

Номер 3

ISSN 2500-2627

Май – Июнь 2024



РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ НАУКА

Научно-теоретический журнал



НАУКА
— 1727 —

А. А. Алферов Достижения научных организаций в области земледелия в 2023 году	3
Земледелие и мелиорация	
Ю. В. Аксенова, А. Г. Шмидт Оценка природно-ресурсного потенциала земледельческой территории Омской области	8
О. И. Горянин, Б. Ж. Джангабаев, Е. В. Щербинина Влияние предшественников и элементов технологий на эффективность возделывания озимой пшеницы в засушливых условиях Поволжья	15
Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, А. В. Лебедев Водопотребление и режимы капельного орошения саженцев плодовых и ягодных культур в Центральном Нечерноземье	20
Растениеводство, защита и биотехнология растений	
А. А. Гончаренко, А. В. Макаров, Н. В. Цыганкова, Т. В. Семенова, В. Н. Точилин, Н. А. Клочко, М. С. Гончаренко, П. А. Плотников Селекционная оценка популяции озимой ржи ГК-494/15вв с высокой вязкостью водного экстракта зернового шрота	24
Б. М. Гусейнова Сравнительный анализ биохимического состава плодов местных селекционных и интродуцированных сортов вишни, выращиваемых в условиях предгорного Дагестана	29
А. А. Налбандян, Т. П. Федулова, Т. С. Руденко, А. В. Моисеенко, И. В. Черепухина Устойчивость генотипов сахарной свеклы к солевому стрессу	36
Т. Я. Прахова, И. В. Одрин Параметры фотосинтеза и продуктивность крамбе абиссинской при использовании регуляторов роста	41
Х. Ш. Тарчоков, Ф. Х. Бжинаев, А. Х. Журтова Влияние гербицидов и способов основной обработки почвы на зерновую продуктивность гороха в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии	46
Ю. В. Зеленева, И. Б. Аблова, Л. М. Мохова Видовой состав возбудителей септориозов зерновых культур и идентификация генов-эффекторов в популяциях <i>Parastagonospora</i> spp. на территории Краснодарского края и Ленинградской области РФ	50
Л. П. Шумилова, Е. Э. Каботов Заражение сои в условиях <i>in vivo</i> грибами <i>Diaporthe eres</i>	56
Агропочвоведение и агроэкология	
В. П. Шабаетов, М. П. Волокитин, В. Е. Остроумов Фракционный состав соединений меди в загрязненной металлом почве и его накопление в растениях при внесении ростостимулирующих ризосферных бактерий	62
Хранение и переработка	
А. Ю. Шарилов, В. В. Иванов, М. В. Амелякина, Е. Н. Соколова, В. В. Ионов, Е. М. Сербя Влияние влагосодержания на режимы экструзии и физико-химические показатели экструдатов с добавлением ферментализата жмыха аронии черноплодной	66

A. A. Alferov Achievements of scientific organizations in the field of agriculture in 2023	3
<i>Agriculture and land reclamation</i>	
Yu. V. Aksenova, A. G. Shmidt Assessment of the natural resource potential of the agricultural territory of the Omsk region	8
O. I. Goryanin, B. J. Dzhangabaev, E. V. Shcherbinina The influence of precursors and technology elements on the efficiency of winter wheat cultivation in the arid conditions of the Volga region	15
N. N. Dubenok, A. V. Gemonov, A. V. Lebedev Water consumption and drip irrigation regimes of seedlings of fruit and berry crops in the central Non-Chernozem region	20
<i>Crop production, plant protection and biotechnology</i>	
A. A. Goncharenko, A. V. Makarov, N. V. Tsygankova, T. V. Semenova, V. N. Tochilin, N. A. Klochko, M. S. Goncharenko, P. A. Plotnikov Breeding assessment of winter rye population GC-494/15vv with high viscosity of water extract of grain meal	24
B. M. Guseynova Comparative analysis of biochemical composition of fruits of local selection and introduced cherry varieties grown in conditions of foothill Dagestan	29
A. A. Nalbandyan, T. P. Fedulova, T. S. Rudenko, A. V. Moiseenko, I. V. Cherepukhina Resistance of sugar beet genotypes to salt stress	36
T. Ya. Prakhova, I. V. Odrin Photosynthesis parameters and productivity of crambe abyssinica when using growth regulators	41
H. Sh. Tarchokov, F. H. Bzhinaev, A. Kh. Zhurtova The influence of herbicide systems and methods of basic tillage on grain productivity of peas in the conditions of the steppe zone of Kabardino-Balkaria	46
Yu. V. Zeleneva, I. B. Ablova, L. M. Mokhova Species composition of septoria blotch of cereal crops and identification of effector genes in populations of <i>Parastagonospora</i> spp. on the territory of Krasnodar and Leningrad regions of the Russian Federation	50
L. P. Shumilova, E. E. Kabotov Infection of soybean <i>In vivo</i> with the fungi <i>Diaporthe eres</i>	56
<i>Agro-soil science and agroecology</i>	
V. P. Shabayev, M. P. Volokitin, V. E. Ostroumov Fractional composition of copper compounds in metal-contaminated soil and its accumulation in plants in application of growth promoting rhizosphere bacteria	62
<i>Storage and processing</i>	
A. Yu. Sharikov, V. V. Ivanov, M. V. Amelyakina, E. N. Sokolova, V. V. Ionov, E. M. Serba The influence of moisture content on extrusion modes and physicochemical parameters of extrudates with the addition of chokeberry pomace hydrolysate	66

ДОСТИЖЕНИЯ НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В ОБЛАСТИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В 2023 ГОДУ

© 2024 г. А. А. Алферов, доктор биологических наук

Российская академия наук,
119991, Москва, Ленинский просп., 32а
E-mail: alferov72@yandex.ru

Представлены основные результаты исследований научных учреждений, подведомственных Минобрнауки России и находящихся под научно-методическим руководством Отделения сельскохозяйственных наук РАН за 2023 г., по фундаментальным проблемам в области земледелия – оптимизации сельскохозяйственного природопользования, агроэкологической оценке земель, созданию адаптивных систем земледелия и агротехнологий нового поколения на основе цифровизации и регулирования потоков биогенных элементов в агроэкосистемах, а также биологическим и химическим средствам интенсификации земледелия, симбиотической инженерии и геномному редактированию создания растительно-микробных систем, биоиндикации и биотестирования агроэкосистем, рекультивации загрязненных объектов сельскохозяйственного назначения.

ACHIEVEMENTS OF SCIENTIFIC ORGANIZATIONS IN THE FIELD OF AGRICULTURE IN 2023

A. A. Alferov

Russian Academy of Sciences,
119991, Moskva, Leninskii prosp., 32a
E-mail: alferov72@yandex.ru

The main scientific results of the work in 2023 of scientific institutions subordinate to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation and under the scientific and methodological guidance of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences on fundamental problems in the field of agriculture are presented – optimization of agricultural environmental management, agroecological assessment of lands, creation of adaptive farming systems and agrotechnologies of a new generation based on digitalization and regulation of flows of biogenic elements in agroecosystems, as well as biological and chemical means of intensification of agriculture, symbiotic engineering and genomic editing of the creation of plant-microbial systems, bioindication and biotesting of agroecosystems, and reclamation of contaminated agricultural facilities.

Ключевые слова: сельскохозяйственная наука, земледелие, Российская академия наук, Отделение сельскохозяйственных наук.

Keywords: agricultural science, agriculture, Russian Academy of Sciences, Department of Agricultural Sciences of the RAS.

За последние 30 лет кризис сельского хозяйства привел к значительному снижению производственного потенциала продовольственного сектора агропромышленного комплекса страны, ухудшению фитосанитарного состояния и экологическим стрессам на десятках миллионов гектаров сельскохозяйственных посевов и насаждений. В Российской Федерации по разным данным от 26 % до 58 % сельскохозяйственных угодий подвержены эрозийным процессам [1, 2, 3], 20 % почв переувлажнено и заболочено, 8 % засолено, 44 % имеют повышенную кислотность, 99,5 млн га характеризуются низким содержанием гумуса [1, 4]. Земли сельскохозяйственного назначения в результате водной эрозии нарушены на площади 42 млн га, ветровой – 26 млн га. Площадь деградированных земель ежегодно увеличивается на 400...500 тыс. га [1]. На сегодняшний день из активного сельскохозяйственного оборота выведено 40 млн га [5].

В этой связи стратегическая цель дальнейшего развития сельскохозяйственной науки – проведение фундаментальных и приоритетных прикладных исследований для разработки конкурентоспособной научно-технической продукции, усиления процесса освоения научных разработок в производстве, обеспечивающих эффективное функционирование агропромышленного комплекса в стране [6]. В рамках Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.) определены основные научные направления и ожидаемые результаты в области земледелия. Среди приоритетов

инновационного развития этой отрасли в стране можно выделить следующие основные направления: разработка новых и совершенствование существующих адаптивно-ландшафтных систем земледелия и наукоемких агротехнологий, технологическая модернизация земледелия, интеграция земледелия и животноводства на эколого-ландшафтной основе, создание региональных моделей агропромышленного производства, конструирование сельскохозяйственных ландшафтов, мелиорация [1, 7].

Важное положение развития современного сельского хозяйства в России – освоение систем земледелия нового поколения применительно к почвенно-климатическим условиям регионов. В 2000–2010 гг. учеными учреждений Россельхозакадемии и аграрных вузов были предложены адаптивно-ландшафтные системы земледелия (АЛСЗ) для разных экологических групп земель. Их разработка осуществлялась на основе ГИС-технологий агроэкологической оценки земель и проектирования, что определяет такие системы как продукты цифрового земледелия [1]. Векторами дальнейшего развития АЛСЗ выступают диверсификация севооборотов (увеличение доли сои и других бобовых, сокращение доли чистого пара), минимизация обработки почвы, ландшафтно-обусловленное применение удобрений как средств управления продуктивностью агроценозов, регулирование фитосанитарных условий химическими и биологическими средствами по экономическим порогам вредоносности [7, 8, 9].

Одна из важных задач развития современного земледелия – агротехнологическая модернизация, как переход

от интенсификации сельского хозяйства к наукоемким экологически и экономически обоснованным агротехнологиям возделывания интенсивных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур на базе цифровых систем с применением новых биопрепаратов, полифункциональных агрохимических средств биологического и химического происхождения.

В 2023 г. научные исследования в области земледелия проводили в соответствии с направлением науки 4.1. Сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыбное хозяйство (разделы 4.1.1.1. и 4.1.1.2.) Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.). Работу выполняли ученые более чем 30 научных учреждений, подведомственных Министерству науки и образования Российской Федерации и находящихся под научно-методическим руководством Отделения сельскохозяйственных наук РАН, с участием 1604 научных сотрудников, в числе которых 248 докторов и 725 кандидатов наук, 10 членов-корреспондентов, 26 академиков и 8 профессоров РАН.

По разделу фундаментальных и поисковых научных исследований 4.1.1.1. *Оптимизация сельскохозяйственного природопользования, агроэкологическая оценка земель, создание адаптивных систем земледелия и агротехнологий нового поколения на основе цифровизации и регулирования потоков биогенных элементов в агроэкосистемах* исследования выполняли ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», ФГБНУ «Курский ФАНЦ», ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», ФГБНУ АФИ, ФГБНУ «Чеченский НИИСХ», ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», ФГБНУ ФРАНЦ, ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», СКНИИГПСХ ВНИЦ РАН, ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», Псковский НИИСХ – ОП ФГБНУ «ФНЦ лубяных культур», НИИАП Хакасии – филиал ФГБНУ «ФИЦ Красноярский НЦ СО РАН», ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова». Работы были ориентированы на совершенствование методологии оценки земель для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия, использование отдельных приемов для создания новых агротехнологий выращивания сельскохозяйственных культур.

Фундаментальные и прикладные исследования, проведенные в 2023 г. с использованием научного потенциала предыдущих лет, позволили получить следующую научную продукцию:

методология землеустройства на ландшафтно-экологической основе, включая территориальное и внутрихозяйственное землеустройство сельскохозяйственных ландшафтов (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

научные основы применения природоподобных технологий для повышения почвенного плодородия; критерии отнесения к природоподобным технологиям (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»);

методика комплексной оценки воздействия агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур на плодородие и устойчивость черноземных почв (ФГБНУ «Курский ФАНЦ»);

методология производства высококачественной, обогащенной физиологически активными соединениями растительной продукции на основе фундаментальных знаний о влиянии биологически активных углеродных и кремнезольных наноконпозиций на продукционный процесс и химический состав вегетирующих растений (ФГБНУ АФИ);

методы анализа и интерпретации гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли в области современного земледелия (ФГБНУ АФИ);

методика оценки динамики эрозионных размывов на основе показателя фрактальной размерности с использованием данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий для эффективного мониторинга процессов водной эрозии (ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»);

научные основы конструирования самовозобновляющихся агрофитоценозов для управления формированием высокопродуктивных энергонасыщенных травостоев в целях получения высококачественной экологически безопасной продукции с использованием агрегатов горной модификации (СКНИИГПСХ ВНИЦ РАН);

методология создания информационно-технологической платформы для построения автоматизированных систем планирования и управления прецизионным производством растениеводческой продукции на основе современных цифровых технологий (ФГБНУ АФИ);

методология и средства управления агроклиматическими и агроэкологическими рисками, плодородием почв, мелиоративным, фитосанитарным состоянием и продуктивностью агроэкосистем мелиорированных земель в условиях наблюдаемых и прогнозируемых климатических изменений с применением дистанционного зондирования, математического моделирования и цифровизации информационного обеспечения (ФГБНУ АФИ);

система оценки агроэкологических особенностей почв зонального ряда агроландшафтов предгорий Кузнецкого Алатау в условиях потепления климата (НИИАП Хакасии – филиал ФГБНУ «ФИЦ Красноярский НЦ СО РАН»);

информационно-аналитические системы (ИАС «Агроэкосистема») для сбора, хранения и обмена разнородных данных о землепользовании селекционно-семеноводческих центров Минобрнауки России, включая картографические, дистанционные и наземные источники (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

методика интеграции системы прогноза роста и развития растений с оптимизированной сетевой архитектурой гибридной беспроводной сенсорной сети для решения задач растениеводства с использованием веб-интерфейса (ФГБНУ АФИ);

методы оценки устойчивости систем земледелия на основе использования новой версии модели AGROTOOL (ФГБНУ АФИ);

усовершенствованная эколого-адаптивная технология возделывания сортов и гибридов подсолнечника для различных типов агроландшафтов Ростовской области (ФГБНУ ФРАНЦ);

новый способ определения плотности почвы для возделывания яровых зерновых культур в условиях Верхневолжья (ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»);

адаптивная ресурсосберегающая экологически безопасная технология возделывания клеверов различных типов спелости в одновидовых и смешанных посевах для производства сбалансированного корма высокого качества и повышения плодородия почвы (ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»);

методическое пособие «Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Владимирской области» (ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»);

инструментарий структурно-функционального анализа агроландшафтов и регулирования функций почв

для территориального планирования (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

приемы агрогеоморфологической и агролитологической группировки земель на основе воздушной лазерной съемки топографической поверхности и подповерхностной диагностики почвообразующих пород (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

ресурсосберегающая гребне-грядовая система обработки почвы с применением комбинированных рыхлителей – грядообразователей, двухслойного посева зерновых культур, ленточно-разбросного посева, уплотнения гребней при посеве и бороновании (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

усовершенствованные приемы оптимизации водно-воздушного и питательного режимов осушаемых почв Центрального Нечерноземья при возделывании кормовых травостоев долголетнего использования (5...8 лет) (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

система оценки последствий биоконверсии осадков городских сточных вод, подстилочного навоза КРС, подстилочного птичьего помета, на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы и урожайности ярового тритикале (ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»);

ресурсосберегающая система основной обработки почвы с использованием возобновляемых биоресурсов, органических удобрений и биопрепаратов для устойчивого производства растениеводческой продукции, сохранения и воспроизводства плодородия почвы на черноземе типичном в Чеченской Республике (ФГБНУ «Чеченский НИИСХ»);

технологии тонкослойной нанопоники в созданных институтом автоматизированных фитотехкомплексах/оранжереях двух типов с полезной площадью по 1 м² на антарктической станции «Восток» в рамках творческой совместной работы с ФГБУ ААНИИ и ФГБУН ГНЦ РФ ИМБП (ФГБНУ АФИ);

технологическая схема применения удобрений под зерновые культуры в зависимости от погодных условий и уровня защиты растений при различных системах обработки почвы для условий лесостепи и степи юга Западной Сибири (ФГБНУ ФАНЦА);

технология возделывания двух урожаев картофеля за один вегетационный период в 3-й световой зоне для обеспечения населения страны качественной продукцией и повышения эффективности картофелеводства (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

способ обогащения растений цинком при некорневой обработке растворами полигидроксильированных водорастворимых производных фуллерена C₆₀ или C₇₀ и сульфата цинка (ФГБНУ АФИ);

способ обогащения растений соединениями железа при некорневой обработке растворами наночастиц оксидов железа – магнетита и магнетита, полученных с использованием золь-гель технологии (ФГБНУ АФИ);

способ производства растительной продукции высокого качества, обогащенной микронутриентами, при обработке семян кремнезольными наноконпозициями, допированными наночастицами оксида железа Fe₃O₄ (ФГБНУ АФИ);

реестр агроэкологических видов земель Центрального Нечерноземья, дополненный агроэкологической группировкой Калининского района Тверской области (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

реестр противоэрозионных мероприятий снижения рисков деградации земель от водной эрозии почв в ус-

ловиях изменения климата и социально-экономических преобразований в АПК (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

