrient losses from the cycle. In tree-based agroforestry systems, trees also aid in dry deposition and absorb atmospheric nutrients. According to Chatterjee, Nair [47], agroforestry offers a viable way to store and recover carbon from the soil that is lost as a result of intensive farming practices, heavy tillage, and fertilizer use. Because of the structural and functional diversity of the components obtained in a mixed cropping canopy, agroforestry encourages more efficient use of resources than monocropping [48]. A farm's field capacity (FC), organic matter (OM), available potassium, phosphorus, soil carbon stocks, and bulk density (BD) are all improved by the integration of trees. These factors increase the water holding capacity (WHC) of the soil and release water to plants gradually, much like a sponge [47]. In order to decrease bulk soil density and promote soil aggregation, organic matter (OM) must

be added. The rhizosphere's water dispersion, air circulation, groundwater recharging, and nutrient quality are all enhanced by the soil's decreased bulk density (BD).

With agroforestry systems, the accumulation of litter from twig and leaf shedding serves as the primary source of both organic carbon (OC) and nutrients. The soil organic carbon (SOC) has an impact on the efficiency with which nutrients are used in agriculture, both directly and indirectly. An active deep root system and abundant organic matter (OM) in the soil will increase absorption and availability, which will increase the efficiency of nutrient consumption. Additionally, the inclusion of organic matter (OM) has increased microbial diversity, which attracts mycorrhizae and releases phosphorus (P) for crop uptake [49]. It is widely known how important agroforestry is for ensuring and maintaining long-term soil sustainability and productivity. The integration of plants and trees with the ability to fix nitrogen naturally is a common practice in tropical agroforestry systems. Non-N-fixing trees also contribute to the physical, chemical, and biological aspects of soil by releasing and recycling nutrients in agroforestry systems, as well as by adding significant amounts of organic matter both below and above ground.

3.3. Agroforestry for Enhancing Air and Water Quality

Building levees and farmlands are protected from floods and sand deposition by broader riparian buffers when agroforestry is incorporated, which enhances flood control. The ability of trees to store and utilize water, as well as soil change processes, all help to reduce floods. According to Tyndall and Colletti [50], to improve the quality of the air, green vegetation filters out odor, gasses, mist, volatile organic compounds, minerals, and spores. Techniques used in agroforestry, such as windbreaks and shelterbelts, are praised for their several benefits, among these advantages are the ability to effectively protect structures and roads from drifting snow, cost savings in livestock production from lower wind chills, protection of crops, making of habitat for wildlife, production of oxygen from atmospheric carbon dioxide removal, reduction of noise pollution, and mitigation of odor from concentrated livestock processes. Riparian buffers, for example, have been suggested as an approach to reduce non-point source pollution from agricultural areas. Deep-rooted trees in agroforestry can enhance ground-water quality by functioning as a "safety net," capturing extra nutrients that leak from agronomic crops below their rooting zones. These nutrients are then recycled back into the system through root turnover and litter fall, increasing the system's efficiency in using them [43].

4. Potential of Agroforestry for mitigation of climate change impacts

The global climate change caused by rising carbon dioxide (CO₂) and other greenhouse gas (GHG) levels is recog-

nized as one of the major environmental issues of the twenty-first (21st) century [51]. Climate change may result from both internal and external influences, including variations in the volcanic eruptions, and enduring manmade changes to the atmosphere's composition or the way land is used. Agroforestry practice is the deliberate planting of trees species and agricultural crops in interacting combinations began to gain popularity in the late 1970s [52]. Throughout the 1990s, industrialized nations came to understand the significance of agroforestry in solving problems such as the decline of family farms, increased soil erosion, contamination of surface and ground waters, and decreased biodiversity, as a result, agroforestry is presently receiving more attention as a sustainable land-management option in a worldwide because of its advantages on an ecological, economic, and social levels. As a result, the knowledge on agroforestry is growing quickly, as seen by the rise in the quantity and caliber of scientific publications on a variety of agroforestry-related topics. Thus, adaptation and mitigation of climate change will reduce the intensity of its impacts.

However out of all the options for mitigating climate change, agroforestry is the most effective and, with correct management, it is sustainable in worldwide. According to Charles, Nzunda [53], agroforestry is a climate-smart agricultural method that is thought to be more adaptable to climate change than monoculture. Agroforestry, an environmentally and ecologically sound land use, offers great potential for lowering the rising levels of atmospheric carbon dioxide (CO₂) through carbon sequestration [54]. As Brakas and Aune [55], stated that perennial tree absorbed carbon at an advancing rate than those are exclusively included annual crops or grasslands. Since perennial tree will acquire carbon through roots, litter, and aboveground biomass, whereas annual crops will only do so through roots and the preservation of crop waste [56]. Agroforestry focuses on using trees on farms and other landscapes for the benefit of rural inhabitants and other land users. Because agroforestry provides products and services including fruit, fodder, firewood, timber, medicine plants, soil fertility, shade, erosion control, and carbon sequestration, the agroforestry is at the center of innovation and adoption [57]. In the context of climate change, agroforestry is recognized as an essential component of climate-smart agriculture, which is characterized as agriculture that brings people closer to safe operating environments for food systems across temporal and spatial scales [58]. However, agroforestry's significance as a carbon dioxide (CO₂) link, a means of reducing climate change, and a means of adaptation has just lately come to light [59].

As to Mohan Kumar and Nair [52] study, agroforestry received particular attention as a carbon sequestration technology after being designated as such under the Kyoto Protocol's afforestation and reforestation operations. The goal of the post-Kyoto Protocol climate change discussions

Table. Estimates of above- and below ground biomass carbon (Mg C ha⁻¹) and soil organic carbon (0–60 cm depth, Mg C ha⁻¹) in major agroforestry practices in Ethiopia. The values are mean $\pm$ standard error