закономерности суммарных эрозионных потерь почв на ключевых участках в Тульской и Тамбовской областях на основе реконструкции темпов эрозионно-аккумулятивных процессов за последние 250 лет (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

зависимости изменений микроагрегатов типичных черноземов (размеры, форма и ориентация) при реализации технологии прямого посева, снижающие экологические риски в зонах неустойчивого увлажнения, особенно в периоды длительного дефицита атмосферных осадков (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

нормы и способы посева сои сорта Бриз, обеспечивающие наибольшую урожайность высококачественных семян в условиях Приморского края (ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки»);

ресурсосберегающая технология возделывания полбы в условиях Северо-Запада Российской Федерации (ФГБНУ «ФНЦ лубяных культур»);

ресурсосберегающая сортовая технология возделывания клевера лугового Псковский улучшенный для производства семян и высококачественных кормов (Псковский НИИСХ – ОП ФГБНУ «ФНЦ лубяных культур»);

технология семеноводства льна-долгунца на основе использования малозатратных технологических методов ускоренного воспроизводства обновленных семян (Псковский НИИСХ – ОП ФГБНУ «ФНЦ лубяных культур»);

ресурсосберегающая технология возделывания озимых зерновых культур (озимой ржи и озимой пшеницы) на основе комплексного применения новых комплексных удобрений со сбалансированным составом макро- и микроэлементов, биологических и гуминовых препаратов (Псковский НИИСХ – ОП ФГБНУ «ФНЦ лубяных культур»);

новая технология выращивания и размножения ясколки полевой (*Cerastium arvense* L.) мини-брикетами на суглинистых почвах в засушливых условиях юга Средней Сибири (НИИАП Хакасии – филиал ФГБНУ «ФИЦ Красноярский НЦ СО РАН»);

научно-практические рекомендации по применению природоподобных технологий для сохранения и повышения плодородия (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»);

научно-практические рекомендации по вовлечению в производственный оборот выбывших земель сельскохозяйственного назначения (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»);

схемы пастбищеоборотов с учетом геоботанической оценки естественных пастбищных угодий и ДДЗ для крестьянско-фермерских хозяйств (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»);

информационно-измерительная система сбора данных на основе гибридной беспроводной сенсорной сети для мониторинга динамики свойств почвы, состояния посевов и метеоусловий в режиме реального времени (ФГБНУ АФИ);

программное обеспечение для анализа вегетационной активности растительного покрова сельскохозяйственных угодий по данным дистанционного зондирования (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»);

математические модели и алгоритмы принятия решений на различных уровнях управления систем точного земледелия (ФГБНУ АФИ);

система создания САПР АТ для земельных участков, используемых сельскохозяйственным предприятием при производстве растениеводческой продукции в условиях АЛСЗ с элементами точного земледелия (ФГБНУ АФИ).

По разделу фундаментальных и поисковых научных исследований 4.1.1.2. *Биологические и химические средства интенсификации земледелия, симбиотическая инженерия и геномное редактирование создания растительно-микробных систем, биоиндикация и биотестирование агроэкосистем, рекультивация загрязненных объектов сельскохозяйственного назначения* исследования выполняли ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», ФГБНУ ВНИИСХМ, ВНИИОУ – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», СахНИИСХ – филиал ВИР, ТатНИИАХП – ФГБНУ «ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук», ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», СКНИИПГСХ ВНЦ РАН, ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В. В. Докучаева» и др. Научно-исследовательские работы направлены на обоснование использования органических и минеральных удобрений, биопрепаратов и биоресурсов в агротехнологиях выращивания сельскохозяйственных культур, разработку механизмов организации устойчивых агроэкосистем с участием полезных почвенных микроорганизмов, экологическую оценку состояния объектов сельскохозяйственного назначения. В результате выполненных в 2023 г. исследований создана следующая научная продукция:

методика прогнозирования изменения содержания подвижных форм фосфора и калия в зависимости от гранулометрического состава дерново-подзолистых почв, исходного содержания в них подвижных P_2O_5 и K_2O , гумуса и степени кислотности (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

эффективные штаммы ризобактерий и грибов АМ, обладающие комплексом хозяйственно полезных свойств; оптимизация культивирования микроорганизмов, в том числе в ферментерах, для получения биопрепаратов на их основе (ФГБНУ ВНИИСХМ);

генетические паспорта коммерческих штаммов клубеньковых бактерий для последующего создания на их основе комбинированных биопрепаратов (ФГБНУ ВНИИСХМ);

коллекция геномно-секвенированных микросимбионтов бобовых растений *Vicia*, *Oxytropis*, *Caragana* и *Trifolium* (ФГБНУ ВНИИСХМ);

научно-методическое обоснование системы агро- и биомелиоративных приемов для восстановления плодородия и повышения продуктивности почв деградированных мелиорированных земель с использованием биокомпостов и биопрепаратов в условиях южной части Нечерноземной зоны Российской Федерации (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»);

технология производства органических удобрений на основе осадков сточных вод посредством традиционного компостирования и твердофазной интенсивной аэробной переработки (ВНИИОУ – филиал ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»);

приемы использования индикаторных групп микроорганизмов и физико-химических параметров при определении качественных и количественных изменений плодородия лугово-дерновой почвы (СахНИИСХ – филиал ВИР);

научно обоснованные параметры функционирования азотфиксирующей системы в посевах гороха, учитывающие сортовые особенности, уровень плодородия почвы, погодные условия вегетационного периода, применение микробных препаратов ризобий и внесение азотных

удобрений, для совершенствования технологических приемов с целью увеличения вклада биологического азота в агроценозы (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

способ борьбы с фузариозом зерновых культур и средство на основе цеолита для его осуществления (ТатНИИАХП – ФГБНУ «ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук»);

экологически безопасные и эффективные препараты, повышающие стрессоустойчивость яровой пшеницы (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

приемы комплексного использования в агроценозах биологического и минерального азота, обеспечивающие увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур на 10...15 % (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

пространственные модели урожайности яровой пшеницы, ярового ячменя и овса (со значением пикселя на растровой карте 600 м) для технологий различной интенсивности в Курганской, Тюменской, Челябинской и Свердловской областях (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

государственные (2 ГСО), межгосударственные (2 МСО) и отраслевые (13 ОСО) стандартные образцы разных объектов (почва, растениеводческая продукция, минеральные удобрения) для агроэкологического мониторинга, идентификации и подтверждения соответствия продукции требованиям нормативных документов (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

закономерности вариационно-статистических моделей зависимостей содержания ряда металлов в разных типах почв (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

новый ассортимент химических мелиорантов для кислых и засоленных почв на основе кальций-, калий- и магнийсодержащих отходов промышленности (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

эффективные, экологически безопасные и экономически выгодные дозы, сроки и способы внесения новых форм мелиорантов и кальций-, калий- и магнийсодержащих удобрений для зерновых, овощных и зернобобовых культур, позволяющих повысить продуктивность сельскохозяйственных культур на 17...35 % (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

методические указания по расчету доз внешнего облучения для сельскохозяйственного рабочего при проживании и трудовой деятельности на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению от Чернобыльской аварии (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»);

система применения биопрепаратов и микроудобрений нового поколения для воспроизводства плодородия почв и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и пашни (СКНИИПГСХ ВНЦ РАН);

алгоритм оценки перспективных штаммов эпифитных бактерий, обладающих фунгицидной активностью, при изучении микробиома *Aegilops tauschii* Coss. (ФГБНУ ВНИИСХМ);

первичная оценка экспрессии ряда генов углеводного метаболизма семейства SWEET (ФГБНУ ВНИИСХМ);

идентификация генов деградации углеводов у автохтонных штаммов на основании геномного анализа для выявления наиболее перспективных штаммов для биоремедиации нарушенных почв (ТатНИИАХП – ФГБНУ «ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук»);

способ внесения биопрепарата и биокомпоста для восстановления плодородия и повышения продуктивности почв деградированных мелиорированных земель (ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»);

элементный состав компонентов агроценоза при длительном применении минеральных удобрений

на дерново-подзолистой почве для разработки приемов использования минеральных удобрений; динамика микроэлементного состава дерново-подзолистой почвы при разных условиях увлажнения для уточнения градаций обеспеченности почв агроценозов Нечерноземной зоны (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»);

приемы совместного применения минеральных удобрений и агропрепаратов в технологии возделывания различных сортов озимой пшеницы (ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В. В. Докучаева»).

Литература.

1. Завалин А. А. Проблемы и пути решения технологического развития земледелия // *Земледелие*. 2024. № 2. С. 25–29.
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 356 с.
3. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2022 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 372 с.
4. Кулик К. Н., Беляев А. И., Пугачева А. М. Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов // *Аридные экосистемы*. 2023. Т. 29. № 1(94). С. 4–14.
5. Методология мониторинга учета баланса углерода в почвенных экосистемах и агролесокomплексах в условиях изменения климата / А. Л. Иванов, К. Н. Кулик, В. С. Столбовой и др. // *Материалы пленарных докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв*. М.; Сыктывкар, 2022. Ч. 1. С. 59–64.
6. Концепция развития аграрной науки и научного обеспечения агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2025 года // *Приказ Минсельхоза России от 25.06.2007 № 342*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902099525?ysclid=lwnufu43gg907438676> (дата обращения: 05.02.2024).
7. Кирюшин В. И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов развития сельского хозяйства // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. № 3. С. 5–10.
8. Иванов А. Л. Почвенные ресурсы и биологический потенциал в системе мер адаптации сельского хозяйства России к природно-климатическим изменениям // *Плодородие*. 2018. № 1. С. 42–47.
9. Кирюшин В. И. Состояние и проблемы развития адаптивно-ландшафтного земледелия // *Земледелие*. 2021. № 2. С. 3–7.

Поступила в редакцию 06.04.2024

После доработки 22.04.2024

Принята к публикации 14.05.2024

Земледелие и мелиорация

УДК 631.4:631.452

DOI 10.31857/S2500262724030021 EDN FVVZGN

**ОЦЕНКА ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА
ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ**© 2024 г. **Ю. В. Аксенова**¹, кандидат биологических наук, **А. Г. Шмидт**², кандидат сельскохозяйственных наук¹Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина,
644008, Омск, Институтская площадь, 1
E-mail: yuv.aksenova@omgau.org²Центр агрохимической службы «Омский»,
644012, Омск, просп. Королева, 34
E-mail: agsch@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки совокупности природных ресурсов агроландшафтов южно-таежной лесной, лесостепной и степной зон Омской области. Расчеты осуществляли с использованием уравнений, в которых показатели тепло-, влагообеспеченности и почвенного плодородия, выраженные в баллах, располагали в порядке убывания влияния на величину природно-ресурсного потенциала. Агроклиматические условия характеризовали по тепло- и влагообеспеченности зон, исходя из среднесезонных данных суммы температур воздуха выше +10 °C и осадков за год. Оценка свойств почв проводили для типов, занимающих наибольшую площадь в пахине. В лесостепной и степной зонах сложились наиболее благоприятные условия для земледелия, их ресурсы оценены в 41...44 балла и соответствуют среднему уровню. Теплый и умеренно влажный климат лесостепи близок к оптимальному для возделывания сельскохозяйственных культур (ГТК 1,0...1,4). Оценка тепло- и влагообеспеченности составила 44...60 и 37...51 баллов соответственно. В умеренно жарких, но недостаточно увлажненных степных районах (ГТК 0,9) агроклиматические ресурсы имели наибольшую оценку по температурному режиму (57...60 баллов) и наименьшую – по величине осадков (25...28 баллов). Почвенные ресурсы лесостепной и степной зон представлены черноземами обыкновенными, южными и лугово-черноземными почвами, уровень плодородия которых оценен в 60...67 баллов. Средним уровнем плодородия характеризуются засоленные, солонцеватые разности этих почв, а также черноземно-луговые и луговые почвы, оценка составила 40...58 баллов. Низкий уровень плодородия с наименьшей оценкой (34...38 баллов) установлен для солонцов. Пониженный природно-ресурсный агропотенциал (38 баллов) южно-таежной лесной зоны связан с низким качеством дерново-подзолистых почв (27 баллов). По агроклиматическим условиям зона характеризуется как умеренно теплая и хорошо увлажненная (ГТК 1,4...1,6), оценка теплообеспеченности по районам составила 38...43 баллов, влагообеспеченности – 37...43 баллов.

**ASSESSMENT OF THE NATURAL RESOURCE POTENTIAL
OF THE AGRICULTURAL TERRITORY OF THE OMSK REGION****Yu. V. Aksenova¹, A. G. Shmidt²**¹Stolypin Omsk State Agrarian University,
644008, Omsk, Institutskaya pl., 1
E-mail: yuv.aksenova@omgau.org²Center of Agrochemical Service «Omskii»,
644012, Omsk, prosp. Koroleva, 34
E-mail: agsch@mail.ru

The studies were conducted to assess the totality of natural resources of the agrolandscapes of the southern taiga forest, forest-steppe and steppe zones of the Omsk region. The calculation was performed using equations in which the point indicators of heat, moisture supply and soil fertility were arranged in descending order of their influence on the value of natural resource potential. Agroclimatic conditions were characterized by heat and moisture supply of zones, based on the average long-term data on the sum of air temperatures above +10 °C and precipitation per year. The soil properties were assessed for the types occupying the largest area in arable land. The most favorable conditions for agriculture have developed in the forest-steppe and steppe zones, their resources are estimated at 41...44 points and correspond to the average level. The warm and moderately humid climate of the forest-steppe is close to optimal for cultivating agricultural crops (hydrothermal coefficient 1.0...1.4). The assessment of heat and moisture supply in points was 44...60 and 37...51, respectively. In moderately hot but insufficiently humid steppe regions (hydrothermal coefficient 0.9); agroclimatic resources were assessed with the maximum number of points for the temperature regime (57...60 points) and the minimum for the amount of precipitation (25...28 points). Soil resources of the forest-steppe and steppe are represented by fertile soils: ordinary chernozems, southern and meadow-chernozem soils, the level of their fertility was estimated at 60...67 points. Saline, solonchic varieties of these soils, as well as chernozem-meadow and meadow soils have an average level of fertility, their assessment score was 40...58. Low fertility and a minimum (34...38) score were set for solonch. The reduced natural resource agro-potential (38 points) of the southern taiga forest zone is associated with the low quality of sod-podzolic soils (27 points). According to agroclimatic conditions, the zone is characterized as moderately warm and well-moistened (hydrothermal coefficient 1.4...1.6), the point assessment of heat supply by districts was 38...43, and moisture supply – 37...43.

Ключевые слова: оценка почв, природно-ресурсный потенциал, почвенный покров, природные зоны, климатические условия.**Keywords:** soil assessment, natural resource agro-potential, soil cover, natural zones, climatic conditions.

Земледельческое использование территорий зависит от совокупности их природных ресурсов, которые

принимают непосредственное участие в создании растениеводческой продукции и определяют величину

Табл. 1. Агроклиматический потенциал Омской области

Агроклиматический район	Муниципальное образование (метеорологическая станция)	Показатель тепло- и влагообеспеченности (среднеголетние данные)					ГТК	Агроклиматический потенциал по И.И. Карманову, балл	
		сумма температур > +10 °С, град.	продолжительность, дни		осадки, мм				
			периода с t > +10 °С	безморозного периода	год	период с t > +10 °С			
I	Усть-Ишимский	1753	114	106	431	296	1,6	6,1	
	Седельниковский	1800	115	105	400	290	1,6	5,7	
	Знаменский	1800	115	110	410	290	1,6	5,7	
	Тевризский	1807	117	118	423	287	1,6	6,3	
	Большеуковский	1827	119	116	386	271	1,5	5,9	
II	Тарский	1801	116	113	415	290	1,6	5,9	
	Муромцевский	1850	120	115	370	250	1,4	5,1	
	Колосовский	1848	118	117	350	251	1,4	5,3	
	Крутинский	1870	120	120	350	240	1,3	5,2	
	Большереченский	1872	121	120	320	243	1,1	5,3	
	Тюкалинский	1867	121	121	350	232	1,2	5,2	
	Называевский	1948	124	115	353	244	1,1	4,9	
	Саргатский	1934	126	120	294	256	1,1	5,0	
	Калачинский	1863	121	106	275	235	1,0	4,2	
	Омский	1918	123	114	324	243	1,1	4,4	
	Нижнеомский	1920	125	115	310	240	1,3	4,7	
	Горьковский	1900	120	115	310	240	1,3	4,7	
	Любинский	1920	120	115	310	240	1,3	4,9	
	Кормиловский	1920	125	110	300	240	1,3	4,4	
	Марьяновский	1950	125	110	310	240	1,2	4,7	
	Москаленский	1980	125	110	320	250	1,3	4,9	
	Азовский	1930	125	110	290	220	1,1	4,2	
	Таврический	1930	125	110	290	210	1,0	4,0	
	III	Исилькульский	1982	126	111	335	252	1,0	4,8
		Оконешниковский	1960	125	110	300	230	1,0	4,3
		Шербакульский	1933	127	110	268	226	0,9	4,2
Павлоградский		2050	130	110	280	220	1,0	4,1	
Одесский		2158	129	115	280	218	1,0	4,5	
Полтавский		2138	131	115	269	217	1,0	4,4	
Черлакский		2130	130	110	280	192	0,9	4,1	
Русско-Полянский		2207	132	110	250	190	0,9	4,1	

урожайности возделываемых культур [1]. В процессе интенсивной хозяйственной деятельности, часто на фоне невысокого уровня агротехнических мероприятий, происходит истощение почвенных ресурсов агроландшафтов и снижение качества почв [2, 3, 4], в структуре сельскохозяйственных угодий сокращается доля пахотных земель и увеличиваются площади залежных участков, сенокосов и пастбищ. Управление почвенным плодородием, сохранение почвенно-земельных ресурсов и рациональное природопользование возможно на основе адаптивно-ландшафтной системы земледелия, но она должна разрабатываться с учетом природно-ресурсного потенциала регионов, что позволит оптимально использовать эти ресурсы, управлять ими и получать максимально возможный урожай возделываемых культур в определенных почвенно-климатических условиях [5, 6, 7]. Известны различные подходы к оценке использования природно-ресурсного потенциала агроландшафтов [8, 9, 10]. Для решения задач землеустройства, кадастровой деятельности, планирования землепользования, формирования систем земледелия и животноводства разработана комплексная оценка земель [3].

Цель исследований – оценка природно-ресурсного потенциала агроландшафтов на основе анализа природных сельскохозяйственных условий и ресурсов природно-сельскохозяйственных зон Омской области.

Методика. Объекты исследований – почвенно-земельные ресурсы: сельскохозяйственные угодья и почвенный покров природно-сельскохозяйственных зон Омской области, представленный почвами, которые существенно различаются по уровню плодородия и формируются в различных агроклиматических условиях; агроклиматические ресурсы агроландшафтов, которые характеризуются тепло- и влагообеспеченностью и тесно коррелируют с урожайностью сельскохозяйственных культур.

Расчет природно-ресурсного потенциала агроландшафтов проводили с использованием уравнений, в которых оценки агроклиматических показателей и почвенного потенциала, выраженные в баллах, располагались в порядке убывания их влияния на величину природно-ресурсного потенциала [6, 9]. Агроклиматические условия характеризовали по среднеголетним данным суммы температур воздуха со среднесуточными значениями выше +10 °С и суммы осадков за год [11]. Итоговый агроклиматический показатель рассчитывали по методике Карманова И. И. [12].

Результаты и обсуждение. Эффективность использования почвенно-земельных ресурсов, получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур в разных районах области зависит от климатических условий. С учетом тепло- и влагообеспеченности на территории природно-сельскохозяйственных зон области проведено агроклиматическое районирование и выделены три агроклиматических района.

Район I охватывает южно-таежную лесную зону, на территории которой расположены Усть-Ишимский, Тевризский, Седельниковский районы области, северная часть Большеуковского, правобережье Знаменского, Тарского и Муромцевского районов. Это районы с умеренно теплым климатом и благоприятными условиями увлажнения почв. Гидротермический коэффициент (ГТК) на территории зоны в период активной вегетации культур достигает 1,4...1,6, что указывает на достаточное ее увлажнение, а сумма средних суточных температур воздуха выше +10 °С составляет 1753...1850 °С, создавая умеренно теплые условия для роста и развития растений (табл. 1). Наиболее благоприятный тепловой режим складывается на приречных массивах и крупных гривах. Безморозный период длится в среднем 100...118 дней, очень неустойчив по годам и при позднем посеве озимых зерновых культур растения часто

захватывают заморозки. В целом климатические ресурсы обеспечивают произрастание озимых и яровых зерновых, овощных культур, картофеля, но следует учитывать их неоднородность и зависимость от рельефа, залесённости и заболоченности территории [13].

Район II включает административные районы, расположенные в зоне лесостепи (северной, центральной и частично южной): юг Большеуковского и Муромцевского, север Черлакского и Щербакульского, левобережье Знаменского и Тарского районов, Крутинский, Колосовский, Большереченский, Тюкалинский, Саргатский, Нижнеомский, Называевский, Горьковский, Любинский, Калачинский, Оконешиниковский, Марьяновский, Москаленский, Кормиловский, Омский, Таврический, Азовский районы. Это теплые и умеренно влажные территории. Сумма средних суточных температур воздуха $> +10^{\circ}\text{C}$ составляет 1878...2197 $^{\circ}\text{C}$. Безморозный период увеличивается до 110...120 дней.

Атмосферных осадков в период активной вегетации растений в среднем выпадает на 48 мм меньше, чем в южно-таежной лесной зоне области. Более благоприятные условия по обеспеченности растений влагой во все фазы их развития складываются в северной части лесостепной зоны. В центральной лесостепи условия для удовлетворения потребности растений во влаге менее благоприятные и связаны с плохой водопроницаемостью почв и пониженной водоотдачей. Это приводит к получению менее устойчивых и более низких урожаев культур. Небольшая часть южной лесостепи, входящая в агроклиматический район II, характеризуется недостаточным и неустойчивым увлажнением в начале вегетации растений, но недостаточным количеством тепла. В целом величина ГТК на всей территории лесостепи свидетельствует об ее удовлетворительном увлажнении и составляет 1,0...1,3.

В район III, умеренно жаркий и недостаточно увлажненный, входят административные районы, расположенные частично в южной лесостепи и в степной зоне области: юг Щербакульского и Черлакского районов, Нововаршавский, Полтавский, Одесский, Павлоградский и Русско-Полянский районы. Эти территории характеризуются более высокими (2050...2207 $^{\circ}\text{C}$), чем другие районы области, температурами воздуха $> +10^{\circ}\text{C}$ и наименьшим количеством осадков (220...190 мм) за вегетационный период. Безморозный период длится в среднем 110...120 дней. Вследствие небольшого поступления осадков и повышенного испарения влаги ГТК устанавливается на уровне 1,0...0,9, что указывает на недостаточное увлажнение. Иссущению почвы способствуют сильные ветры, характерные для весны и начала лета, что приводит к резкой зависимости развития растений от условий атмосферного увлажнения.

Результаты анализа агроклиматических условий по методике [9] свидетельствуют, что климат лесостепи близок к оптимальному для возделывания сельскохозяйственных культур. Оценка тепло- и влагообеспеченности составила 44...60 и 37...51 баллов соответственно. В степных районах агроклиматические ресурсы по температурному режиму получили наивысшую оценку (57...60 баллов), по величине поступающих осадков – самую низкую (25...28 баллов). Климат южно-таежной лесной зоны по количеству тепла оценен в 38...43 балла, по влагообеспеченности – в 37...43 балла.

Итоговый агроклиматический индекс, рассчитанный по Карманову, показал, что наиболее высоким агроклиматическим потенциалом (5,1...6,3 балла) обладают умеренно теплые и хорошо увлажненные территории южно-таежной лесной, а также теплые и умеренно увлажненные районы северной лесостепной зон (см. табл. 1).

При продвижении к центральной и южной лесостепи величина агроклиматического потенциала постепенно снижается (4,4...5,0 балла) и достигает наименьшего уровня на юге области – в степной зоне (4,1 балла), что связано с нарастанием тепла и понижением влагообеспеченности, которая лимитирует урожайность возделываемых культур в южных районах. Климатические условия относятся к нерегулируемым факторам, но влагообеспеченность отдельных территорий может быть улучшена путем орошения. Поэтому агроклиматический потенциал реализуется тогда, когда агроклиматические ресурсы будут отвечать требованиям возделываемых культур, а их соотношение будет оптимальным.

Площадь земельного фонда Омской области составляет 14114 тыс. га. На ее территории выделены южно-таежная лесная, лесостепная (северная, центральная, южная) и степная природные зоны [14]. По состоянию на 01.01.2022 г. площадь сельскохозяйственных угодий в области составляла 6375,6 тыс. га (табл. 2). На долю пашни приходилось 63,6 %, сенокосов и пастбищ – 33,7 %, залежи – 2,5 % и многолетних насаждений – 0,2 %.

Анализ динамики площадей сельскохозяйственных угодий показал, что за 20 лет их структура менялась незначительно. С 2004 по 2008 гг. их общая площадь составляла 6393,6 тыс. га, к 2022 г. она сократилась на 18 тыс. га. Площадь пашни в период с 2002 по 2022 гг. находилась в пределах 3979,2...4079,9 тыс. га и в 2022 г. составляла 4052,3 тыс. га. Площадь земель под сенокосами, пастбищами и залежью с 2004–2005 гг. увеличилась с 901,7, 1060,1 и 138,0 тыс. га в среднем на 80, 110 и 20 тыс. га соответственно. Площадь под многолетними насаждениями к 2003 г. сократилась в 1,5 раза – с 21,4 до 12,3 тыс. га и с 2010 по 2022 гг. находилась на уровне 14,5...14,3 тыс. га. В целом в структуре сельскохозяйственных угодий происходило их перераспределение, но доля пашни достигала 63,6 %.

Табл. 2. Структура сельскохозяйственных угодий в Омской области (на 01.01.2022 г.)

Природно-климатическая зона	Площадь сельскохозяйственных угодий, тыс. га					
	всего	пашня	много-летние насаждения	сенокосы	пастбища	залежь
Южно-таежная лесная	485,5	242,4	0,047	137,9	87,7	17,4
Северная лесостепь	1155,4	467,9	0,340	351,3	299,4	36,5
Центральная лесостепь	1621,9	798,0	1,800	340,6	398,1	83,4
Южная лесостепь	2399,8	1940,8	11,800	132,8	308,6	5,8
Степь	713,0	603,2	0,310	17,7	74,2	17,7
Итого	6375,6	4052,3	14,297	980,3	1168,0	160,8

В территориальном отношении самой крупной (40,2 % от общей площади области), но наименее освоенной частью области выступает южно-таежная лесная зона, на территории которой на земли сельскохозяйственного назначения приходится около 15 %. По отношению к другим природно-климатическим зонам площадь пашни здесь минимальна – в 1,9...8,0 раз меньше, чем в подзонах лесостепи и степи. Под сенокосами и пастбищами в этой зоне занято до 225,6 тыс. га.

Южно-таежная лесная зона рассматривается как зона глееподзолистых полугидроморфных почв, формированию которых способствуют климат, породы тяжелого гранулометрического состава, залегание грунтовых

вод от 1 до 3 м и сильная заболоченность территории. Автоморфные подзолистые и дерново-подзолистые почвы формируются на хорошо дренированных приречных увалах и повышениях вдоль реки Иртыш и ее крупных притоков, на древних четвертичных террасах склона Васюганского плато и северной части Рыбино-Каргалинской четвертичной аллювиальной равнины [15]. Автоморфные почвы распределяются небольшими по площади однородными контурами, а также в виде сочетаний с полугидроморфными и гидроморфными почвами, и каждый компонент сочетания имеет самостоятельное хозяйственное значение. Основной пахотный фонд в зоне представлен автоморфными дерново-подзолистыми почвами, их площадь в пашне составила 218,1 тыс. га. Мощность пахотного слоя варьирует от 17 до 30 см, содержание гумуса – от 1,5...3,5 % в супесчаных и легкосуглинистых разновидностях почв до 1,4...7,6 % в средне- и тяжелосуглинистых. Почвы содержат мало подвижных форм азота, фосфора, но хорошо обеспечены калием, за исключением почв легкого гранулометрического состава. Кислая реакция почвенного раствора (4,0...5,2 ед. рН) в пахотном слое почв обусловлена в основном подвижным алюминием, содержание которого составляет 0,5...13,4 мг-экв/100 г почвы. Дерново-подзолистые почвы бесструктурные, тяжелосуглинистые и глинистые их разновидности предрасположены к «заплыванию» и образованию на поверхности корки, а в подпахотном слое – плужной подошвы. По мере удаления от возвышенных приречных участков снижается дренированность территории, усиливается грунтовое и поверхностное увлажнение, что приводит к формированию глееподзолистых и дерново-подзолистых глеевых почв. Их общая площадь составляла 937,6 тыс. га, из них в пашню было вовлечено только 13,4 тыс. га. Почвы бедны элементами питания, более кислые, чем их автоморфные аналоги и содержат токсичные закисные соединения железа. В связи с неблагоприятным тепловым режимом и поздней готовностью к обработке почвы имеют низкое качество и ограниченное использование. Значительные площади (2345 тыс. га) в южно-таежной лесной зоне занимают лугово-болотные и болотные почвы, формируясь по обширным водораздельным пространствам и пониженным участкам пойм рек. В естественном состоянии они в сельском хозяйстве не используются.

Наиболее освоены в земледельческом отношении зоны лесостепи и степи. Лесостепная зона занимает наибольшую часть территории области – 51,2 %. Неоднородность почвенного покрова объясняется сложным рельефом, уровнем грунтовых вод и степенью их минерализации, пестротой почвообразующих пород, сочетанием зональных и интразональных факторов. Это комплексы, образованные лугово-черноземными, черноземно-луговыми и луговыми почвами и солонцами. Участки между повышениями и понижениями занимают солончаки и солоды, а пониженные элементы рельефа – болотные и лугово-болотные почвы. Наиболее дренированные территории заняты черноземами и серыми лесными почвами. Основные площади солонцовых почв сосредоточены в центральной части зоны.

Серые лесные почвы в основном формируются в северной части лесостепи по грядообразным повышениям и склонам крупных террас в приречной полосе Иртыша, их площадь достигала 996,5 тыс. га, в состав сельскохозяйственных угодий входило только 313 тыс. га, в пашню вовлечено 196,3 тыс. га. Пониженные и слабодренированные участки заняты серыми лесными глеевыми почвами, площадь которых составляла 633 тыс. га, из них

было распаханно 86,2 тыс. га. По мощности гумусового горизонта преобладают мало- и среднемощные виды почв, глубина пахотного слоя варьирует от 14 до 40 см. В серых лесных почвах содержание гумуса составляет 2,5...5,5 %, в серых лесных глеевых гумусированность несколько выше – 2,8...7,2 %. В связи с насыщенностью почвенно-поглощающего комплекса основаниями, в том числе обменным натрием (до 1 мг-экв/100 г), и отсутствием водорода почвы имеют слабокислую и близкую к нейтральной реакцию почвенного раствора. Более выражена кислотность в светло-серых лесных почвах. В отношении элементов минерального питания отмечается низкое содержание подвижного фосфора при средней и высокой обеспеченности растений обменным калием. Структурное состояние гумусовых горизонтов на старопашотных массивах неудовлетворительное вследствие их обесструктуренности, распыленности и малого количества водоустойчивых агрегатов (14,0...17,0 %). Это приводит к заплыванию, образованию корки и плужной подошвы, прежде всего, в почвах тяжелого гранулометрического состава. Наиболее ценными в агрономическом отношении выступают темно-серые лесные почвы, серые лесные глеевые почвы используются для производства кормов.

Локальное распространение в подзоне северной лесостепи получили черноземы выщелоченные, их площадь составляла 274,1 тыс. га, 248,2 тыс. га находилось в пашне. Наибольшее распространение получили среднемощные (42...48 см) виды этих почв, реже встречаются почвы с малой мощностью (34...40 см) гумусового горизонта. Реакция почвенного раствора слабокислая, почвенно-поглощающий комплекс насыщен кальцием и магнием, нередко содержится до 1...2 % обменного натрия. Количество гумуса в пахотном слое достигает 6,0...9,0 %, в связи с чем запасы валового фосфора высокие. Исследованиями Богданова Н. И. установлено, что все черноземы области богаты калием (кроме почв легкого гранулометрического состава) и валовыми запасами фосфора, но они находятся в форме органических и органоминеральных соединений, подвижных форм, доступных растениям, мало [16]. Структура в верхних горизонтах распаханной почвы сильно распылена, но в подпахотном слое хорошая. К неблагоприятным свойствам черноземов выщелоченных относится медленное прогревание весной вследствие их тяжелого гранулометрического состава и высокой влагоемкости.

Солонцы максимальное распространение получили в центральной лесостепи, подзоне, которая была выделена с целью правильного хозяйственного освоения и использования почвенного покрова. Общая площадь этих почв составляла 1322,5 тыс. га, из них в пашне – 503,7 тыс. га. Близко залегающие грунтовые воды способствуют формированию лугово-черноземных и черноземно-луговых солонцов. Преобладают их мало- и среденатриевые виды, содержащие в профиле большие запасы солей, с глубоким залеганием гипса и карбонатов. Солевой режим и состав солей в этих почвах связан с химическим составом грунтовых вод, рельефом, почвообразующими породами и иными условиями их формирования. В отличие от степных солонцов солонцы лесостепной зоны более гумусированные, легкорастворимые соли в их профиле залегают глубже от поверхности почв. Тип засоления смешанный, нередко с участием соды. Реакция среды в гумусовом слое нейтральная или слабощелочная. Неблагоприятные агрономические свойства солонцов связаны с физическими свойствами солонцового горизонта. Обогащенный гидрофильными коллоидами и натрием, при увлажнении он сильно

набухает, становится водонепроницаемым и в период снеготаяния происходит застой воды, что задерживает проведение весенне-полевых работ. В сухой период этот горизонт ссыхается, растрескивается и приобретает высокую плотность.

Относительно крупные контуры черноземов обыкновенных встречаются в южной лесостепи, удельный вес этих почв достигал 80 % от общей площади черноземов, в северной и центральной лесостепи – 19,1 и 15,8 % соответственно. Площадь этих почв по области составляла 1600 тыс. га, под пашню было отведено 1510,3 тыс. га. Широкое распространение получили карбонатные разности черноземов, их появление связано с ранее длительной глубокой отвальной вспашкой, которая привела к вовлечению в пахотный слой верхней части карбонатного горизонта АВк. Солонцеватые черноземы чаще встречаются в комплексе с солонцами. Слабая солонцеватость не оказывает заметного отрицательного влияния на плодородие этих почв. В пашне преобладают черноземы с мощностью гумусового горизонта от 28 до 45 см, но встречаются и укороченной мощности (до 25 см). Содержание гумуса в пахотном слое почв легкого гранулометрического состава немногим более 4 %, в почвах тяжелого гранулометрического состава возрастает до 5,7 % и более. Развитие эрозийных процессов привело к варьированию мощности пахотного слоя и содержания гумуса в почвах одного массива в широком диапазоне, а также увеличению площади почв с количеством гумуса от 3 до 5 %.