Agroforestry practice	Aboveground carbon	Belowground carbon	Soil organic carbon	Country	Reference
Boundary planting	26.7 $\pm$ 14.1		112.7	Ethiopia, Kenya	[60-63]
Fodder bank	9.2 $\pm$ 4.2		14.5 $\pm$ 1.4	Ethiopia, Uganda	[64, 65]
Homegarden agroforestry	28.2 $\pm$ 6.0	9.6 $\pm$ 2.8	115.7 $\pm$ 15.1	Ethiopia, Kenya	[66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 62, 60, 73]
Parkland systems	4.9 $\pm$ 2.5	1.9 $\pm$ 0.8	41.6 $\pm$ 11.3	Ethiopia	[74, 75, 76, 77, 60]
Perennial tree crop systems	23.7 $\pm$ 10.0	8.2 $\pm$ 4.8	110.9 $\pm$ 30.3	Ethiopia, Uganda	[78, 79, 80, 70]
Scattered trees on farm	8.2 $\pm$ 1.4	2.9 $\pm$ 1.0	52.5 $\pm$ 23.4	Ethiopia, Kenya, Tanzania	[81, 82, 83, 62, 84, 85]
Silvopasture	2.1 $\pm$ 0.01		73.0 $\pm$ 35.6	Ethiopia, Kenya, Tanzania	[74, 75, 86, 62]
Woodlot	25.0 $\pm$ 5.6	4.559	58.6 $\pm$ 8.5	Ethiopia, Kenya, Tanzania	[86, 72, 60]

is to reduce the atmospheric carbon dioxide (CO₂) concentrations by storing carbon in terrestrial plant systems. As a result, several nations include agroforestry principles and systems into their policies. Agroforestry systems have the potential to significantly reduce greenhouse gas emissions by increasing carbon storage in biomass, both above and below ground, as well as in soil organic carbon [13]. Carbon sequestered in agroforestry in East Africa is less than forested areas but greater than what would be found in low biomass systems such as natural grasslands, pastures and or annual crops without trees. Much of the aboveground carbon is held in homegardens (34.3 $\pm$ 7.9 Mg C ha⁻¹), perennial tree-crop systems (29.9 $\pm$ 12.7 Mg C ha⁻¹) and trees on boundaries (26.7 $\pm$ 14.1 Mg C ha⁻¹) (Table).

For the enset-tree (73.2 Mg/ha), enset-coffee (105.7 Mg/ha), and tree-coffee system (116.2 Mg/ha) systems, the aboveground biomass estimated by the CO₂FIX model estimated to biomass carbon of 96.6, 139.5, and 153.4 Mg/ha, respectively [87]. These estimates were higher than those reported in the region and were therefore excluded from the computation of mean carbon storage. Comparable system estimates for enset (34.9 mg/ha), enset-coffee (59.2 mg/ha), and fruit-coffee (58.3 mg/ha) yield half that amount [67].

Aboveground carbon storage in woodlots is decently comparable over studies in Kenya and Tanzania, but for one study in Siaya District in Kenya where the combined biomass carbon of trees, s hedges and permanent crops within woodlots was 122.6 $\pm$ 59.2 Mg C ha⁻¹ [66]. Rotational woodlots in Tanzania stock an average of 29.2 $\pm$ 5.5 Mg C ha⁻¹ [88]. Eucalyptus-based small-scale woodlots in Ethiopia would have higher aboveground carbon but this was not measure d [72, 89, 90]. Whereas rotational woodlots are harvested routinely, the average carbon stocks in

that is higher than carbon stocks in degraded land, cropland and pastures. Their commitment to soil carbon, particularly restoration of degraded landscapes is also critical [88].

4.1. Agroforestry as Tool for Climate Change Adaptation in Response to Changing Climate Conditions

According to Verchot, Van Noordwijk [91], climate change poses a threat to tropical agriculture, particularly subsistence farming. Due to declining soil productivity, decreased water availability, and biodiversity loss, Africa's agricultural production faces sustainability issues; yields of significant cereal crops have plateaued at one ton per hectare (ha⁻¹) [92]. Thus, inadequate food production for household use poses a major threat to smallholder farmers' livelihoods, particularly in areas with more unstable weather patterns. Due to their lack of resources, smallholder farmers might benefit from agroforestry in order to adapt to changing climates [93]. Agroforestry may increase smallholders' resistance to present and upcoming climate issues, such as future climate change, at the farm and landscape levels [94]. They are essential for preserving homes even in areas where soil, water, and biodiversity are compromised. The role of trees in agriculture has considerably increased land productivity and livelihoods by supplying several ecosystem products and services, both direct and indirect [95].

Franzel, Carsan [96] state that because of fodder trees in agroforestry systems are mostly utilized to feed dairy cows and make up for production problems during periods of harsh climatic conditions, such as droughts, they are particularly significant in the highlands of Eastern Africa. These quickly growing trees or plants produce a variety of byproducts and may usually be used for food a year after

planting. They also need less money, manpower, and land. Parklands and other agroforestry practices are essential because they cover the soil with trees and bushes, preventing removal of soil and reducing consequences of climate change impact. In risky areas like the Sahelian zone of West Africa, they assist farmers generate revenue by giving them green fodder to supplement agricultural wastes for animal feeds, fruits, and leaves for human use. The interactions between different components of the agroforestry system have an impact on the ecosystem service functions of parkland trees in a number of ways, according to Bayala, Sanou [97] (such as providing, regulating, and sustaining services). Through the supply of fuels wood, agroforestry has contributed a substantial contribution to the provision of sustainable alternative energy (SSA), and it is predicted that in the next decades, it will continue to dominate the energy portfolio of the region's population [98]. In Ghana's agroforestry, for example, 83% of the 20 species were used as medicines, while 100% of the species were used as fuel wood, according to Asase and Tetteh [99].

A research carried out in western Kenya found that having trees on farms makes fuel wood more easily accessible, safe, and reliable for energy and income, especially for women [100]. According to Syampungani, Chirwa [101], agroforestry with proper planning and management can have a positive impact on yield, revenue, and future production potential. For example, species found in home-gardens are necessary for small-scale home production of honey for financial gain [102]. Similarly, [103] found that around 24.4% and 10% of respondents, respectively, used woody plants for revenue, and that beekeeping assisted respondents in purchasing food at market prices for subsistence. Numerous research show that countries that have adopted agroforestry have increased their cash revenue and food security [104]. Coffee Based agroforestry produced 46% of the honey sold in southwest Ethiopia in 2010, according to Eshete [105]. According to Mekonen, Giday [106], over 25% of plant were used in Ethiopia as food, 13% as medicinal, and 10% as household equipment. Fertilized tree species (FTS) have been shown to significantly increase maize yields when compared to non-fertilized maize agriculture in Zambia [107]. The amount of shade directly affects how stable the soil moisture is and how much the microclimate varies. By protecting the crop of interest from severe climatic occurrence, this reduce the livelihood of crop failure in agricultural products [108].