Начиная с северной лесостепи, в почвенном покрове зон появляются лугово-черноземные почвы, их площадь достигала 1620,2 тыс. га, в пашне находилось до 1432,6 тыс. га. Наиболее часто встречаются почвы с мощностью гумусового слоя 20...24 и 30...40 см, с низ-

кими и средними запасами гумуса в пределах 1 м. В составе обменных катионов повышено содержание натрия и магния, количество которых по профилю варьирует в пределах 1...10 и 4...25 % соответственно. Эти почвы характеризуются выраженным засолением профиля, формирование современных солевых зон связано с активным состоянием солей, в составе которых много хлора и сульфатов. Почвы испытывают грунтовое увлажнение, их неустойчивый во времени водный режим объясняется чередованием сухих периодов и периодов с глубоким промачиванием и возвратным капиллярным движением влаги из-за грунтовых вод. В холодные, влажные годы лугово-черноземные почвы уступают по производительности черноземам, но в засушливые могут быть более продуктивными. Засоленные и солонцеватые разности почв имеют низкую агрономическую оценку, их используют под ограниченный набор культур.

Черноземно-луговые и луговые почвы в составе пашни лесостепи и степи занимали около 330 тыс. га, распространение получили солонцеватые, карбонатные и засоленные почвы. Обладая высоким потенциальным плодородием, они имеют неудовлетворительные агропроизводственные свойства вследствие переувлажнения в весенний период и поздней готовности к проведению полевых работ, частого засоления профиля и слабой биологической активности. Период промерзания почв длится дольше, чем в лугово-черноземных почвах, образующаяся в профиле льдистость оттаивает в начале июня на 90...170 см, а полное оттаивание наступает в июле.

В сельскохозяйственном производстве используется от 66 до 78 % территории лесостепной зоны. Среди сельскохозяйственных угодий преобладает пашня, которая занимает 3206,7 тыс. га, кормовая база, сенокосы и пастбища размещены на 1830,8 тыс. га.

Табл. 3. Оценка ресурсного потенциала природных зон Омской области, балл

Почвы	Южно-таежная лесная зона		Лесостепь						Степь	
	почвенный потенциал	природно-ресурсный агропотенциал	северная	природно-ресурсный агропотенциал	центральная	природно-ресурсный агропотенциал	южная	природно-ресурсный агропотенциал	почвенный потенциал	природно-ресурсный агропотенциал
Дерново-подзолистые	27	37	29	38	-	-	-	-	-	-
Темно-серые лесные	37	40	46	42	50	43	50	39	-	-
Черноземы выщелоченные	-	-	67	47	66	47	67	44	-	-
Черноземы обыкновенные обычные и карбонатные	-	-	-	-	67	47	65	43	67	45
Черноземы обыкновенные солонцеватые и солончаковатые	-	-	-	-	58	45	57	41	56	42
Лугово-черноземные обычные и карбонатные	-	-	63	46	60	45	60	42	61	43
Лугово-черноземные солонцеватые и солончаковатые	-	-	-	-	48	42	47	39	47	40
Черноземно-луговые обычные и карбонатные	-	-	46	43	47	42	48	43	46	44
Черноземно-луговые солонцеватые и солончаковатые	-	-	-	-	45	42	46	42	44	43
Луговые	40	40	44	42	44	41	46	42	-	-
Луговые солонцеватые и солончаковатые	-	-	-	-	42	40	41	40	-	-
Солонцы	-	-	34	37	34	36	36	37	34	38
Черноземы южные обычные и карбонатные	-	-	-	-	-	-	61	42	61	43
Черноземы южные солонцеватые и солончаковатые	-	-	-	-	-	-	-	-	56	42
Аллювиальные дерновые	35	37	38	39	45	41	-	-	-	-
Аллювиальные луговые	-	-	-	-	42	40	47	43	-	-
Средневзвешенный	-	38	-	42	-	41	-	42	-	44

Несмотря на высокую долю в почвенном покрове солонцов и солонцеватых почв, максимальная площадь пашни, 1940,8 тыс. га, сосредоточена в подзоне южной лесостепи, это в 2,4...4,0 раза больше, чем в подзоне центральной и северной лесостепи. Наибольшие площади (738,7 тыс. га) под сенокосы и пастбища отведены в центральной лесостепи.

Степная зона узкой полосой охватывает юг области и занимает 8,6 % ее площади. В сельском хозяйстве используют до 93 % территории зоны, по объему сельскохозяйственной продукции ей принадлежит ведущая роль. При этом площадь пашни в 5,3 раза меньше (табл. 2), чем в лесостепной зоне, под сенокосами и пастбищами находится 91,9 тыс. га. Почвенный покров зоны в основном представлен черноземами южными (411 тыс. га), занимающими большие и часто однородные массивы. В пашне находилось 381,3 тыс. га черноземов южных, из них 332,9 тыс. га составляли маломощные и малогумусные, а также карбонатные и солонцеватые разновидности этих почв. Черноземам лесостепи они уступают по мощности, гумусированности, оструктуренности, подверженности эрозии. Например, в эродированных почвах Черлакского и Русско-Полянского районов мощность гумусового слоя уменьшилась до 14...19 см, а содержание гумуса – до 1,5...2,0 %. Черноземы южные характеризуются повышенной долей магния (21...25 %) в составе почвенно-поглощающего комплекса, слабощелочной реакции среды, низкими запасами валового азота и фосфора. Верхняя часть пахотного слоя сильно распылена, на долю агрономически ценных агрегатов приходится 30...50 %.

В сочетании с черноземами южными залегают черноземы обыкновенные малогумусные и солонцы. В отличие от солонцов лесостепи профиль степных солонцов менее отмыт от солей, поэтому преобладают солончаковые их разновидности, тип засоления хлоридно-сульфатный и сульфатно-хлоридный, а содержание гумуса в 2...3 раза ниже и в среднем составляет 3...5 %.

Почвы низкого уровня плодородия и с выраженными процессами засоления, осолонцевания, гидроморфизма переводят в залежь [17]. Залежные земли выделены на территории всех природно-климатических зон области, наибольшая их площадь установлена в подзоне центральной лесостепи, а минимальная – в южной (табл. 2).

Ранее проведенная оценка плодородия почв природных зон Омской области по методике Карманова И. И. показала, что почвы, формирующиеся в северной и центральной лесостепи, характеризуются более высоким уровнем плодородия, чем почвы южно-таежной лесной и степной зоны [18].

Оценка почвенного потенциала по методике [9] проведена для типов почв, составляющих основной пахотный фонд и получивших наибольшее распространение в Омской области (табл. 3). В южно-таежной лесной зоне почвенные ресурсы представлены почвами с очень низким и низким плодородием. К первым отнесены дерново-подзолистые (27 баллов), ко вторым – серые лесные, аллювиальные дерновые и луговые почвы (35...40 баллов).

Почвенный покров лесостепной зоны более разнообразен в отношении плодородия почв. Дерново-подзолистые почвы лесостепи по своим агрофизическим и агрохимическим свойствам вошли в группу почв с очень низким плодородием.

Группа почв с низким плодородием (34...38 баллов) включает солонцы и частично аллювиальные дерновые почвы. Средний уровень плодородия имеют темно-серые лесные, засоленные и солонцеватые разновидности черноземов обыкновенных, лугово-черноземных, черноземно-луговых, луговых и аллювиальных луговых

почв, их балл варьирует от 41 до 57. Максимальным количеством баллов, 60...67, оценены лугово-черноземные почвы, черноземы выщелоченные, обыкновенные и южные. Эти почвы отнесены к плодородным.

Плодородные почвы степной зоны с количеством баллов от 61 до 67 представлены черноземами обыкновенными, южными и лугово-черноземными почвами. Развитие процессов засоления, осолонцевания, переувлажнения в почвах черноземного ряда привело к снижению их плодородия до среднего уровня, а оценочного балла – до 41...56. Минимальный балл (34, 36) и низкое плодородие имеют лесостепные и степные солонцы.

В целом, почвенные ресурсы области представлены плодородными и со средним уровнем плодородия почвами. Оптимизировать агрономические свойства этих почв и повысить почвенный потенциал можно проведением агрохимических мероприятий и агротехнических приемов. Поэтому при выделении субсидий на развитие сельского хозяйства рекомендуется учитывать природно-ресурсный потенциал территорий. Финансирование должно быть выше для землепользований, расположенных в районах с низким природно-ресурсным потенциалом.

На земельной территории природных зон Омской области природно-ресурсный потенциал варьирует от пониженного в южно-таежной лесной зоне (38 баллов) до среднего в лесостепи и степи (41...44 баллов). Существенный вклад в итоговый природно-ресурсный потенциал степной зоны внес почвенный потенциал. Почвы лесостепи и степи имеют приблизительно одинаковые агрохимические и агрофизические свойства, поэтому разница в баллах между одним типом (подтипом) почв лесостепной и степной зоны составляет 1...2 балла. Агроклиматический потенциал степи существенно уступает северной и центральной подзоне лесостепи (на 0,9...1,8 балла) по влагообеспеченности.

Выводы. Наиболее благоприятные условия для земледелия складываются в лесостепной и степной зонах Омской области в связи с преобладанием в почвенном покрове этих территорий плодородных почв – черноземов выщелоченных, обыкновенных, южных и лугово-черноземных почв. Агроклиматические условия лесостепи, теплой и умеренно влажной зоны (ГТК 1,0...1,3) ближе к оптимальным для возделывания сельскохозяйственных культур, чем в степных районах, которые характеризуются умеренно жарким, но недостаточно влажным климатом (ГТК 0,9...1,0). Природно-ресурсный агропотенциал степи может быть реализован при оптимизации условий увлажнения почв путем оросительных мелиораций. Пониженный природно-ресурсный агропотенциал южно-таежной лесной зоны в большей степени связан с низким качеством дерново-подзолистых почв, составляющих ее основной пахотный фонд. Повысить уровень плодородия этих почв возможно посредством агротехнических и агрохимических приемов и мероприятий.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджетов Омского государственного аграрного университета имени П. А. Столыпина и Центра агрохимической службы «Омский». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство этим конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Районирование Дальнего Востока для оценки перспектив развития сельского хозяйства // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 4. С. 61–65.
2. Опыт оценки ущерба от деградации почв и земель муниципальных образований Российской Федерации / О. А. Макаров, Н. А. Марахова, В. С. Красильникова и др. // *Земледелие*. 2022. № 4. С. 3–7. doi: 10.24412/0044-3913-2022-4-3-7.
3. Kiryushin V. I. The goals of land optimization in Russia // *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2023. Vol. 116. P. 5–25. doi: 10.19047/0136-1694-2023-116-5-25.
4. The role of soils in land degradation assessment: a review / E. V. Tsvetnov, O. A. Makarov, O. B. Tsvetnova, et al. // *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54. No. 3. P. 441–447. doi: 10.31857/S0032180X21030163.
5. Kiryushin V. I. The management of soil fertility and productivity of agroecosystems in adaptive-landscape farming systems // *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52. No. 9. P. 1137–1145. doi: 10.1134/S1064229319070068.
6. Шпедт А. А., Ерунова М. Г., Злотникова В. В. Методика оценки природно-ресурсного потенциала агроландшафтов с использованием ГИС-технологий // *Земледелие*. 2023. № 8. С. 9–13. doi: 10.24412/0044-3913-2023-8-9-13.
7. Глазунов Г. П., Афонченко Н. В., Золотухин А. Н. Агроэкологическая оценка пахотных земель в склоновых агроландшафтах // *Земледелие*. 2022. № 2. С. 19–24.
8. Костин И. Г., Малышева Е. С. Мониторинг основных параметров плодородия почв с применением геоинформационных систем // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 96–101.
9. Шпедт А. А., Трубников Ю. Н. Методика оценки природно-ресурсного потенциала агроландшафтов России // *Живые и биокосные системы*. 2020. № 31. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-31/article-1> (дата обращения: 10.05.2024). doi: 10.18522/2308-9709-2020-31-1.
10. Система поддержки принятия решений по рациональному использованию природно-ресурсного потенциала в агроландшафтах ЦЧР / О. Г. Чуян, А. Н. Золотухин, Л. Н. Караулова и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 9. С. 5–12. doi: 10.53859/02352451_2022_36_9_5.
11. Агроклиматический справочник по Омской области / Глав. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Омское упр. гидрометеорол. службы. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 228 с.
12. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв / Л. Л. Шишов, Д. Н. Дурманов, И. И. Карманов и др. М.: Агропромиздат, 1991. 304 с.
13. Градобоев Н. Д., Прудникова В. М., Сметанин И. С. Почвы Омской области. Омск: Кн. изд-во, 1960. 374 с.
14. Мищенко Л. Н. Почвы Омской области и их сельскохозяйственное использование. Омск, 1991. 164 с.
15. Мищенко Л. Н., Прудникова В. М. Особенности почвенного покрова Омской области // *Почвы Западной Сибири и повышение их плодородия*. Омск: ОмСХИ, 1984. С. 3–12.
16. Градобоев Н. Д., Богданов Н. И. Агрохимическая характеристика почв Омской области // *Агрохимическая характеристика почв СССР (районы Западной Сибири)*. М.: Наука, 1968. С. 228–285.
17. Аксенова Ю. В., Гиндемит А. М. Состояние залежных земель степной зоны Омского Прииртышья и возможность их повторного введения в оборот // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 6. С. 37–44. doi: 10.31857/S2500262722060084.
18. Оценка почвенных ресурсов Омской области / Ю. В. Аксенова, А. А. Шпедт, В. М. Красницкий и др. // *Земледелие*. 2018. № 3. С. 14–18. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10302.

Поступила в редакцию 02.04.2024

После доработки 28.04.2024

Принята к публикации 14.05.2024

ВЛИЯНИЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ ПОВОЛЖЬЯ

© 2024 г. О. И. Горянин, доктор сельскохозяйственных наук, Б. Ж. Джангабаев, Е. В. Щербинина

Самарский Федеральный исследовательский центр РАН,
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова,
446254, Самарская обл., Безенчукский р-н, пос. Безенчук, ул. К. Маркса, 41
E-mail: gorjanin.oleg@mail.ru

Исследования проводили с целью выявления перспективных звеньев севооборота и элементов технологии возделывания озимой мягкой пшеницы в засушливых условиях Поволжья. Работу выполняли в 2021–2023 гг. в Самарской области на черноземе обыкновенном с содержанием гумуса 4,0...4,5 %, гидролизуемого азота – 60...70 мг/кг, подвижных фосфатов и калия (по Чирикову) – соответственно 170...200 мг/кг и 180...200 мг/кг почвы. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: предшественник (фактор А) – чистый пар, занятый пар (горох); элементы технологии (фактор В) – вспашка; вспашка + минеральные удобрения; без осенней обработки (фон); фон + биопрепарат; без осенней обработки под все культуры севооборота + удобрения; фон + удобрения; фон + удобрения + биопрепарат. Наиболее перспективным был вариант без осенней обработки с применением удобрений и биопрепарата, в котором урожайность зерна находилась на уровне варианта со вспашкой и внесением удобрений, а её увеличение, по сравнению с другими вариантами, по чистому пару составляло 0,13...0,63 т/га (2,8...15,3 %), по занятому – 0,12...0,83 т/га (3,4...29,5 %). В среднем по двум звеньям севооборота самая высокая эффективность энергозатрат отмечена в варианте без осенней обработки с применением биопрепарата – 5,48 ед., что на 0,15...0,33 ед. больше, чем без применения удобрений, и на 0,72...1,05 ед. по сравнению с вариантами с их внесением. По результатам проведенных исследований лучшими предшественниками озимой пшеницы следует считать горох и чистый ранний пар. При ресурсосберегающей технологии отказ от осенней обработки почвы целесообразно сочетать с внесением аммиачной селитры при возобновлении весенней вегетации (N_{40}) и биопрепарата Бионекс Кемп в конце кушения. В технологии без удобрений рекомендуется применять биопрепарат Бионекс Кемп в начале весенней вегетации пшеницы.

THE INFLUENCE OF PRECURSORS AND TECHNOLOGY ELEMENTS ON THE EFFICIENCY OF WINTER WHEAT CULTIVATION IN THE ARID CONDITIONS OF THE VOLGA REGION

O. I. Goryanin, B. J. Dzhangabaev, E. V. Shcherbinina

Samara Federal research center of the Russian Academy of Sciences,
Tulajkov Samara Research Institute of Agriculture,
446254, Samarskaya obl., Bezenchukskii r-n, pos. Bezenchuk, ul. K. Marksa, 41
E-mail: gorjanin.oleg@mail.ru

The research was carried out in order to identify promising links in crop rotation and technology elements in the cultivation of winter soft wheat in the arid conditions of the Volga region. The work was carried out in 2021–2023 in the Samara region on ordinary chernozem with a humus content of 4.0...4.5 %, hydrolyzable nitrogen – 60...70 mg/kg, mobile phosphates – 170...200 mg/kg, potassium – 180...200 mg/kg of soil (according to Chirikov). In 2021–2023, the following factors and options for cultivating Basis winter wheat were studied: precursor (factor A) – fallow land, seeded with peas (Volzhanin); elements of technology (factor B) – plowing with and without mineral fertilizers; without autumn tillage (Background), Background + biological product, Background (for all crops of crop rotation) + fertilizers, Background + fertilizers, Background + fertilizers + biological product. The prospects of the option without autumn tillage with the use of fertilizers and a biological product providing grain yield at the level of the option with plowing and fertilization, and its increase, compared with other options for fallow land by 0.13...0.63 t/ha (2.8...15.3 %), for cultivated by – 0.12...0.83 t/ha were revealed (3.4...29.5 %). On average, for two parts of the crop rotation, the highest energy efficiency was established for the variant without autumn tillage and with the use of a biological product of 5.48 units, which is 0.15...0.33 units more than without the use of fertilizers and 0.72...1.05 units more than in fertilizer-intensive options. Based on the research conducted in the cultivation of winter wheat, the best precursors are peas and fallow land. With resource-saving technology, using the option without autumn tillage with the addition of ammonium nitrate at the resumption of spring vegetation (N_{40}) and Bionex Kemi product at the end of tillering is advised. In the technology without fertilizers, it is recommended to use Bionex Kemi product at the beginning of the spring growing season of wheat.

Ключевые слова: озимая пшеница (*Triticum aestivum*), предшественники, урожайность, экономическая и энергетическая эффективность.

Keywords: winter wheat (*Triticum aestivum*), precursors, yield, economic and energy efficiency.

Мягкая пшеница – востребованная культура. Многочисленные опыты доказывают, что возделывание озимой пшеницы в европейской части России в связи с улучшившимися погодными условиями гораздо эффективнее яровой [1, 2]. В засушливых условиях, где погода оказывает существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, основным предшествен-

ником озимых культур служат чистые черные и ранние пары [3, 4], поскольку этот предшественник к посеву озимой пшеницы способствует улучшению водного, питательного и фитосанитарного режима почвы, по сравнению с посевами, которые размещали по непаровому предшественнику, что обеспечивает устойчивое производство. Однако чистые пары имеют и ряд недостатков.

16

Внесение аммиачной селитры при возделывании по чистому пару на варианте со вспашкой не обеспечивало увеличения урожайности, по сравнению с контролем. На фоне без осенней обработки улучшение минерального питания растений способствовало увеличению урожайности зерна на 0,14...0,17 т/га (7,8...9,4 %).

При возделывании пшеницы по занятому пару, в отличие от чистого, в 2021 г. выявлено существенное увеличение урожайности от весенней подкормки азотными удобрениями. В варианте с ежегодной вспашкой в севообороте прибавка от этого агроприёма составила 0,20 т/га (24,4 %), а в варианте без осенней обработки она возросла до 0,28...0,37 т/га (35,9...47,4 %).

В благоприятных условиях для роста и развития пшеницы 2022 г. получена максимальная урожайность озимой пшеницы за анализируемые годы: по чистому пару – 6,59...7,75 т/га, занятому – 4,54...5,86 т/га. При этом выявлены существенные изменения величины показателя в зависимости от изучаемых элементов технологии.

При анализе способов основной обработки почвы установлено преимущество вариантов с ежегодной вспашкой в севообороте. На естественном по плодородию фоне прибавка урожайности зерна в пользу интенсивной обработки почвы по чистому пару была на уровне 0,54 т/га (8,2 %), занятому – 0,41 т/га (9,0 %). При применении удобрений по чистому пару преимущество варианта со вспашкой снижалось до 0,36...0,53 т/га. При выращивании культуры по занятому пару в условиях 2022 г. в удобренных вариантах не выявлено изменения урожайности зерна в зависимости от способов основной обработки почвы.

Внесение азотных удобрений в благоприятных условиях 2022 г. значительно увеличивало урожайность зерна. В вариантах со вспашкой по чистому пару прибавка от этого агроприёма составила 0,62 т/га (8,7 %), занятому – 0,78 т/га (15,8 %). В вариантах без осенней обработки почвы возрастание урожайности зерна пшеницы от подкормки аммиачной селитрой по чистому пару составило 0,63...0,80 т/га (9,6...12,1 %), по занятому – 1,02...1,16 т/га (22,5...25,6 %).

В условиях 2022 г. выявлена существенная прибавка урожайности не только от применения минеральных удобрений, но и от обработки посевов в конце кушения биопрепаратом. В варианте без осенней обработки по чистому пару она находилась на уровне 0,60 т/га (9,1 %), по занятому – 0,18 т/га (4,0 %).

Комплексное применение азотного удобрения и биопрепарата в варианте без осенней обработки способствовало увеличению урожайности по чистому пару на 0,87 т/га (13,2 %), по занятому – 1,32 т/га (29,1 %).

В засушливых условиях 2023 г. (ГТК за вегетацию – 0,57) получена высокая урожайность озимой пшеницы по чистому пару – 3,96...4,74 т/га, по занятому – 3,12...4,04 т/га. В исследованиях не установлено изменения урожайности озимой пшеницы в зависимости от способов основной обработки почвы при возделывании по чистому пару. При выращивании культуры по занятому пару выявлено преимущество вариантов со вспашкой, по сравнению с вариантами, где не проводилась основная обработка почвы, которое на неудобренном фоне составило 0,47 т/га (15,1 %), на удобренном – 0,13...0,31 т/га (3,3...8,9 %).

Возделывание пшеницы по чистому пару, вследствие увеличения продуктивного стеблестоя, обеспечивало возрастание урожайности, по сравнению с пшеницей по занятому пару, при вспашке на 0,55...0,70 т/га (15,3...17,3 %), в вариантах без

осенней обработки преимущество в пользу чистого пара увеличилось до 0,73...0,92 т/га (19,4...28,2 %).

Внесение азотных удобрений, как и в 2022 г., существенно увеличивало урожайность зерна. В варианте со вспашкой по чистому пару прибавка составила 0,60 т/га (14,5 %), по занятому – 0,45 т/га (12,5 %).

В вариантах, где основную обработку почвы не проводили, отзывчивость от удобрений в 2022 году была на уровне с вспашкой. Применение биопрепарата увеличивало урожайность по чистому пару на 0,22 т/га (5,6 %), по занятому – 0,14 т/га (4,5 %). Прибавка урожайности от азотных удобрений, главным образом благодаря увеличению густоты продуктивного стеблестоя, по чистому пару возрастала до 0,54...0,55 т/га (13,6...13,9 %), совместного действия удобрений и биопрепарата до 0,74 т/га (18,7 %). По занятому пару преимущество удобренных вариантов было выше и составило 0,59...0,65 т/га (18,9...20,8 %), при комплексном применении удобрений прибавка увеличилась до 0,79 т/га (25,3 %).

В среднем за 2021–2023 гг., благодаря значениям 2022 г., выявлена высокая для региона урожайность зерна озимой пшеницы, которая по чистому пару составила 4,12...4,86 т/га, по занятому – 2,81...3,64 т/га.

Как в 2021 и 2022 гг., на естественном по плодородию фоне выявлено увеличение урожайности в варианте со вспашкой на 0,31 т/га (11,0 %), по сравнению с вариантом без осенней обработки почвы. Применение аммиачной селитры снижало разницу по урожайности в зависимости от способов основной обработки до незначительных значений.

Внесение азотных удобрений способствовало значительному увеличению урожайности. В варианте со вспашкой прибавка при возделывании по чистому пару, по сравнению с контролем, составила 0,43 т/га (9,7 %), по занятому – 0,48 т/га (15,4 %).

В вариантах без осенней обработки почвы подкормка аммиачной селитрой, улучшая элементы структуры урожая, обеспечивала увеличение урожайности зерна по чистому пару на 0,43...0,50 т/га (10,4...12,1 %), по занятому она возросла до 0,53...0,71 т/га (22,4...25,3 %).

Применение биопрепарата в среднем за три года способствовало достоверному увеличению урожайности пшеницы по чистому пару на 0,29 т/га (7,0 %), по занятому разница между вариантами была незначительной – 0,12 т/га (4,3 %).

При возделывании гороха в среднем за 2020–2022 гг. урожайность зерна составила 1,97...2,44 т/га. В исследованиях установлено увеличение урожайности от последовательных сложных удобрений. В варианте со вспашкой прибавка была на уровне 0,19 т/га (8,5 %), в вариантах без осенней обработки – 0,28...0,37 т/га (14,2...18,8 %), при НСР₀₅ – 0,14 т/га. Прибавка от последовательных удобрений и внесения биопрепарата составила 0,47 т/га (23,9 %).

В условиях нестабильной экономики основным показателем оценки эффективности сельскохозяйственного производства выступает расчёт энергетической эффективности.

При расчете энергии, накопленной хозяйственно-ценной частью урожая, как и стоимости продукции, установлено, что наибольшие в опыте значения показателя при возделывании пшеницы по чистому пару получены в 2022 г., которые существенно изменялись в зависимости от элементов технологии и составили в вариантах со вспашкой 94,90...103,15 ГДж/га, в вариантах без осенней обработки почвы – 87,71...99,29 ГДж/га. При возделывании пшеницы по занятому пару энергия, накопленная урожаем из-за низкой продуктивности

гороха в 2021 г., по сравнению со звеном чистый пар – озимая пшеница, в вариантах со вспашкой снижалась на 7,35...11,01 ГДж/га, в вариантах без осенней обработки – на 5,85...16,17 ГДж/га. В вариантах без осенней обработки и внесении удобрений разница по энергии, накопленной урожаем, в зависимости от звеньев севооборота не выявлена.

Наименьшая за годы исследований энергия, накопленная урожаем, установлена в 2021 г. При возделывании по чистому пару она составила 27,02...27,82 ГДж/га (варианты вспашки) и 23,96...27,82 ГДж/га (варианты без осенней обработки почвы). При возделывании по занятому пару накопленная энергия увеличивалась до 40,58...47,42 ГДж/га (вспашка) и 37,26...48,02 ГДж/га (варианты без обработки).

В среднем за годы исследований, накопленная энергия при возделывании пшеницы по чистому пару составила 58,96...64,69 ГДж/га (вспашка) и 54,84...63,22 ГДж/га (варианты без обработки). В звене севооборота с занятым паром, за счёт значений, полученных в 2021 и 2023 гг., установлено увеличение накопленной энергии, по сравнению с паровым звеном на 10,84...13,91 ГДж/га (вспашка), 7,54...16,17 ГДж/га (варианты без осенней обработки) (см. табл. 2).

Табл. 2. Энергетическая эффективность элементов технологии возделывания озимой пшеницы, ГДж/га (среднее за 2021–2023 гг.)

Предшественник (фактор А)	Элементы технологии (фактор В)	Энергия, накопленная хозяйственной частью урожая	Энергия, израсходованная на возделывание сельскохозяйственных культур	Коэффициент энергетической эффективности
Пар	вспашка	58,96	9,50	6,21
	вспашка + удобрения	64,69	13,16	4,92
	без обработки (фон)	54,84	7,97	6,88
	фон + биопрепарат	58,70	8,22	7,14
	фон + удобрения	61,49	11,64	5,28
	фон + удобрения	60,56	11,64	5,20
	фон + удобрения + биопрепарат	63,22	11,88	5,32
Горох	среднее	60,43	10,57	5,72
	вспашка	69,80	15,47	4,51
	вспашка + удобрения	78,60	19,18	4,10
	без обработки (фон)	62,38	14,02	4,45
	фон + биопрепарат	64,87	14,34	4,52
	фон + удобрения	74,32	17,77	4,18
	фон + удобрения	76,57	17,78	4,31
Среднее	фон + удобрения + биопрепарат	79,39	18,10	4,39
	среднее	72,19	16,67	4,33
	вспашка	64,38	12,49	5,15
	вспашка + удобрения	71,65	16,17	4,43
	без обработки (фон)	58,61	11,00	5,33
	фон + биопрепарат	61,79	11,28	5,48
	фон + удобрения	67,91	14,71	4,62
	фон + удобрения	68,57	14,71	4,66
	фон + удобрения	71,31	14,99	4,76
	фон + удобрения + биопрепарат			
	среднее	66,32	13,62	4,87

При оценке совокупной энергии, израсходованной на возделывание озимой пшеницы, установлены существенные колебания в зависимости от изучаемых вариантов и предшественников. При возделывании пшеницы по чистому пару совокупная энергия составила 7,97...13,16 ГДж/га, при выращивании по гороху – увеличивались на 5,97...6,22 ГДж/га.

Увеличение израсходованной энергии в вариантах с внесением удобрений связано с существенным

увеличением затрат на производство минеральных удобрений. На эту статью расходов в среднем по паровому звену севооборота приходилось 26,4 % (вариант со вспашкой) от общей совокупной израсходованной энергии, в вариантах без осенней обработки доля затрат по этой статье возрастала до 29,2...29,8 %.

Увеличение совокупной энергии на возделывание культур не окупилось прибавкой энергии, накопленной в урожае, в результате наибольшая эффективность энергозатрат в среднем по паровому звену установлена в вариантах без осенней обработки (без удобрений) и с применением биопрепарата – 6,88...7,14, что на 0,67...2,22 ед. больше контроля и остальных изучаемых вариантов. При более высоких затратах совокупной энергии в звене горох – озимая пшеница, по сравнению с паровым звеном, эффективность энергозатрат снижалась на 0,82...2,62 ед. При этом наибольшие значения эффективности установлены в варианте без осенней обработки с применением биопрепарата и в контроле – 4,51...4,52, что на 0,06...0,42 ед. больше остальных изучаемых вариантов.

Выводы. Перспективный вариант возделывания озимой пшеницы предусматривает отказ от осенней обработки с применением удобрений и внесением биопрепарата в зернопаропропашном и зернопропашном севооборотах. Урожайность зерна при этом, в среднем за три года, не снижалась, по сравнению со вспашкой в сочетании с внесением удобрений, и увеличивалась, по сравнению с другими вариантами по чистому пару на 0,13...0,63 т/га (2,8...15,3 %), по занятому – на 0,12...0,83 т/га (3,4...29,5 %).

Наибольшая в опыте эффективность энергозатрат в среднем в паровом звене установлена в вариантах без осенней обработки (без удобрений) с применением биопрепарата – 6,88...7,14, что на 0,67...2,22 ед. больше, чем в контроле и вариантах с внесением минеральных удобрений. В зерновом звене, по сравнению с паровым, эффективность энергозатрат снижалась на 0,82...2,62 ед. Наибольшие величины этого показателя установлены в контроле и вариантах без осенней обработки (фон) с применением биопрепарата – 4,45...4,52. Дополнительные затраты энергии на производство минеральных удобрений не окупались прибавкой урожая, в результате коэффициент энергетической эффективности при их использовании снижался, по сравнению с лучшими вариантами, на 0,16...0,42 ед. В среднем по двум звеньям севооборота наибольшая эффективность энергозатрат отмечена в варианте без осенней обработки с применением биопрепарата – 5,48 ед., что на 0,15...0,33 ед. больше, чем без удобрений, и на 0,72...1,05 ед., по сравнению с интенсивными по внесению удобрений вариантами.

Возделывание озимой пшеницы целесообразно по гороху и чистому раннему пару. При ресурсосберегающей технологии рекомендуется применять вариант без осенней обработки почвы с внесением аммиачной селитры при возобновлении весенней вегетации (N_{40}) и биопрепарата Бионекс Кеми в конце кушения. Для повышения эффективности энергозатрат можно возделывать озимую пшеницу без осенней обработки с применением биопрепарата в фазе кушения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета Самарского Федерального исследовательского центра РАН, Самарского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство этим конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Стукалов Р. С. Эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от технологий в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 2 (6). С. 107–121.
2. Эффективность применения удобрений в засушливых условиях Поволжья / О. И. Горянин, С. В. Обущенко, Б. Ж. Джангабаев и др. // Земледелие. 2020. № 8. С. 29–33.
3. Хакимов Р. А., Хакимова Н. В. Влияние предшественников и подкормки озимой пшеницы в разные сроки ее вегетации на формирование урожая и качество // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3 (59). С. 48–57.
4. Сабитов М. М. Экономическая эффективность технологий возделывания культур в зернопаровом севообороте // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 2. С. 13–18.
5. Оцелесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России / А. Л. Иванов, В. В. Кулинцев, В. К. Дридигер и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 4. С. 8–16.
6. Influence of traditional technology and direct sowing the winter wheat on agrophysical factors of fertility the dark chestnut soils / I. A. Volters, O. I. Vlasova, V. M. Perederieva, et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. No. 4. P. 718–726.
7. Ивенин А. В., Богомолова Ю. А., Саков А. П. Экономическая эффективность выращивания зерновых культур в зависимости от систем обработки почвы и применения удобрений // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 22–27.
8. Эффективность посева без основной обработки почвы в плодосменном и зернопаровом севооборотах центрального лесостепного Зауралья / С. Д. Гилев, И. Н. Цымбаленко, А. Н. Копылов и др. // Земледелие. 2021. № 6. С. 3–8.
9. Продуктивность агроценозов и качество зерна пшеницы в зависимости от обработки почвы и средств интенсификации / В. И. Усенко, С. В. Усенко, В. П. Олешко и др. // Земледелие. 2018. № 8. С. 30–33.
10. Agrotechnological Fundamentals of Direct Sowing of Grain Crops in Russia's Arid Conditions / O. I. Goryanin, S. N. Zudilin, I. F. Medvedev, et al. // Revista geintecgestao inovacao e tecnologias. 2021. Vol. 11 No. 2. P. 204–215.
11. Коринец В. В., Козловцев А. Ф., Козенко З. Н. Энергетическая эффективность возделывания сельскохозяйственных культур: метод. рек. Волгоград: Волгоградский СХИ, 1985. 30 с.