According to Lin [109], soil evaporation and plant transpiration cause crops grown in open settings to lose between 31 and 41% of their moisture. Additionally, it was discovered that coffee beans have developed under agroforestry (under trees) than they did in direct sunshine, even though full daylight produced more fruiting and beans per cluster. The implementation of agroforestry systems, which might potentially help with some ecosystem services

regulation and support, may also help to balance coffee production with conserving biodiversity under the effect of climate change [110, 111]. Kebebew and Urgessa [112] claim that tree-based agricultural systems are risk-free and more profitable than other agricultural options because they provide a wider range of commodities and are less likely to be infected by pests, allowing farmers to avoid hazards. Furthermore, agroforestry techniques often encourage crop diversity within the systems, expanding the variety of food, fuel, and fodder produced for smallholder farmers and reducing wind damage by up to double the wind-break's height [109]. As a result, different agroforestry schemes allow for a wide range of adaptations to occur under various climatic circumstances. More diversity within the agroforestry system will result in higher co-benefits, but the amount of variety introduced into the system will determine the degree of co-benefits [113]. As a result of this, the ecosystem services that agroforestry provides assist in making humans and other ecosystems more resilient to changes in the climate.

5. Conclusion

Agroforestry system is a type of land use that improves livelihood resilience to climatic fluctuation, change and contributes to environmental conservation by lowering CO₂ emissions. It reduces soil erosion and also lowering pressure on natural forests since CO₂ is stored in living biomass and soil. A significant body of research has recently supported the claims made regarding the ecosystem services and environmental benefits of agroforestry systems and practices in both tropical and temperate regions. In this era of ecological sustainability and awareness, agroforestry's position as an environmentally sound and sustainable substitute for traditional farming that also offers a range of ecosystem services has to be carefully studied. Agroforestry system provides tested solutions for carbon sequestration, soil enrichment, biodiversity conservation, water and air improvement, and poverty reduction not only for farmers but for society as a whole. There are different environmental and socioeconomic barriers that hinder agroforestry from reaching its full potential for conservation, and CO₂ reduction must be understood and effectively managed. Decision-makers and the general public must also be made aware of the potentials of agroforestry system, and farmers must get training by technical expertise and choice of suitable planting species, and management. Future research should focus on determining the most effective ways of integrating different agroforestry components, diversifying agroforestry components and management strategies, assessing the various ecosystem services that different agroforestry systems provide, and examining the roles that urban agroforestry plays in managing climate change and ecosystem conservation.

• Литература / References

1. Mbow C., Van Noordwijk M., Luedeling E., Neufeldt H., Minang P.A., Kowero G. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2014;6:61-7. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2013.10.014>
2. Amare D., Wondie M., Mekuria W., Darr D. Agroforestry of smallholder farmers in Ethiopia: practices and benefits. *Small-scale Forestry*. 2019;18:39-56. <http://doi.org/10.1007/s11842-018-9405-6>
3. Jhariya M.K., Meena R.S., Banerjee A., Kumar S., Raj A. Agroforestry for carbon and ecosystem management: an overview. *Agroforestry for Carbon and Ecosystem Management*. 2024. P. 3-16. ISBN: 9780323953931
4. Santoro A., Venturi M., Bertani R., Agnoletti M. A review of the role of forests and agroforestry systems in the FAO Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) programme. *Forests*. 2020;11(8):860. <http://doi.org/10.3390/f11080860>
5. Banerjee A., Jhariya M.K., Bargali S.S., Palit D. Ecorestoration for Environmental Sustainability—An Introductory Framework. *Ecorestoration for Sustainability*. 2023:1-47. <http://doi.org/10.1002/9781119879954.ch1>
6. Bai X., Huang Y., Ren W., Coyne M., Jacinthe P.A., Tao B., et al. Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: A meta-analysis. *Global change biology*. 2019;25(8):2591-606. <https://doi.org/10.1111/gcb.14658>
7. Santos P.Z.F., Crouzeilles R., Sansevero J.B.B. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. *Forest ecology and management*. 2019;433:140-5. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.064>
8. Jhariya M.K., Meena R.S., Banerjee A., Meena S.N. Natural resources conservation and advances for sustainability: Elsevier; 2021. Paperback ISBN: 9780128229767. eBook ISBN: 9780128231128.
9. Browder J.O., Wynne R.H., Pedlowski M.A. Agroforestry diffusion and secondary forest regeneration in the Brazilian Amazon: further findings from the Rondônia Agroforestry Pilot Project (1992–2002). *Agroforestry Systems*. 2005;65:99-111. <http://doi.org/10.1007/s10457-004-6375-9>
10. Maia A.G., dos Santos Eusebio G., Fasiaben Md.C.R., Moraes A.S., Assad E.D., Puglieri V.S. The economic impacts of the diffusion of agroforestry in Brazil. *Land use policy*. 2021;108:105489.
11. Duffy C., Toth G.G., Hagan R.P., McKeown P.C., Rahman S.A., Widyaningsih Y., et al. Agroforestry contributions to smallholder farmer food security in Indonesia. *Agroforestry Systems*. 2021;95(6):1109-24. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00632-8>
12. Ripple W.J., Wolf C., Newsome T.M., Barnard P., Moomaw W.R. World scientists' warning of a climate emergency. *BioScience*. 2020;70(1):8-12.
13. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change. Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. 412019.
14. Tengberg A., Bagues-Tobella A., Barron J., Ilstedt U., Jaramillo F., Johansson K., et al. Water for productive and multifunctional landscapes. Stockholm International Water Institute: Stockholm, Sweden. 2018.
15. Raj A., Jhariya M.K., Banerjee A., Nema S., Bargali K. Land and Environmental Management Through Forestry: John Wiley & Sons; 2023. ISBN: 978-1-119-91050-3
16. Gebre A.B. Potential effects of agroforestry practices on climate change mitigation and adaptation strategies: a review. *Journal of Natural Sciences Research*. 2016;6(15):83-9.
17. Mbow C., Smith P., Skole D., Duguma L., Bustamante M. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Current opinion in Environmental sustainability*. 2014;6(1):8-14. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002>
18. Dwivedi R., Kareemulla K., Singh R., Rizvi R., Chauhan J. Socio-economic analysis of agroforestry systems in Western Uttar Pradesh. *Indian Research Journal of Extension Education*. 2016;7(3):18-22.
19. Hagazi N., Hadgu K.M., Tafere B., Mokria M., Birhane E., Abiyu A., et al. A Guide to Landscape Restoration Initiatives: Planning, Implementation, Monitoring and Evaluation with Evidence and Lessons from Tigray, Ethiopia. <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/34873/>
20. Darge A., Haji J., Beyene F., Ketema M. Smallholder farmers' climate change adaptation strategies in the Ethiopian Rift Valley: The case of home garden agroforestry systems in the Gedeo Zone. *Sustainability*. 2023;15(11):8997. <http://doi.org/10.3390/su15118997>
21. Madalcho A., Tefera M. Management of traditional agroforestry practices in Gununo Watershed in Wolaita Zone, Ethiopia. *Forest Research*. 2016;5(1):1-6. <http://doi.org/10.4172/2168-9776.1000163>
22. Zenebe Gebreegziabher Z.G., Stage J., Alemu Mekonnen A.M., Atlaw Alemu A.A. Climate change and the Ethiopian economy: a computable general equilibrium analysis. 2011.
23. Deresa F., Legesse T. Cause of land degradation and its impacts on livelihoods of the population in Toke Kutaye Woreda, Ethiopia. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2015;5(5):1-9.
24. Yohannes H. A review on relationship between climate change and agriculture. *Journal of Earth Science & Climatic Change*. 2016;7(2):335. <http://doi.org/10.4172/2157-7617.1000335>
25. Pender J., Gebremedhin B. Determinants of agricultural and land management practices and impacts on crop production and household income in the highlands of Tigray, Ethiopia. *Journal of African Economies*. 2008;17(3):395-450. <http://doi.org/10.1093/jae/ejm028>
26. Garrity D.P. Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. *Agroforestry systems*. 2004;61:5-17. http://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1_1
27. Harvey C.A., González Villalobos J.A. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and Conservation*. 2007;16:2257-92.
28. Lin B.B. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. *BioScience*. 2011;61(3):183-93. <http://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4>
29. Gebru B.M., Wang S.W., Kim S.J., Lee W.-K. Socio-ecological niche and factors affecting agroforestry practice adoption in different agroecologies of southern Tigray, Ethiopia. *Sustainability*. 2019;11(13):3729. <http://doi.org/10.3390/su11133729>
30. Roshetko J.M., Rohadi D., Perdana A., Sabastian G., Nuryartono N., Pramono A.A., et al. Teak agroforestry systems for livelihood enhancement, industrial timber production, and environmental rehabilitation. *Forests, Trees and Livelihoods*. 2013;22(4):241-56. <http://doi.org/10.1080/14728028.2013.855150>
31. do Carmo Martinelli G., Schlindwein M.M., Padovan M.P., Vogel E., Ruviano C.F. Environmental performance of agroforestry systems in the Cerrado biome, Brazil. *World Development*. 2019;122:339-48. <http://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.06.003>
32. Reynolds P.E., Simpson J.A., Thevathasan N.V., Gordon A.M. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. *Ecological engineering*. 2007;29(4):362-71. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.09.024>
33. Iskandar J., Iskandar B.S., Partasmita R. Responses to environmental and socio-economic changes in the Karangwangi traditional agroforestry system, South Cianjur, West Java. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2016;17(1):332-341. <http://doi.org/10.13057/biodiv/d170145>
34. Ollinaho O.I., Kröger M. Agroforestry transitions: The good, the bad and the ugly. *Journal of Rural Studies*. 2021;82:210-221. <http://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.01.016>
35. Ickowitz A., Rowland D., Powell B., Salim M.A., Sunderland T. Forests, trees, and micronutrient-rich food consumption in Indonesia. *PloS one*. 2016;11(5):e0154139. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154139>
36. Pratiwi A., Suzuki A. Reducing agricultural income vulnerabilities through agroforestry training: evidence from a randomised field experiment in Indonesia. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*. 2019;55(1):83-116. <https://doi.org/10.1080/00074918.2018.1530726>
37. Mukhlis I., Rizaludin M.S., Hidayah I. Understanding socio-economic and environmental impacts of agroforestry on rural communities. *Forests*. 2022;13(4):556. <https://doi.org/10.3390/f13040556>
38. Sharma N., Bohra B., Pragna N., Ciannella R., Dobie P., Lehmann S. Bioenergy from agroforestry can lead to improved food security, climate change, soil quality, and rural development. *Food and Energy Security*. 2016;5(3):165-183. <http://doi.org/10.1002/fes3.87>
39. Torralba M., Fagerholm N., Burgess P.J., Moreno G., Plieninger T. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2016;230:150-161. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>
40. Crossman N.D., Burkhard B., Nedkov S., Willemen L., Petz K., Palomo I., et al. A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem services*. 2013;4:4-14.