Поступила в редакцию 12.04.2024

После доработки 28.04.2024

Принята к публикации 14.05.2024

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕЖИМЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ САЖЕНЦЕВ ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР В ЦЕНТРАЛЬНОМ НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ

© 2024 г. Н. Н. Дубенок, академик РАН, А. В. Гемонов, кандидат сельскохозяйственных наук, А. В. Лебедев, доктор сельскохозяйственных наук

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева,
127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: ndubenok@rgau-msha.ru

Актуальная задача при производстве саженцев плодовых и ягодных культур – совершенствование технологий выращивания посадочного материала, в том числе с применением орошения. В последние годы в мировой практике отдается предпочтение экологически безопасным технологиям орошения, к которым относится капельный полив. Цель исследований – разработка научно-обоснованных режимов орошения при капельном поливе саженцев плодовых (слива, вишня, груша, яблоня) и ягодных (малина) культур в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России. Работу проводили в период с 2011 по 2022 гг. Полевые опыты по выращиванию однолетних, двухлетних и трехлетних саженцев закладывали в трехкратной повторности по следующей схеме: контроль (без орошения), поддержание влажности корнеобитаемого слоя в диапазоне 60...80 % наименьшей влагоемкости (НВ), 70...90 % НВ, 80...100 % НВ. Разработанные режимы капельного орошения саженцев плодовых и ягодных культур позволяют сократить межполивной период в среднем до 2...9 дней с поливом малыми нормами (в среднем 35,3...49,5 м³/га) в зависимости от предполивного порога (60, 70 и 80 % НВ) и увлажненности вегетационного периода, а также обеспечивают поддержание влажности корнеобитаемого слоя почвы в заданных диапазонах. При капельном поливе саженцев основная доля в суммарном водопотреблении приходится на поступление влаги с осадками (64 %) и оросительной нормой (24 %). В целом оно увеличивается с ростом накопленных среднесуточных температур. Наибольшая интенсивность водопотребления отмечена в первые декады вегетационного периода, к его окончанию величина этого показателя снижалась.

WATER CONSUMPTION AND DRIP IRRIGATION REGIMES OF SEEDLINGS OF FRUIT AND BERRY CROPS IN THE CENTRAL NON-CHERNOZEM REGION

N. N. Dubenok, A. V. Gemonov, A. V. Lebedev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
127434, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: ndubenok@rgau-msha.ru

Current tasks in the production of seedlings of fruit and berry crops include improving technologies for growing planting material, including the use of irrigation. Currently, in world practice, the preference is given to environmentally friendly irrigation technologies, which include drip irrigation. The purpose of the research is to develop a scientifically based irrigation regime for drip watering of seedlings of fruit (plum, cherry, pear and apple) and berry (raspberry) crops in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone of the Central Russia. Research to substantiate drip irrigation regimes and study the water consumption of seedlings was carried out in the Michurinsky Garden of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy from 2011 to 2022. Field experiments on growing one-year-old, two-year-old and three-year-old seedlings were carried out in triplicate according to the following options: 1) control (without irrigation), 2) maintaining the moisture content of the root layer in the range of 60...80 % of the lowest moisture capacity, 3) 70...90 % of the lowest moisture capacity, and 4) 80...100 % of the lowest moisture capacity. The developed drip irrigation regimes for seedlings of fruit and berry crops make it possible to reduce the inter-irrigation period to an average of 2...9 days with low watering rates (on average 35.3...49.5 m³ per ha) depending on the pre-irrigation threshold (60, 70 and 80 % of the lowest moisture capacity) and moisture content of the growing season, and also ensure maintenance of the moisture content of the root layer of soil in specified ranges. When drip irrigation of seedlings, the main share in the total water consumption comes from moisture from precipitation (64 %) and irrigation rate (24 %).

Ключевые слова: капельное орошение, режим орошения, плодовой питомник, саженцы.

Keywords: drip irrigation, irrigation regime, fruit nursery, seedlings.

Развитие отечественного садоводства невозможно без производства собственного высококачественного посадочного материала, а также совершенствования технологий выращивания саженцев плодовых и ягодных культур [1]. Важным условием эффективности отрасли выступает проведение планомерной замены старых насаждений на новые, так как резкие колебания в производстве продукции по годам имеют отрицательное влияние на экономику садоводства [2]. По экспертным оценкам [3, 4] в России должно быть не менее 10 тысяч питомников. На начало 2019 г. в Российской Федерации насчитывался 1221 питомник по выращиванию посадочного материала. Наибольшее количество питомников сосредоточено в Центральном (34 %) и При-

волжском (22 %) федеральных округах. Для проведения закладки садовых насаждений в минимальных объемах (10...12 тыс. га) необходимо выращивать около 15 млн саженцев в год [5]. В 2022 г. в среднем по России доля импортного посадочного материала составила 30 % [6]. Импортируемый посадочный материал не всегда соответствует требованиям качества и не всегда адаптирован к почвенно-климатическим условиям регионов закладки плодово-ягодных насаждений [7].

К актуальным задачам в производстве саженцев плодовых и ягодных культур относится совершенствование технологий выращивания посадочного материала. Важное значение в питомниководстве имеет орошение, применяемое как в зоне недостаточного или неустойчивого

увлажнения, так и в зоне с достаточным увлажнением, где в течение вегетации могут возникать периоды с недостатком поступающей влаги [8, 9]. В последние годы в мировой практике отдается предпочтение применению экологически безопасных технологий орошения, учитывающих особенности водопотребления растений, а также обеспечивающих подачу растворенных в воде питательных веществ непосредственно к корневой системе [10, 11, 12]. К таким способам полива относится капельное орошение, которое находит широкое применение при выращивании плодовых и ягодных культур [13, 14]. Об актуальности темы свидетельствует большое количество проводимых отечественных [15, 16] и зарубежных исследований [17, 18], посвященных разработке технологий капельного орошения, изучению почвенных показателей, роста плодовых и ягодных растений.

Цель исследований – разработка научно-обоснованных режимов капельного полива саженцев плодовых (слива, вишня, груша, яблоня) и ягодных (малина) культур в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России.

Методика. Исследования по обоснованию режимов капельного орошения и изучению водопотребления саженцев косточковых (слива и вишня), семечковых (груша и яблоня) и ягодных (малина) культур проводили в условиях Мичуринского сада Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева в период с 2011 по 2022 гг. Полевые опыты по выращиванию однолетних, двухлетних и трехлетних саженцев закладывали в трехкратной повторности по следующей схеме: контроль (без орошения), поддержание влажности корнеобитаемого слоя в диапазоне 60...80 % наименьшей влагоемкости (НВ), 70...90 % НВ и 80...100 % НВ. Исследования проводили для сортов сливы Машенька и Утро (подвой алычи), вишни Молодежная и Волочаевка (клоновый подвой ВСЛ-2), груши Памяти Яковлева, Чижовская и Осенняя Сусова (подвой груша уссурийская), яблони Белый налив и Медунца (на клоновых полукарликовых (среднерослых) подвоях 54–118 селекции МичГАУ), малины Награда и Солнышко.

За годы проведения исследований средняя суточная температура атмосферного воздуха за вегетационный период (май–сентябрь) составила 16,7 °С, среднее месячное количество осадков – 107,1 мм. Почва опытного участка – дерново-среднеподзолистая со слабокислой реакцией среды пахотного слоя. По обеспеченности легкогогидролизиремым азотом, подвижным фосфором и калием характеризуется как хорошо обеспеченная. Оросительные нормы принимали по полученным опытным данным режимов капельного орошения. Влажность почвы по вариантам опыта определяли термостатно-весовым методом. Почвенные образцы для определения влажности отбирали один раз в три дня или чаще в случае выпадения осадков или проведения поливов. Суммарное водопотребление саженцев определяли, исходя из основных статей прихода влаги, входящих в уравнение водного баланса: оросительная норма, приход влаги от осадков, подпитывание грунтовыми водами, использование почвенной влаги. Для статистической обработки экспериментальных данных использовали регрессионный анализ (при $p = 0,05$) с проведением расчетов в Microsoft Office Excel.

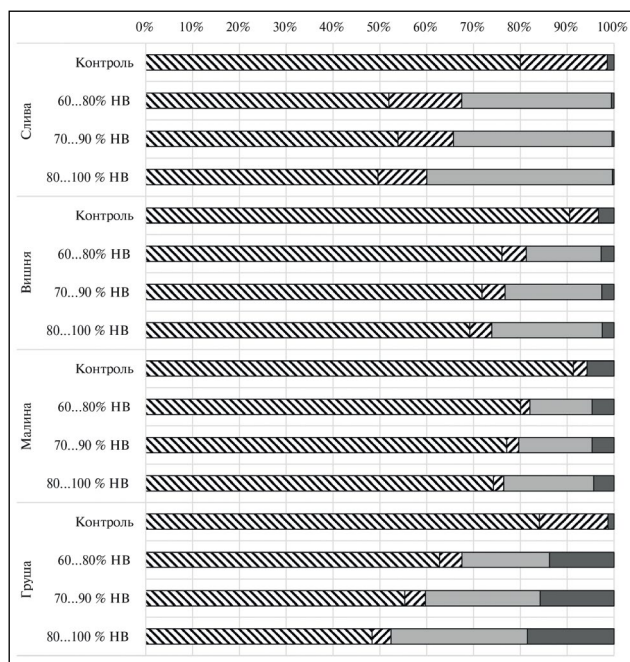
Результаты и обсуждение. Разработанные режимы капельного орошения позволяют сократить межполивной период в среднем до 2...9 дней с поливом малыми нормами (в среднем 35,3...49,5 м³/га) в зависимости от предполивного порога (60, 70 и 90 % НВ) и увлажнен-

Табл. 1. Параметры режимов капельного орошения саженцев плодовых и ягодных культур

Поддерживаемая влажность почвы, % НВ	Год исследования	Оросительная норма, м³/га	Средняя поливная норма, м³/га	Число поливов	Межполивной период, дни
Слива					
60...80	2018	705	37,1	19	6
	2019	593	45,6	13	9
	2020	460	51,1	9	13
70...90	Среднее	624	44,6	14	9
	2018	892	38,8	23	5
	2019	861	45,3	19	6
80...100	2020	697	53,6	13	9
	Среднее	826	45,9	18	7
	2018	953	38,1	25	5
	2019	960	45,7	21	6
	2020	903	53,1	17	7
	Среднее	958	45,6	21	6
Вишня					
60...80	2021	858	39,0	22	5
	2022	392	43,6	9	13
	2023	661	47,2	14	9
70...90	Среднее	650	43,3	15	8
	2021	1069	39,6	27	4
	2022	556	42,8	13	9
80...100	2023	895	47,1	19	6
	Среднее	864	43,2	20	6
	2021	1221	39,4	31	4
	2022	612	43,7	14	9
	2023	1165	46,6	25	5
	Среднее	994	43,2	23	5
Малина					
60...80	2020	598	35,2	17	7
	2021	828	41,4	20	6
	2022	510	42,5	12	10
70...90	Среднее	635	39,7	16	8
	2020	697	36,7	19	6
	2021	1115	42,9	26	5
80...100	2022	624	44,6	14	9
	Среднее	828	41,4	20	6
	2020	816	37,1	22	5
	2021	1422	43,1	33	4
	2022	623	44,5	14	9
	Среднее	957	41,6	23	5
Груша					
60...80	2011	1102	32,4	34	3
	2012	843	33,7	25	4
	2013	716	39,8	18	6
70...90	Среднее	918	35,3	26	4
	2011	1513	32,9	46	2
	2012	1306	37,3	35	3
80...100	2013	1014	39,0	26	4
	Среднее	1310	36,4	36	3
	2011	2129	34,9	61	2
	2012	1847	39,3	47	2
	2013	1318	41,2	32	3
	Среднее	1810	38,5	47	2
Яблоня					
60...80	2011	1363	41,3	33	3
	2012	731	45,7	16	5
	2013	748	57,5	13	7
70...90	Среднее	1012	48,2	21	5
	2011	1665	40,6	41	2
	2012	1482	49,4	30	3
	2013	1463	58,5	25	4
	Среднее	1584	49,5	32	3

ности вегетационного периода, а также обеспечивают поддержание влажности корнеобитаемого слоя почвы в заданных диапазонах, предотвращая резкие колебания влажности из-за ее периодического иссушения и переувлажнения (табл. 1).

На параметры режимов капельного орошения во все годы проведения исследований оказывали влияние равномерность распределения осадков на протяжении вегетационного периода и глубина промачивания почвы при поливе. Отдельные параметры режимов взаимосвязаны



Структура суммарного водопотребления саженцев плодовых и ягодных культур в зависимости от влажности корнеобитаемого слоя почвы: ▨ – приход влаги; ▤ – использование почвенной влаги; ■ – оросительная норма; □ – подпитывание грунтовыми водами.

между собой. При увеличении количества поливов происходит закономерное снижение межполивного интервала. С увеличением поддерживаемой влажности корнеобитаемого слоя также увеличивается оросительная норма, так как требуется большее количество воды. Повышение поливной нормы и количества поливов приводит к увеличению оросительной нормы.

В контрольных вариантах опытов для всех плодовых и ягодных культур наибольший вклад в суммарное водопотребление вносил приход влаги от осадков: для сливы – 80 %, для вишни – 91 %, для малины – 91 %, для груши – 84 % (см. рисунок). В орошаемых вариантах опытов приход влаги от осадков в среднем составлял 64 %. В вариантах опытов с капельным орошением вклад оросительной нормы в суммарное водопотребление повышался с увеличением предполивного уровня влажности почвы: в среднем по культурам при 60...80 % НВ ее доля составляла от 13 до 32 %, при 70...90 % НВ – от 16 до 34 %, при 80...100 % НВ – от 19 до 36 %. То есть, независимо от выращиваемых в питомниках Центральной Нечерноземной зоны России плодовых и ягодных культур, основная доля суммарного водопотребления приходилась на осадки (в среднем 64 %) и оросительную норму (в среднем 24 %). Подпитывание

грунтовыми водами (в среднем 6 %) и использование почвенной влаги (в среднем 6 %) вносили гораздо меньший вклад в суммарное водопотребление саженцев плодовых и ягодных культур.

Обработка данных полевых опытов позволила получить двухфакторные регрессионные зависимости суммарного водопотребления саженцев за вегетационный период от предполивной влажности почвы (60, 70 и 80 % НВ) и накопленной суммы среднесуточных температур воздуха. Коэффициенты детерминации (R^2) уравнений составляют от 0,916 до 0,987, а стандартная ошибка – от 139,6 до 400,9 (табл. 2).

Согласно полученным уравнениям регрессии суммарное водопотребление саженцев плодовых и ягодных культур увеличивается с ростом накопленных среднесуточных температур. Наибольшей интенсивностью оно характеризуется в первые декады вегетационного периода, снижаясь к его окончанию. Это связано с биологическими особенностями формирования и роста саженцев, которые характеризуются наиболее интенсивным приростом в период с конца мая по начало июля. Положительные коэффициенты в регрессионных уравнениях перед переменной предполивной влажности воздуха свидетельствуют об увеличении суммарного водопотребления с повышением предполивной влажности почвы.

Выводы. Разработанные режимы капельного орошения саженцев плодовых и ягодных культур позволяют сократить межполивный период в среднем до 2...9 дней с поливом малыми нормами (в среднем 35,3...49,5 м³/га) в зависимости от предполивного порога (60, 70 и 80 % НВ) и увлажненности вегетационного периода, а также обеспечивают поддержание влажности корнеобитаемого слоя почвы в заданных диапазонах. При капельном поливе саженцев основная доля в суммарном водопотреблении приходится на поступление влаги с осадками (64 %) и оросительной нормой (24 %), подпитывание грунтовыми водами (6 %) и использование почвенной влаги (6 %) вносят значительно меньший вклад.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Трухачев В. И., Есаулко А. Н., Айсанов Т. С. Анализ состояния отрасли питомниководства плодово-ягодных культур на юге России и перспективы ее развития // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 2 (38). С. 164–170.
2. Соколов О. В. Современный уровень интенсификации садоводства в сельскохозяйственных предприятиях Тамбовской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2012. № 4. С. 125–129.
3. Винтер М. А., Щербаков Н. А. Производство посадочного материала плодовых культур в России: проблемы и решения // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2018. № 52 (4). С. 42–49.
4. Рыкова И. Н., Аксенов С. С., Губанов Р. С. Проблемы и перспективы развития садоводства и виногра-

Табл. 2. Зависимость суммарного водопотребления саженцев за вегетационный период от предполивной влажности и суммы среднесуточных температур воздуха

Культура	Коэффициенты уравнения*				R ²	SE
	y=a+bx+cx ² +dz					
	a	b	c	d		
Слива	-1590,27454	1,62871	-0,00012	17,05524	0,968	202,7
Вишня	-865,38095	2,14325	-0,00022	6,74335	0,928	361,9
Малина	-1254,72594	2,78731	-0,00042	8,25073	0,916	400,9
Груша	-1508,99131	1,86165	-0,00017	19,06288	0,987	139,6
Яблоня	-1899,27119	2,05024	-0,00027	27,52540	0,984	166,4

* y – суммарное водопотребление, м³/га; x – сумма среднесуточных температур воздуха, °С; z – предполивная влажность, % НВ; R^2 – коэффициент детерминации; SE – стандартная ошибка.