41. Fagerholm N., Torralba M., Burgess P.J., Plieninger T. A systematic map of ecosystem services assessments around European agroforestry. *Ecological Indicators*. 2016;62:47-65. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.016>
42. De Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein L., Willemen L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological complexity*. 2010;7(3):260-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
43. Montagnini F. Environmental services of agroforestry systems: CRC Press; 2006. ISBN 9781560221319.
44. Sarvade S. Agroforestry: refuge for biodiversity conservation. *International Journal of Innovative Research in Science & Engineering*. 2014;2(5):424-429.
45. Jose S. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry systems*. 2012;85:1-8.
46. Kumar A. Chapter-3 Recent Trends in Agroforestry. Chief Editor Dr RK Nareh. In book: Advances in Agricultural Sciences. 2019. pp.35-52. Publisher: AkiNik Publications New Delhi
47. Chatterjee N., Nair P.R., Chakraborty S., Nair V.D. Changes in soil carbon stocks across the Forest-Agroforest-Agriculture/Pasture continuum in various agroecological regions: A meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2018;266:55-67. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.014>
48. Hailu G. A review on the comparative advantage of intercropping systems. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 2015;5(7):28-38.
49. Lacombe S., Bradley R.L., Hamel C., Beaulieu C. Do tree-based intercropping systems increase the diversity and stability of soil microbial communities? *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2009;131(1-2):25-31. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2008.08.010>
50. Tyndall J., Colletti J. Mitigating swine odor with strategically designed shelterbelt systems: a review. *Agroforestry systems*. 2007;69:45-65. <http://doi.org/10.1007/s10457-006-9017-6>
51. Schroth G., da Mota Md.S.S., Hills T., Soto-Pinto L., Wijayanto I., Arief C.W., et al. Linking carbon, biodiversity and livelihoods near forest margins: the role of agroforestry. *Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges*. 2011:179-200. http://doi.org/10.1007/978-94-007-1630-8_10
52. Mohan Kumar B., Ramachandran Nair P.K. Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges. 2011.
53. Charles R.L., Nzunda E.F., Munishi P. Agroforestry as a resilient strategy in mitigating climate change in Mwanza District, Kilimanjaro, Tanzania. *Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences*. 2014;3:11-17.
54. Nair P. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforestry systems*. 2012;86:243-253. <http://doi.org/10.1007/s10457-011-9434-z>
55. Brakas S.G., Aune J.B. Biomass and carbon accumulation in land use systems of Claveria, the Philippines. *Carbon sequestration potential of agroforestry systems: Opportunities and challenges*. 2011:163-175. http://doi.org/10.1007/978-94-007-1630-8_9
56. Singh V.S., Pandey D.N. Multifunctional agroforestry systems in India: science-based policy options: Climate Change and CDM Cell, Rajasthan State Pollution Control Board Jaipur ...; 2011.
57. Dawson I., Harwood C., Jamnadass R., Beniest J. Agroforestry tree domestication: a primer. 2012. ISBN: 978-92-9059-317-1.
58. Neufeldt H., Jahn M., Campbell B.M., Beddington J.R., DeClerck F., De Pinto A., et al. Beyond climate-smart agriculture: toward safe operating spaces for global food systems. *Agriculture & Food Security*. 2013;2(12):1-6. <http://doi.org/10.1186/2048-7010-2-12>
59. Smith P. Global greenhouse gas mitigation potential in agriculture. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. February 2009;6(24):242001. <http://doi.org/10.1088/1755-1307/6/4/242001>
60. Manaye A., Tesfamariam B., Tesfaye M., Worku A., Gufi Y. Tree diversity and carbon stocks in agroforestry systems in northern Ethiopia. *Carbon Balance and Management*. 2021;16(1):14. <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00174-7>
61. Nigatu A., Wondie M., Alemu A., Gebeyehu D., Workagegnehu H. Productivity of highland bamboo (*Yushania alpina*) across different plantation niches in West Amhara, Ethiopia. *Forest Science and Technology*. 2020;16(3):116-122. <https://doi.org/10.1080/21580103.2020.1791260>
62. Reppin S., Kuyah S., de Neergaard A., Oelofse M., Rosenstock T.S. Contribution of agroforestry to climate change mitigation and livelihoods in Western Kenya. *Agroforestry Systems*. 2020;94(3):203-220. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00383-7>
63. Fuchs L.E., Orero L., Ngoima S., Kuyah S., Neufeldt H. Asset-based adaptation project promotes tree and shrub diversity and above-ground carbon stocks in smallholder agroforestry systems in Western Kenya. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2022;4:773170. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.773170>
64. Mengistu S., Keftasa D., Yami A. Productivity of four *Sesbania* species on two soil types in Ethiopia. *Agroforestry systems*. 2002;54:235-44.
65. Furo G., Manaye A., Negasa A. Identification of spice shade and support tree species, south western Ethiopia. *Agroforestry Systems*. 2020;94(1):95-102. <http://doi.org/10.1007/s10457-019-00372-w>
66. Henry M., Tiltonell P., Manlay R.J., Bernoux M., Albrecht A., Vanlauwe B. Biodiversity, carbon stocks and sequestration potential in aboveground biomass in smallholder farming systems of western Kenya. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2009;129(1-3):238-52. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2008.09.006>
67. Negash M., Starr M. Biomass and soil carbon stocks of indigenous agroforestry systems on the south-eastern Rift Valley escarpment, Ethiopia. *Plant and soil*. 2015;393(1):95-107. <http://doi.org/10.1007/s11104-015-2469-6>
68. Vanderhaegen K., Verbist B., Hundera K., Muys B. REALU vs. REDD+: Carbon and biodiversity in the Afromontane landscapes of SW Ethiopia. *Forest Ecology and Management*. 2015;343:22-33. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.01.016>
69. Sahle M., Saito O., Fürst C., Yeshitela K. Quantification and mapping of the supply of and demand for carbon storage and sequestration service in woody biomass and soil to mitigate climate change in the socio-ecological environment. *Science of the total environment*. 2018;624:342-354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.033>
70. Betemariam M., Negash M., Worku A. Comparative analysis of carbon stocks in home garden and adjacent coffee based agroforestry systems in Ethiopia. *Small-Scale Forestry*. 2020;19(3):319-334. <http://doi.org/10.1007/s11842-020-09439-4>
71. Birhane E., Ahmed S., Hailemariam M., Negash M., Rannestad M.M., Norgrove L. Carbon stock and woody species diversity in homegarden agroforestry along an elevation gradient in southern Ethiopia. *Agroforestry Systems*. 2020;94(155):1099-1110. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00475-4>
72. Lulu M., Lemma B., Melese A. Soil organic carbon and nutrients in smallholding land uses in southern Ethiopia. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2020;183(1):69-79. <http://doi.org/10.1002/jpln.201900243>
73. Negash M., Kaseva J., Kahiluoto H. Perennial monocropping of khat decreased soil carbon and nitrogen relative to multistrata agroforestry and natural forest in southeastern Ethiopia. *Regional Environmental Change*. 2022;22(2):38. <http://doi.org/10.1007/s10113-022-01905-3>
74. Gelaw A.M., Singh B., Lal R. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2014;188:256-263. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.035>
75. Gurmesa B., Demessie A., Lemma B. Dynamics of soil carbon stock, total nitrogen, and associated soil properties since the conversion of Acacia woodland to managed pastureland, parkland agroforestry, and treeless cropland in the Jido Komolcha District, southern Ethiopia. *Journal of Sustainable Forestry*. 2016;35(5):324-337. <http://doi.org/10.1080/10549811.2016.1175950>
76. Chiemela S.N., Noulékoun F., Chiemela C.J., Zenebe A., Abadi N., Birhane E. Conversion of degraded agricultural landscapes to a smallholder agroforestry system and carbon sequestration in drylands. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 2018;10(3):472-487. <http://doi.org/10.1108/IJCCSM-08-2015-0116>
77. Dilla A.M., Smethurst P.J., Barry K., Parsons D. Preliminary estimate of carbon sequestration potential of *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev in an agroforestry parkland in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Forests, Trees and Livelihoods*. 2019;28(2):79-89. <https://doi.org/10.1080/14728028.2018.1564146>
78. Tumwebaze S.B., Byakagaba P. Soil organic carbon stocks under coffee agroforestry systems and coffee monoculture in Uganda. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016;216:188-193. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.037>
79. Justine N., Tumwebaze B.S., Ritah K., Nabanoga G. Aboveground Species Diversity and Carbon Stocks in Smallholder Coffee Agroforestry in the Highlands of Uganda. *Agriculture and Ecosystem Resilience in Sub Saharan Africa: Livelihood Pathways Under Changing Climate*. 2019:403-415. http://doi.org/10.1007/978-3-030-12974-3_18
80. Toru T., Kibret K. Carbon stock under major land use/land cover

- types of Hades sub-watershed, eastern Ethiopia. *Carbon balance and management*. 2019;14:1-14. <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0122-z>
81. Kuyah S, Dietz J., Muthuri C., Jamnadass R., Mwangi P., Coe R., et al. Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: II. Belowground biomass. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2012;158:225-234. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.010>
82. Kuyah S., Dietz J., Muthuri C., van Noordwijk M., Neufeldt H. Allometry and partitioning of above-and below-ground biomass in farmed eucalyptus species dominant in Western Kenyan agricultural landscapes. *Biomass and bioenergy*. 2013;55:276-284. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.011>
83. Gebrewahid Y., Gebre-Egziabher T.-B., Teka K., Birhane E. Carbon stock potential of scattered trees on farmland along an altitudinal gradient in Tigray, Northern Ethiopia. *Ecological processes*. 2018;7:1-8. <http://doi.org/10.1186/s13717-018-0152-6>
84. Gebremeskel D., Birhane E., Rannestad M.M., Gebre S., Tesfay G. Biomass and soil carbon stocks of *Rhamnus prinoides* based agroforestry practice with varied density in the drylands of Northern Ethiopia. *Agroforestry Systems*. 2021;95(7):1275-1293. <http://doi.org/10.1007/s10457-021-00608-8>
85. Hagos H., Tesfay G., Brhane E., Abrha H., Bezabh T., Tesfay B., et al. Comparison of carbon stock potential of farmland trees in the midlands of Hawzen, Northern Ethiopia. *Sustainable Environment*. 2021;7(1):1973696. <https://doi.org/10.1080/27658511.2021.1973696>
86. Osei A., Kimaro A.A., Peak D., Gillespie A., Van Rees K. Soil carbon stocks in planted woodlots and Ngiti systems in Shinyanga, Tanzania. *Agroforestry systems*. 2018;92:251-262. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0028-7>
87. Negash M., Kanninen M. Modeling biomass and soil carbon sequestration of indigenous agroforestry systems using CO2FIX approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015;203:147-155. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.004>
88. Kimaro A., Isaac M., Chamshama S. Carbon pools in tree biomass and soils under rotational woodlot systems in Eastern Tanzania. *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges*. 2011:129-143. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1630-8_7
89. Duguma L.A. Financial analysis of agroforestry land uses and its implications for smallholder farmers livelihood improvement in Ethiopia. *Agroforestry systems*. 2013;87:217-231. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9537-1>
90. Gebreegziabher Z., van Kooten G.C. Does community and household tree planting imply increased use of wood for fuel? Evidence from Ethiopia. *Forest Policy and Economics*. 2013;34:30-40. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2013.03.003>
91. Verchot L.V., Van Noordwijk M., Kandji S., Tomich T., Ong C., Albrecht A., et al. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitigation and adaptation strategies for global change*. 2007;12:901-918. <https://doi.org/10.1007/s11027-007-9105-6>
92. Carsan S., Stroebel A., Dawson I., Kindt R., Mbow C., Mowo J., et al. Can agroforestry option values improve the functioning of drivers of agricultural intensification in Africa? *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2014;6:35-40. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.007>
93. Lasco R.D., Delfino R.J.P., Catacutan D.C., Simelton E.S., Wilson D.M. Climate risk adaptation by smallholder farmers: the roles of trees and agroforestry. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2014;6:83-88.
94. Hoang M., Van Noordwijk M., Fox J., Thomas D., Sinclair F., Catacutan D., et al. Are trees buffering ecosystems and livelihoods in agricultural landscapes of the Lower Mekong Basin. Consequences for Climate-Change Adaptation World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program, Bogor, Indonesia. 2014.
95. Murthy I.K., Gupta M., Tomar S., Munsu M., Tiwari R., Hegde G., et al. Carbon sequestration potential of agroforestry systems in India. *Journal of Earth Science & Climatic Change*. 2013;4(1):1-7.
96. Franzel S., Carsan S., Lukuyu B., Sinja J., Wambugu C. Fodder trees for improving livestock productivity and smallholder livelihoods in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2014;6:98-103. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.008>
97. Bayala J., Sanou J., Teklehaimanot Z., Kalinganire A., Ouédraogo S. Parklands for buffering climate risk and sustaining agricultural production in the Sahel of West Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2014;6:28-34. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.004>
98. Iiyama M., Neufeldt H., Dobie P., Njenga M., Ndegwa G., Jamnadass R. The potential of agroforestry in the provision of sustainable woodfuel in sub-Saharan Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2014;6:138-47. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.12.003>
99. Asase A., Tetteh D.A. The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agroforestry systems*. 2010;79:355-368. <http://doi.org/10.1007/s10457-010-9311-1>
100. Thorlakson T., Neufeldt H. Reducing subsistence farmers' vulnerability to climate change: evaluating the potential contributions of agroforestry in western Kenya. *Agriculture & Food Security*. 2012;1:1-13. <http://doi.org/10.1186/2048-7010-1-15>
101. Syampungani S., Chirwa P., Akinnifesi F., Ajayi O. The potential of using agroforestry as a win-win solution to climate change mitigation and adaptation and meeting food security challenges in Southern Africa. *Agricultural Journal*. 2010;5(2):80-88. <http://doi.org/10.3923/aj.2010.80.88>
102. Sileshi G., Akinnifesi F.K., Ajayi O.C., Chakeredza S., Kaonga M., Matakala P. Contributions of agroforestry to ecosystem services in the Miombo eco-region of eastern and southern Africa. *African journal of environmental science and technology*. 2007;1(4):68-80.
103. Bachi W. Determinants of Woody Species Diversity in Traditional Agroforestry Practices in South-Bench District, Southwest Ethiopia: MSc. Thesis Submitted to School of Graduate Studies, Dilla University; 2017.
104. Linger E. Agro-ecosystem and socio-economic role of homegarden agroforestry in Jabithenan District, North-Western Ethiopia: implication for climate change adaptation. SpringerPlus. 2014;3(1):154. <http://doi.org/10.1186/2193-1801-3-154>
105. Eshete G.T. Biodiversity and livelihoods in southwestern Ethiopia: forest loss and prospects for conservation in shade coffee agroecosystems: University of California, Santa Cruz; 2013.
106. Mekonen T., Giday M., Kelbessa E. Ethnobotanical study of home-garden plants in Sebeta-Awas District of the Oromia Region of Ethiopia to assess use, species diversity and management practices. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 2015;11:1-13. <http://doi.org/10.1186/s13002-015-0049-8>
107. Pretty J. Sustainable intensification in Africa. *Sustainable Intensification: Routledge*; 2012. p. 3-4.
108. Lin B.B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2007;144(12):85-94. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.009>
109. Lin B.B. Agroforestry adaptation and mitigation options for smallholder farmers vulnerable to climate change. *Agroecology, Ecosystems, and Sustainability*. 2014:221-38. <http://doi.org/10.1201/b17775-12>
110. de Souza H.N., de Goede R.G., Brussaard L., Cardoso I.M., Duarte E.M., Fernandes R.B., et al. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2012;146(1):179-196. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.007>
111. Singh K.P., Singh B., Jhariya M.K., Khemraj, Raj A., Banerjee A., et al. Soil properties and carbon dynamics under coffee-based agroforestry system in Bastar region of Chhattisgarh, India. *Environment, Development and Sustainability*. 2023:1-18. <http://doi.org/10.1007/s10668-023-04230-9>
112. Kebebew Z., Urgessa K. Agroforestry perspective in land use pattern and farmers coping strategy: experience from southwestern Ethiopia. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2011;7(1):73-77.
113. Schoeneberger M.M. Agroforestry: working trees for sequestering carbon on agricultural lands. *Agroforestry systems*. 2009;75:27-37. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9123-8>