- дарства в России // Вестник Института дружбы народов Кавказа (Теория экономики и управления народным хозяйством). Экономические науки. 2019. № 4 (52). С. 56–66.
5. Анализ состояния и перспективные направления развития питомниководства и садоводства: науч. аналит. обзор / В. Ф. Федоренко, Н. П. Мишуrow, О. В. Кондратьева и др. М.: ФГБНУ «Росинформгротех», 2019. 88 с.
 6. Кузичева Н. Ю. Стратегические проблемы развития садоводства России // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (72). С. 142–146.
 7. Иценко Н. В. Вызовы и угрозы развития садоводства России // Экономический обзор. 2020. № 9–10 (9). С. 3–6.
 8. Сторчоус В. Н. Орошение плодового питомника // Система садоводства Республики Крым / ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Академия биоресурсов и природопользования. Симферополь: Издательство Типография «Ариал», 2016. С. 184–185.
 9. Дубенок Н. Н., Гемонов А. В., Лебедев А. В. Водопотребление малины при капельном орошении в условиях Центрального Нечерноземья // Природообустройство. 2023. № 2. С. 6–14. doi: 10.26897/1997-6011-2023-2-6-14.
 10. Болкунов А. И., Курапина Н. В. Малообъемное орошение многолетних насаждений и питомников // Евразийский союз ученых. 2014. № 5–6 (5). С. 9–11.
 11. Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China / P. Yang, L. Wu, M. Cheng, et al. // Water. 2023. Vol. 15. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/9/1733> (дата обращения: 15.02.2024). doi: 10.3390/w15091733.
 12. Effects of different drip irrigation modes on water use efficiency of pear trees in Northern China / L. Wang, W. Wu, J. Xiao, et al. // Agricultural Water Management. 2021. Vol. 245. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377420322046> (дата обращения: 15.02.2024). doi: 10.1016/j.agwat.2020.106660.
 13. Боровой Е. П., Кременской В. И., Иванютин Н. М. Капельное орошение как основа развития плодородства на юге Российской Федерации // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 4 (44). С. 246–255.
 14. Научно-обоснованный режим орошения малины при капельном поливе в условиях Центрального Нечерноземья / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов, А. В. Лебедев и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 2. С. 3–6. doi: 10.31857/S2500262723020011.
 15. Кружилин И. П., Никольская О. А. Преимущества сочетания капельного орошения с ростостимулирующими подкормками при выращивании однолетних саженцев черешни // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 3. С. 8–13. doi: 10.31857/S2500262722030024.
 16. Овчинников А. С., Шуравилин А. В., Бородачев В. В. Режим орошения и водопотребление земляники // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 4 (24). С. 7–13.
 17. Effects of four irrigation regimes on yield, fruit quality, plant water status, and water productivity in a furrow-irrigated red raspberry orchard / S. Ortega-Farías, S. E. Meza, R. López-Olivari, et al. // Agricultural Water Management. 2022. Vol. 273. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377422004322> (дата обращения: 15.02.2024). doi: 10.1016/j.agwat.2022.107885.
 18. Effects of Drip Irrigation Design on a Lemon and a Young Persimmon Orchard in Semi-Arid Conditions / M. Parra, D. Hortelano, F. García-Sánchez, et al. // Water. 2021. Vol. 13. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/13/1795> (дата обращения: 15.02.2024). doi: 10.3390/w13131795.

Поступила в редакцию 21.03.2024

После доработки 21.04.2024

Принята к публикации 14.05.2024

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.14:664.64.016.8

DOI 10.31857/S2500262724030054 EDN FVOGLB

СЕЛЕКЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПОПУЛЯЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ ГК-494/15ВВ С ВЫСОКОЙ ВЯЗКОСТЬЮ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА ЗЕРНОВОГО ШРОТА

© 2024 г. А. А. Гончаренко, академик РАН, А. В. Макаров, доктор сельскохозяйственных наук, Н. В. Цыганкова, Т. В. Семенова, В. Н. Точилин, Н. А. Ключко, М. С. Гончаренко, кандидаты сельскохозяйственных наук, П. А. Плотников

Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,
143026, Московская обл., Одинцовский район, пос. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6
E-mail: goncharenko05@mail.ru

Исследования проводили с целью сравнительной оценки популяции озимой ржи ГК-494/15вв, отобранной на высокую вязкость водного экстракта (ВВЭ) зернового шрота (9,7 сПуаз) для улучшения технологических и хлебопекарных качеств зерна. Сравнительные испытания выполняли в 2017–2023 гг. на делянках 12 м² в 3-кратной повторности. В качестве стандартов использовали культивируемые сорта озимой ржи Татьяна, Московская 12, Московская 15 и Московская 18, у которых средняя ВВЭ составляет 4,4...4,9 сПуаз. Высоковязкая популяция ГК-494/15вв была достоверно лучше стандартов по высоте амиллограммы (407 ед. против 243...299 ед.), формоустойчивости подового хлеба (0,29 против 0,21...0,24) и качеству мякиша формового хлеба (4,5 балла против 3,6...3,8 балла). По урожайности и другим признакам различия были недостоверными. По числу падения и температуре клейстеризации крахмала наблюдалась устойчивая тенденция в положительном направлении, по объему формового хлеба – в отрицательном. По зимостойкости, содержанию белка и крахмала в зерне коррелятивной сопряженности с признаком ВВЭ не выявлено. Отмечена сходная реакция таких признаков, как высота амиллограммы, число падения и температура клейстеризации крахмала на изменяющиеся метеорологические условия года, что подтверждает достоверно высокая корреляция между ними ($r = 0,77...0,87$). Для признака ВВЭ такая корреляция имела место только для температуры клейстеризации крахмала ($r = 0,71$). Высокий потенциал ВВЭ снижал объемный выход формового хлеба, благодаря чему он имел лучшие структурно-механические свойства мякиша. ВВЭ – важный признак при селекции озимой ржи на высокие хлебопекарные качества зерна, а изучаемая популяция ГК-494/15вв требует селекционного улучшения по признакам короткостебельности, устойчивости к полеганию, массе 1000 зерен и натуре зерна.

BREEDING ASSESSMENT OF WINTER RYE POPULATION GC-494/15VV WITH HIGH VISCOSITY OF WATER EXTRACT OF GRAIN MEAL

A. A. Goncharenko, A. V. Makarov, N. V. Tsygankova, T. V. Semenova, V. N. Tochilin, N. A. Klochko, M. S. Goncharenko, P. A. Plotnikov

Federal Research Center «Nemchinovka»,
143026, Moskovskaya obl., Odintsovskii r-n, ul. Agrokhimikov, 6
E-mail: goncharenko05@mail.ru

The results of a comparative assessment of the winter rye population GC-494/15vv, selected for high viscosity of a water extract (VWE) of grain meal (9,7 sPoise) in order to improve the technological and baking qualities of grain, are presented. Cultivated varieties of winter rye Tatiana, Moskovskaya 12, Moskovskaya 15 and Moskovskaya 18 were used as the standard, in which the VWE varied at the level of 4.4...4.9 sPoise. Comparative tests were carried out in 2017–2023 on plots of 12 m² in 3-fold repetition. In terms of yield and other traits the differences were unreliable, but in terms of the number of falling and the temperature of starch gelatinization there was a steady trend in the positive direction, and in terms of the volume output of bread – in the negative. In terms of winter hardiness, protein and starch content in grain there was no correlation with the trait of VWE. The influence of the weather conditions of the year on the dynamics of various traits was analyzed. There is a similar dynamics of such traits as the height of the amylogram, the number of falling and the temperature of starch gelatinization for changing weather conditions of the year, which is confirmed by a reliable correlation between them ($r = 0,77...0,87$). For the trait of VWE a reliable correlation took place only for the starch gelatinization temperature ($r = 0,71$). The high potential of the VWE reduced the volumetric output of the formed bread, so that it had the best structural and mechanical properties of the crumb. It is concluded that VWE is an important feature in the breeding of winter rye for high baking qualities of grain.

Ключевые слова: озимая рожь (*Secale cereale* L.), сорт, популяция, вязкость водного экстракта, хлебопекарные качества зерна.

Keywords: winter rye (*Secale cereale* L.), variety, population, viscosity of water extract, baking qualities of grain.

В мировом земледелии озимую рожь культивируют, главным образом, как хлебную культуру. Отличительная ее особенность – высокое содержание в зерне некрахмальных полисахаридов (пентозанов), которые очень важны в хлебопечении, но нежелательны при кормлении животных [1]. Пентозаны связывают воду при замесе теста, увеличивая его вязкость и улучшая физические свойства. При тестообразовании они выполняют функцию клейковинных белков, обеспечивая формоустойчивость теста, что в сочетании с низкой активностью амилазных

ферментов улучшает структурно-механические свойства мякиша выпекаемого хлеба [2].

По отношению к воде пентозаны подразделяют на растворимые и нерастворимые [3]. Особую роль играют водорастворимые пентозаны, способные формировать высоковязкие водные растворы при относительно низкой концентрации, что очень важно в технологии приготовления ржаного теста [4]. Селекцию озимой ржи на высокое содержание водорастворимых пентозанов с целью улучшения хлебопекарных качеств зерна

до последних лет не проводили [5, 6, 7]. Ситуация изменилась после появления сведений о том, что потенциал вязкости водного экстракта (ВВЭ) зернового шрота озимой ржи находится почти в прямой зависимости от содержания водорастворимых пентозанов (коэффициент корреляции $r=0,97$) [8]. Обнаружение этой сопряженности открыло путь к масштабному скринингу селекционного материала на содержание пентозанов, поскольку появилась возможность использовать уровень вязкости как косвенный критерий их количественного определения. В селекционном аспекте важно то, что высокий уровень ВВЭ зернового шрота может служить хорошим индикатором пригодности зерна озимой ржи на хлебопекарные цели [9, 10].

В свете изложенного особый интерес представляет выведение сортов озимой ржи с высокой ВВЭ. В Федеральном исследовательском центре «Немчиновка» целенаправленную селекцию озимой ржи по признаку ВВЭ ведут с 2001 г. За 23 года была разработана методика оценки селекционного материала озимой ржи по ВВЭ с использованием роторного вискозиметра VT5/LR [11] и проведен 10-кратный дивергентный (разнонаправленный) отбор по этому признаку на базе сортов Альфа и Московская 12. В результате созданы уникальные субпопуляции, отличающиеся высокой контрастностью признака ВВЭ: высоковязкие, которые превосходят исходные сорта по величине этого показателя в 3,3...6,0 раз, и низковязкие, которые уступали исходными в 2,6...3,5 раза [12]. По результатам предварительного изучения продуктов отбора было установлено, что высоковязкие популяции несколько уступают исходным сортам по урожайности, но значительно превосходят их по некоторым показателям качества зерна. Наиболее высокий коррелятивный эффект отбора, проведенного по вязкости, достигался по числу падения, высоте амилограммы, формоустойчивости хлеба, качеству хлебного мякиша. Это послужило основанием для асортативного скрещивания высоковязких субпопуляций между собой с целью усиления экспрессии перечисленных признаков. В результате чего в 2015 г. была создана уникальная высоковязкая (на уровне 9...10 сП) популяция ГК-494/15вв, которая в последующие годы (2017–2023 гг.) проходила интенсивную селекционную проработку на опытном поле ФИЦ «Немчиновка».

Цель исследований – селекционная оценка высоковязкой популяции ржи ГК-494/15вв по урожайным, морфо-биологическим и хлебопекарным признакам зерна, в сравнении с районированными сортами.

Методика. Исходным материалом для изучения послужила высоковязкая популяция ГК-494/15вв. В 2017–2023 гг. ее сравнивали с районированными сортами озимой ржи Татьяна, Московская 12, Московская 15, Московская 18, у которых средний уровень ВВЭ по результатам предварительного испытания составлял $\eta=4,3...4,9$ сП. Полевые исследования проводили на опытном поле ФИЦ «Немчиновка» на делянках 12 м² в трех повторениях при норме высева 500 шт. семян на 1 м².

Почва опытного участка – дерново-подзолистая, суглинистая. Содержание гумуса (по Тюрину в модификации ЦИНАО) в слое почвы 0...20 см составляло 2,1 %, подвижных P₂O₅ и K₂O (по Кирсанову) – соответственно 101...150 мг/кг и 81...120 мг/кг, pH солевой вытяжки (1,0 KCl) – 6,6 ед.

После уборки отбирали среднюю пробу зерна массой 3 кг для оценки его физико-технологических и мукомольно-хлебопекарных качеств по различным показателям. Относительную ВВЭ из цельносмолотой

муки измеряли в сантипуазах (сП) на ротационном вискозиметре VT5L/R согласно действующей методике [11]. Оценка хлебопекарных качеств зерна проводили методом пробной лабораторной выпечки подового и формового хлеба из цельносмолотой муки. Формоустойчивость теста (показатель Н/D) определяли путем отношения высоты подового хлеба к его диаметру, а качество мякиша формового хлеба – методом глазомерной оценки его физических свойств (цвета, пористости, липкости, упругости), а также путем измерения объемного выхода формового хлеба. Высоту амилограммы и температуру клейстеризации крахмала определяли на амилографе Бранднера, число падения (ЧП) – на приборе Харберга–Пертена, содержание белка и крахмала – на инфракрасном спектрофотометре Spectra Star 2400.

Данные в таблице представлены в виде генеральной средней и стандартной ошибки ($M \pm m$). Все изучаемые признаки были количественными (полигенными) и имели распределение, близкое к нормальному. Для оценки степени сопряженности изучаемых признаков вычисляли парные коэффициенты корреляции Пирсона r и их квадратические ошибки $\pm sr$. Достоверность различий между сортами оценивали по t-критерию Стьюдента [13].

Метеоусловия в годы исследований значительно различались. Наиболее неблагоприятными для налива зерна они были в 2019 г., когда из-за обильных осадков в июле (85,8 мм) посевы рано полегли (14 июля) и в таком состоянии находились до уборки (30 июля), из-за чего зерно характеризовалось низкой натурой. Для этого года также была характерна самая низкая вязкость водного экстракта (4,0...6,3 сП), высота амилограммы (70...190 ед.) и число падения (70...72 с). Сходные условия сложились в 2017 и 2020 гг. Сильно дождливая погода в эти годы существенно снижала потенциал ВВЭ у всех испытываемых популяций, включая ГК-494/15вв. Аномально жаркую погоду в июне–июле на фоне сильной засухи (осадков выпало 51 % от нормы) отмечали в 2021 г. В этих условиях у популяции ГК-494/15 сформировалось зерно с предельно высоким числом падения (301 с) и высокой вязкостью водного экстракта (11,9 сП). У низковязких стандартных сортов ржи абсолютные величины этих признаков были также высокими: число падения – 256...289 с, вязкость – 6,0...7,1 сП. Относительно благоприятные условия для формирования зерна с высокой вязкостью сложились также в 2022 и 2023 гг.

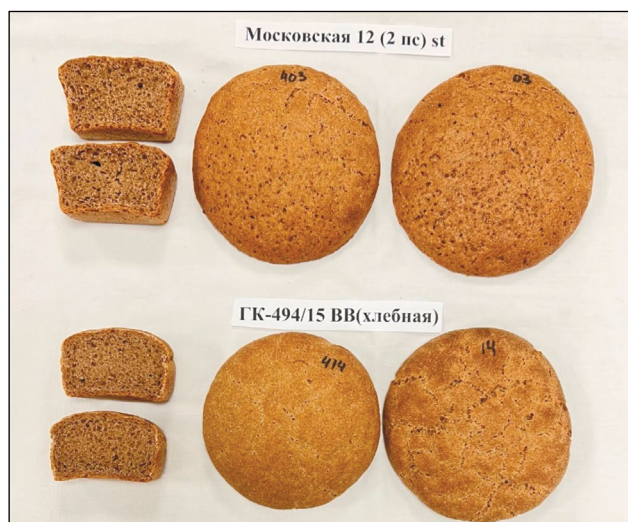


Рис. 1. Лабораторная выпечка подового и формового хлеба из муки сортов ржи Московская 12 и ГК-494/15вв.

Селекционная оценка высоковязкой популяции ГК-494/15вв, в сравнении с сортами Татьяна, Московская 12, Московская 15 и Московская 18 (среднее за 2017–2023 гг.)

Признаки	ГК-494/15вв	Татьяна	Московская 12	Московская 15	Московская 18
Урожайность, т/га	5,6±0,37	6,0±0,48	6,2±0,26	6,5±0,34	6,6±0,36
Зимостойкость, %	81,5±4,1	85,2±5,6	75,5±10,6	80,1±8,0	74,4±10,8
Высота растений, см	147±3,2	133±3,3*	136±2,2*	135±2,9*	140±3,5
Устойчивость к полеганию, балл	5,0±0,6	5,6±1,0	6,5±0,9	5,9±1,0	5,3±0,9
Число зерен в колосе, шт.	51,3±1,8	56,0±1,2	53,0±2,8	55,2±1,2	52,3±2,2
Масса 1000 зерен, г	30,3±1,8	31,1±1,6	32,3±2,1	32,4±1,8	32,6±1,8
Натура зерна, г/л	702±9	703±9	723±8	727±10	717±9
Вязкость ВЭ, сП	9,7±0,6	4,9±0,4*	4,8±0,3*	4,4±0,3*	4,6±0,5*
Число падения, с	223±28	161±28	203±30	173±32	176±32
Высота амилограммы, е.а.	407±40	243±45*	299±37*	298±36*	281±38*
Температура клейстеризации, °С	63,0±2,1	60,9±1,6	61,6±2,3	61,5±1,9	61,4±1,6
Отношение Н/Д	0,29±0,018	0,24±0,017*	0,24±0,016*	0,22±0,014*	0,21±0,013*
Объем хлеба, см ³	267±16	286±23	291±21	284±16	297±22
Качество мякиша, балл	4,5±0,06	3,6±0,04*	3,8±0,05*	3,7±0,04*	3,6±0,03*
Содержание белка, %	11,6±0,51	11,3±0,54	11,2±0,51	11,1±0,39	11,1±0,41
Содержание крахмала, %	52,3±1,40	52,8±1,27	52,8±1,47	53,1±0,83	53,3±1,07

*различие с популяцией ГК-494/15вв достоверно на 5 %-ном уровне значимости.

В эти годы полегание посевов было незначительным, а в период налива зерна преобладала умеренно сухая погода с высокой (на 2...3 °С больше многолетней нормы) среднесуточной температурой воздуха.