About the Author:

Alemitu Worku –

<https://orcid.org/0009-0006-8825-6933>,
alemituworku13@gmail.com

Об авторе:

Алемиту Ворку –

<https://orcid.org/0009-0006-8825-6933>,
alemituworku13@gmail.com

УРАЛХИМ



Новые удобрения от «Уралхим»: эффективность доказана опытом

В 2023 году в портфеле удобрений Группы Компаний «Уралхим» появилось 15 новых удобрений. В частности, продолжилось развитие линейки биомодифицированных удобрений, появились новые жидкие удобрения, расширена премиальная линейка NPK SOLAR. Более 70 полевых испытаний, проведённых в 2023 году, доказали их высокое качество и неизменную эффективность. В этой статье мы расскажем о характеристиках нескольких новых удобрений от «Уралхим» и поделимся результатами полевых опытов.

МультиСтарт NPKS 15:15:15:11+БИО



МультиСтарт NPKS 15:15:15:11+БИО – комплексное минеральное биомодифицированное удобрение, содержащее в своем составе основные макро- и мезоэлементы (азот, фосфор, калий и серу), а также ризосферные бактерии вида *Bacillus subtilis*. Применяется в качестве весеннего «стартового» удобрения для припосевного и основного (с заделкой под предпосевную культивацию) внесения. Объём общего азота, фосфатов в пересчёте на P_2O_5 и водорастворимого калия в пересчёте на K_2O – по 15%, сульфатов в пересчёте на S – 11%.

Главная особенность МультиСтарт 15:15:15:11+БИО – наличие биологического компонента: число жизнеспособных клеток бактерий составляет не менее $5 \cdot 10^4$ КОЕ/г. Микроорганизмы в составе удобрения угнетают деятельность патогенов в ризосфере, повышая устойчивость к заболеваниям бактериальной и грибной природы. Бактерии в процессе своей жизнедеятельности вырабатывают фитогормоны (ацетоин, ауксин), которые стимулируют развитие корневой системы и повышают ее всасывающую способность, а органические кислоты, которые также вырабатывают бактерии, переводят фосфор в доступную для растения форму. Применение МультиСтарт NPKS 15:15:15:11+БИО позволяет повысить биологическую активность почвы, урожайность и качество товарной продукции сельскохозяйственных культур, рентабельность производства, окупаемость затрат на приобретение и внесение удобрений.

В 2023 году масштабные полевые испытания удобрения проводились в 12 сельхозпредприятиях на 13 культурах. Например, в условиях Калининградской области испытывали влияние NPKS 15:15:15:11+БИО на яровую пшеницу сорта Сонетт, РС-2.

Удобрение вносили перед предпосевной культивацией, вразброс, в объёме 142 кг/га. В итоге урожайность на опытном участке составила 45,6 ц/га, а на контрольном – 39,9 ц/га. Таким образом, внесение удобрения позволило увеличить урожайность на 14,3%, а прибыль – на 6.218 рублей с гектара.

МультиСтарт NPKS 8:20:30:3+БИО



МультиСтарт NPKS 8:20:30:3+БИО – это комплексное минеральное биомодифицированное удобрение с высоким содержанием калия, которое помимо основных макро- и мезоэлементов также содержит в составе ризосферные бактерии вида *Bacillus subtilis*. Удобрение рекомендуется использовать для припосевного и основного (с заделкой под предпосевную культивацию) внесения. Массовая доля общего азота составляет 8%, общих фосфатов – 20%, водорастворимого калия – 30%, сульфатов – 3%.

Принцип действия биологического компонента аналогичен удобрению МультиСтарт 15:15:15:11+БИО: выработка метаболитов при попадании в почву, стимулирование развития корневой системы при помощи фитогормонов, угнетение патогенной микрофлоры, повышение устойчивости к заболеваниям бактериальной и грибной природы и увеличение доступности питательных веществ в почве.

В 2023 году в Кировской области удобрение испытывали на картофеле сорта Коломба, внося удобрение локально при посадке из расчёта 560 кг/га. Урожайность на контрольном участке составила 310,1 ц/га, а на опытном участке – 325,2 ц/га или на 4,9% больше. Прибавка товарной урожайности в результате применения МультиСтарт NPKS 8:20:30:3+БИО достигла 15,07 ц/га, что в денежном выражении составило 18.089 руб./га, а дополни-

тельная прибыль – 19.886 руб./га. Кроме того, на опытном варианте наблюдалось меньшее повреждение растений грибковым заболеванием – альтернариозом, что способствовало лучшему наливу и качеству клубней: количество товарных клубней на опыте на 7,8% превысило аналогичный показатель на контроле – 44 против 40,8 шт./м².

МикроСолар Жидкий Цинк



МикроСолар Жидкий Цинк – жидкое минеральное удобрение, содержащее в составе не менее 5% азота, 6% цинка и 0,2% бора. Причём цинк в удобрении содержится в доступной для растения хелатной форме ЭДТА, что способствует лучшей усвояемости элемента для максимального эффекта при регулировании окислительно-восстановительных процессов. Удобрение применяется для коррекции дефицита питания растений и предпосевной обработки семян. Оно активизирует большое количество ферментов, повышает устойчивость к засухе и некоторым заболеваниям сельскохозяйственных культур, увеличивает их урожайность и качественные характеристики продукции. Удобрение можно применять совместно с пестицидами и водорастворимыми удобрениями.

В 2023 году в Саратовской области МикроСолар Жидкий Цинк испытывали на кукурузе гибрида F₁ Си Феномен – в фазу 5 листьев внесли 1,0 л удобрения на гектар. В результате урожайность на опытном участке составила на 6,7 ц/га, или на 11,8%, выше, чем на контрольном участке – 63,1 ц/га против 56,4 ц/га. Это принесло дополнительную прибыль в размере 5.301 руб./га. Все параметры структуры урожая на опыте были выше, чем на контроле: количество рядов зёрен – на 3,1%, количество зёрен в ряду – на 10,2%, масса зерна в початке – на 30,6%, масса 1000 зёрен – на 18,6 г.

МикроСолар Жидкий Бор



МикроСолар Жидкий Бор – жидкое минеральное удобрение, содержащее наряду с 5% общего азота и не менее 11% бора. Бор обладает целым рядом полезных функций: он способствует нормальному функционированию проводящей системы растения, улучшает усвоение фосфора, участвует в углеводном обмене, стимулирует образование завязей и способствует их сохранности, повышает семенную продуктивность, положительно влияет на образование клубеньков на корнях зернобобовых. Кроме того, бор увеличивает количество сахаров, крахмала, белков, масел в товарной продукции.

Удобрение МикроСолар Жидкий Бор применяется для коррекции дефицита питания растений и предпосевной обработки

семян. Возможно внесение совместно с пестицидами и водорастворимыми удобрениями.

В 2023 году эффективность удобрения испытывали на двух гибридах подсолнечника. Опыт, поставленный в Саратовской области на подсолнечнике гибрида F₁ Сузука, предполагал внесение 1 л/га удобрения в фазу 3 пары листьев. Прибавка урожайности составила 37,6%: 37,8 ц/га на контроле и 52 ц/га на опыте. Также улучшились показатели структуры урожая: диаметр корзинки – на 3,2% по сравнению с контролем, масса семян с одной корзинки – на 35,7%, масса 1000 зёрен – на 17,6%. Использование удобрения МикроСолар Жидкий Бор принесло дополнительную прибыль в размере 23.644 руб./га.

SOLAR NPK micro Старт 13:40:13+МЭ+Амино



SOLAR NPK micro Старт 13:40:13+МЭ+Амино – комплексное водорастворимое минеральное удобрение, содержащее микроэлементы и комплекс из 17 аминокислот растительного происхождения. Аминокислоты в составе удобрения поддерживают водный баланс и целостность клеток растения, активизируют выработку фитогормонов, помогают растению пережить осмотический стресс и преодолеть последствия воздействия абиотических стресс-факторов.

В составе удобрения содержится 13% азота, 40% фосфатов, 13% калия, а также ряд микроэлементов – бор, медь, железо, марганец, молибден, цинк. Удобрение отличается повышенным содержанием фосфора для начальных этапов роста. Опыты по применению на некоторых культурах – сое и рапсе – показали прибавку урожайности +11-15% по сравнению со стандартными продуктами из линейки SOLAR NPK micro. Кроме того, улучшается качество и лежкость товарной продукции.

В ходе полевого испытания, проведённого на яровом рапсе сорта Подмосковный, SOLAR NPK micro Старт 13:40:13+МЭ+Амино вносили дважды: в фазу начало цветения – 3 кг/га и в фазу конец цветения – 4 кг/га. Урожайность рапса на контрольном участке составила 8,36 ц/га, на опытном участке – 15,56 ц/га (+86,1%). Прибавка урожайности в 7,2 ц/га позволила получить дополнительную прибыль в 25.920 руб./га, а также улучшить структуру урожая.

Таким образом, полевые испытания новинок от «Уралхим» показали, что их применение во всех случаях приводит к улучшению качеств и экономических показателей сельхозпроизводства, давая аграрию мощный козырь в борьбе за рентабельность своего бизнеса.

Аграрий, применяющий удобрения «Уралхим», может не беспокоиться о рентабельности своего бизнеса!

г. Москва, Пресненская набережная, д.6, стр.2

Тел.: +7 (495) 721-89-89

www.uralchem.ru

www.agro.uralchem.ru

E-mail: marketing@uralchem.com



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН СЕМЯН
ФГБНУ ФНЦО

Наши сорта и технологии - гарантия урожая и качества

БОЛЬШОЙ ВЫБОР СЕМЯН от ведущего производителя в России

КОНТАКТЫ:

Отдел продаж ФГБНУ ФНЦО: +7(495)594-77-17, +7(903)190-46-55

E-mail: info@vniissok.com

Интернет-магазин: www.vniissok.com

Магазин "Семена ВНИССОК":

Адрес: 143080, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИССОК, ул. Липовая, д.2

График работы: понедельник-пятница 9.00-18.00, суббота 9.00-17.00, воскресенье 9.00-14.00

В нашем магазине Вы всегда можете самостоятельно купить семена, свежие овощи, рассаду, цветы, а также сопутствующие товары.



на правах рекламы

МАСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

www.vniissok.com