Результаты и обсуждение. Под влиянием генотипических и средовых факторов изучаемые сорта озимой ржи сильно варьировали по урожайности и многим другим признакам. Однако достоверные различия (см. табл., рис. 1) между популяцией ГК-494/15вв и сортами сравнения отмечены только по вязкости водного экстракта (на 4,8...5,3 сП), высоте растений (на 7...14 см), высоте амилограммы (на 108...164 е.а.), формоустойчивости подового хлеба (отношение h/d больше на 0,05...0,08 ед.) и качеству мякиша формового хлеба (на 0,7...0,9 балла).

По другим признакам просматривались как положительные (число падения, температура клейстеризации крахмала), так и отрицательные (урожайность, устойчивость к полеганию, число зерен в колосе, масса 1000 зерен, натура зерна, объем формового хлеба) тенденции. По некоторым признакам (зимостойкость, содержание белка и крахмала) изменения были разнонаправленными. Объясняется это тем, что в процессе селекции популяции ГК-494/15вв отбору подвергались генотипы преимущественно с высокой экспрессией селективируемого признака, то есть ВВЭ, а по другим признакам интенсивность отбора была очень низкой. В результате изменились только те признаки, которые коррелировали с уровнем ВВЭ. По этой причине популяция ГК-494/15вв требует интенсивного селекционного улучшения, особенно по признакам короткостебельности, крупнозерности и более высокой натуры зерна.

Следует подчеркнуть сходный характер реакции отдельных признаков на изменяющиеся метеоусловия года. Прежде всего обращают на себя внимание такие показатели, как высота амилограммы, температура клейстеризации крахмала и число падения, которые реагируют сходным образом (рис. 2, 3). Анализ коэффициентов корреляции между величинами этих признаков у высоковязкой популяции ГК-494/15вв и средними их значениями у 4-х низковязких сортов, взятых в качестве стандарта, свидетельствует, что по большинству показателей степень сопряженной изменчивости по годам была очень высокой, о чем свидетельствуют коэффициенты корреляции ($r = 0,66 \pm 0,23 \dots 0,98 \pm 0,02$). Единственный признак, по которому такая корреляция была недостоверной, – урожайность ($r = 0,43 \pm 0,33$), что указывает на необходимость селекционного улучшения в этом направлении.

В селекционном отношении важно знать корреляционную зависимость между различными признаками. В наших исследованиях коэффициент корреляции

между высотой амилограммы и числом падения составил $r = 0,87 \pm 0,10$, а между высотой амилограммы и температурой клейстеризации – $r = 0,77 \pm 0,17$, то есть они изменялись почти синхронно. Что касается ВВЭ, то она достоверно коррелировала только с температурой клейстеризации – $r = 0,71 \pm 0,20$. Логично допустить, что эта синхронность была обусловлена сходной динамикой содержания таких основных компонентов набухания, как крахмал и белки. Причиной подобного сходства в годовой динамике признаков было полегание посевов в период налива и созревания зерна, которое в 2019 г. было ранним и продолжительным (3...4 балла), а в 2021–2022 гг. – более поздним и слабым (7...8 баллов). Общее заключение из этого сводится к тому, что высокая устойчивость к полеганию должна быть неперенным атрибутом сорта ржи, селективируемого на высокое качество зерна.

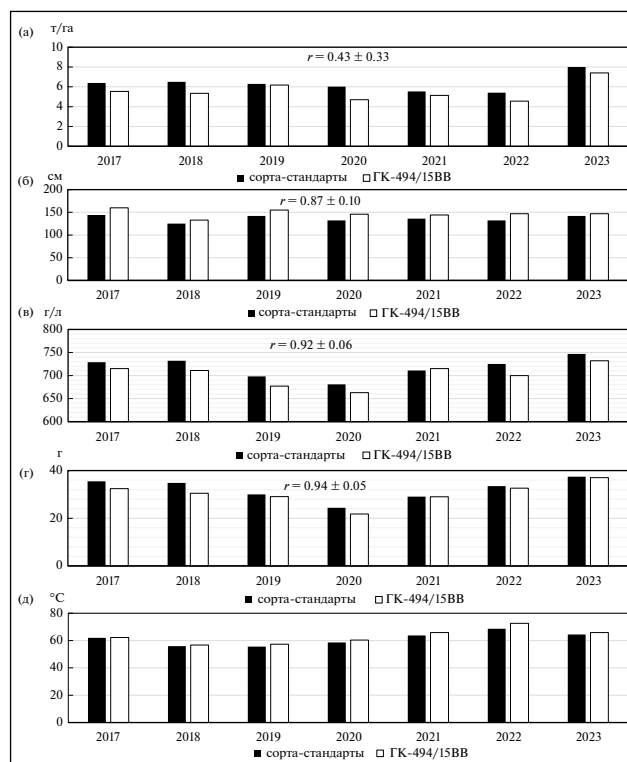


Рис. 2. Оценка степени сопряженной изменчивости морфо-биологических признаков у изучаемых сортов ржи под влиянием погодных условий года: а – урожайность, т/га; б – высота растений, см; в – натура зерна, г/л; г – масса 1000 зерен, г; д – температура клейстеризации, °С.

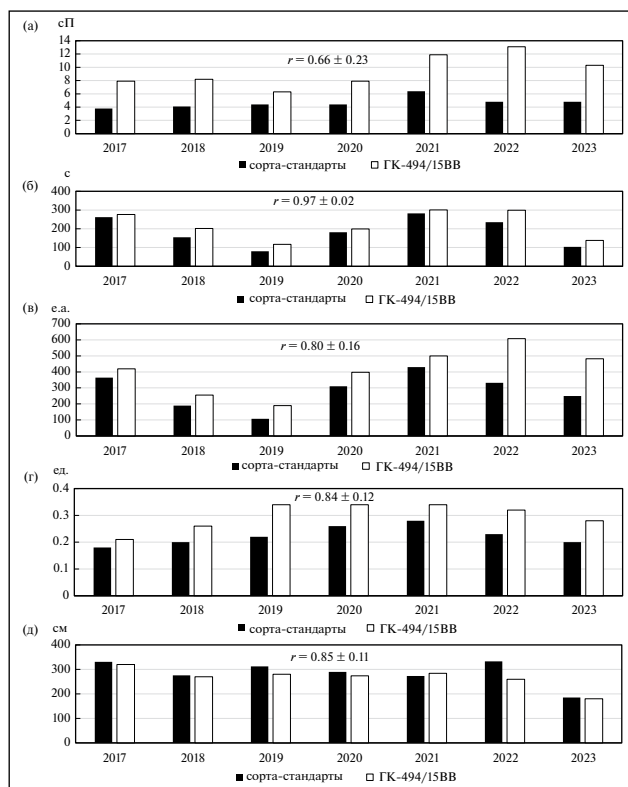


Рис. 3. Оценка степени сопряженной изменчивости хлебопекарных признаков у изучаемых сортов ржи под влиянием погодных условий года: а – вязкость водного экстракта, сП; б – число падения, ед.; в – высота амилограммы, мм; г – отношение h/d, ед.; д – объем хлеба, см.

Высоковязкая популяция ГК-494/15вв устойчиво превосходила сравниваемые сорта по температуре клейстеризации крахмала (в среднем на 1,7 °С). Этот признак, как известно, считают лучшим критерием оценки активности фермента альфа-амилазы, чем высота амилограммы, так как он учитывает влияние количества и качества самого крахмала [1]. Годовая динамика этого признака была сходна с изменением высоты амилограммы ($r=0,77 \pm 0,17$) и числа падения ($r=0,68 \pm 0,21$), что указывает на возможность их комплексного улучшения.

Кроме того, замечены различия в варьировании некоторых признаков по годам. По величине показателя ВВЭ популяция ГК-494/15вв отличалась большей вариабельностью ($CV=25,0\%$), чем контрольные сорта ($CV=16,9\ldots19,3\%$). При этом высокий уровень ВВЭ способствовал более устойчивому проявлению таких признаков, как число падения ($CV=34,0\%$ против $39,1\ldots49,0\%$) и объемный выход хлеба ($CV=16,0\%$ против $19,5\ldots23,1\%$).

Характерная особенность высоковязкой популяции ГК-494/15вв – относительно низкий объем формового хлеба (в среднем на 8,4 %, по сравнению с контрольными сортами). Высокий потенциал ВВЭ снижал величину этого показателя, что обусловлено влиянием водорастворимых пентозанов, сильно удерживающих влагу. Однако формовой хлеб из высоковязкого теста имел лучшие структурно-механические свойства мякиша и отличался меньшей его пористостью. Благодаря высокой вязкости тесто способно связывать большое количество воды и лучше удерживает форму, но испеченный хлеб имеет меньший объем. Сходная особенность была отмечена и ранее [8].

Выводы. Высоковязкая популяция ГК-494/15вв, в сравнении с сортами Татьяна, Московская 12, Московская 15 и Московская 18, отличается более высоким стеблем (147 см против 133...140 см), достоверно превосходит их по высоте амилограммы (407 ед. против 243...299 ед.), формоустойчивости подового хлеба (0,29 против 0,21...0,24) и качеству мякиша формового хлеба (4,5 балла против 3,6...3,8 балла). По урожайности и другим признакам различия были недостоверными, но по числу падения и температуре клейстеризации крахмала наблюдалась устойчивая тенденция в положительном направлении, а по объему формового хлеба – в сторону его снижения. По зимостойкости, содержанию белка и крахмала в зерне коррелятивной зависимости с признаком ВВЭ не выявлено. Обнаружено сходное влияние метеоусловий года на динамику ВВЭ, высоту амилограммы, число падения и температуру клейстеризации крахмала, что указывает на возможность их комплексного улучшения методами селекции. Непременным атрибутом сорта ржи, селективируемого на высокое качество зерна, должна быть высокая устойчивость к полеганию, а изучаемая популяция ГК-494/15вв требует селекционного улучшения по признакам короткостебельности, устойчивости к полеганию, массе 1000 зерен и натуре зерна.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального исследовательского центра «Немчиновка». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Weipert D. Pentosans as selection traits in rye breeding // *Vortr. Pflanzenzuchtung*. 1996. Vol. 35. P. 109–119.
2. Weipert D. A contribution to estimation of the processing value of rye // *Getreide Mehl und Brot*. 1983. Vol. 37. No. 8. P. 229–234.
3. Brummer J. M. Neue rheologische Methoden für die Mullerei // *Getreide Mehl und Brot*. 2002. Vol. 56. No. 2. P. 74–80.
4. Nutrient and lignan content, dough properties and baking performance of rye samples used in Scandinavia / M. Nilsson, P. Aman, H. Harkonen, et al. // *Acta Agric. Scand. Select B*. 1997. Vol. 47. P. 26–34.
5. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н. Оптимизация параметров качества зерна для селекции озимой ржи // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019. Т. 23. № 3. С. 320–327. doi: 10.18699/vj19/96.
6. Влияние водорастворимых пентозанов на хлебопекарные свойства озимой ржи / Е. Н. Шаболкина, А. А. Бишарев, Н. В. Анисимкина и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 1. С. 49–51. doi: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-49-51.
7. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В., Никонорова И. М. Морфологические особенности низкопентозанового зерна озимой ржи // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Т. 182. № 2. С. 123–130. doi: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130.
8. Boros D., Marquardt R. R., Slominski B. A., et al. Extract viscosity as an Indirect Assay for water-soluble Pentosan Content in Rye // *Cereal Chem*. 1993. Vol. 70. No. 5. P. 575–580.

9. Многопараметрическая оценка качества зерна популяций озимой ржи с различной вязкостью водного экстракта / А. А. Гончаренко, В. Я. Черных, А. В. Макаров и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 1. С. 33–37.
10. Показатели качества и фракционный состав зерна сортов озимой ржи по крупности в условиях Нижнего Поволжья / Н. Н. Нуждина, Д. А. Жиганов, Т. Я. Ермолаева и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023. Т. 184. № 4. С. 153–162. doi: 10.30901/2227-8834-2023-4-153-162.
11. Тимощенко А. С., Гончаренко А. А. Адаптация ротторного вискозиметра VT5L/R к определению относительной вязкости водного экстракта зернового шрота озимой ржи // *Сельскохозяйственная биология*. 2008. № 5. С. 110–115.
12. Многократный дивергентный отбор по вязкости водного экстракта у озимой ржи / А. А. Гончаренко, С. А. Ермаков, А. В. Макаров и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2016. № 4. С. 3–8.
13. Вольф В. Г. *Статистическая обработка опытных данных*. М.: Колос, 1966. 254 с.

Поступила в редакцию 31.03.2024

После доработки 19.04.2024

Принята к публикации 07.05.2024

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛОДОВ МЕСТНЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ И ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ВИШНИ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОГО ДАГЕСТАНА

© 2024 г. Б. М. Гусейнова, доктор сельскохозяйственных наук

Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан,
367014, Республика Дагестан, Махачкала, ул. Абдуразака Шахбанова, 30
E-mail: batuch@yandex.ru

Исследования проводили с целью сравнительной оценки биохимического состава плодов вишни сортов местной селекции и интродуцированных в условиях предгорной провинции Дагестана для выявления приоритетных по селекционно-технологическим признакам и биохимическому составу сортов. Объектами исследований (2015–2023 гг.) были плоды 10 сортов: Шатен Морель, Падус Мааки, Хейман Консервный, Баслер Адлер, Вердерище Длакенкирище, Bella, Анная, Шпанка Дагестанская, Шурина и Подбельская. Нутриентный профиль плодов оценивали по показателям массовой концентрации сахаров, кислот, витамина С, пектиновых и полифенольных соединений, используя общепринятые биохимические методы анализа. Сорта Баслер Адлер, Шатен Морель, Хейман Консервный, Анная, Шпанка Дагестанская и Шурина характеризовались большим содержанием растворимых сухих веществ (15,8...17,4 %) и сахаров (10,1...12,2 %), чем сорт сравнения Подбельская, у которого величины этих показателей были равны соответственно 15,1 % и 8,9 %. Лучшими по количеству пектиновых веществ (0,75...0,90 %) были плоды интродуцированных сортов вишни Падус Мааки, Баслер Адлер, Шатен Морель, среди сортов местной селекции по величине этого показателя лидировали Шпанка Дагестанская и Анная. Сорта Баслер Адлер, Шатен Морель, Хейман Консервный, Шпанка Дагестанская и Шурина отличались наибольшей способностью к накоплению в плодах витамина С (9,0...11,0 мг/100 г), Р-активных веществ (126,1...151,7 мг/100 г) и антоцианов (187,2...217,8 мг/100 г), по сравнению с сортом Подбельская, в плодах которого массовые концентрации этих соединений составляли 8,2; 109,6 и 176,0 мг/100 г соответственно. Наиболее перспективные генотипы для оптимизации промышленного сортимента вишни в условиях Дагестана, а также использования в селекции и для производства новых продуктов здорового питания – Хейман Консервный, Баслер Адлер, Шатен Морель, Шпанка Дагестанская и Шурина.

COMPARATIVE ANALYSIS OF BIOCHEMICAL COMPOSITION OF FRUITS OF LOCAL SELECTION AND INTRODUCED CHERRY VARIETIES GROWN IN CONDITIONS OF FOOTHILL DAGESTAN

B. M. Guseynova

Federal Agricultural Research Center of the Republic of Dagestan,
367014, Respublika Dagestan, Makhachkala, ul. Abdurazaka Shakhbanova, 30
E-mail: batuch@yandex.ru

The results of comparative assessment of biochemical composition of cherry fruits of varieties of local selection and introduced in the conditions of the foothill province of Dagestan, contributing to the identification of priority varieties according to selection and technological characteristics and biochemical composition, are presented. The objects of research (conducted in 2015–2023) were the fruits of ten varieties of cherries: Shaten Morel, Padus Maaki, Hejman Konservnyj, Basler Adler, Verderishche Dlakenkirshche, Bella, Annaya, Shpanka Dagestanskaya, Shurinka and Podbelskaya. The nutrient profile of the fruit was evaluated by the mass concentration of sugars, acids, vitamin C, pectin and polyphenol compounds using conventional biochemical analysis methods. According to the data obtained, the varieties Basler Adler, Shaten Morel, Hejman Konservnyj, Annaya, Shpanka Dagestanskaya and Shurinka were characterized by a high content of soluble solids (RSV) – 15.8...17.4 % and sugars – 10.1...12.2 % than the reference variety Podbelskaya – 8.9 % sugars and 15.1 % RSV. The best in terms of the stock of pectin substances (0.75...0.90 %) were the fruits of the introduced varieties of cherries Padus Maaki, Basler Adler, Shaten Morel, and among the varieties of local selection were the leaders – Shpanka Dagestanskaya and Annaya. Varieties Basler Adler, Shaten Morel, Hejman Konservnyj, Shpanka Dagestanskaya and Shurinka distinguished themselves by the greatest ability to accumulate vitamin C (9.0...11.0 mg/100g), P-active substances (126.1...151.7 mg/100g) and anthocyanins (187.2...217.8 mg/100g), compared to Podbelskaya variety, in which the mass concentrations of these substances were 8.2, 109.6 and 176.0 mg/100g, respectively. The results of the study of the nutrient profile of cherry assortment made it possible to determine promising varieties (Hejman Konservnyj, Basler Adler, Shaten Morel, Shpanka Dagestanskaya and Shurinka) to optimize the industrial cherry assortment in Dagestan, use in breeding and for the production of new types of healthy foods.

Ключевые слова: вишня (*Cerasus vulgaris* Mill.), сорт, дагестанские и интродуцированные сорта вишни, химический состав, нутриенты, витамины, полифенольные соединения.

Keywords: cherry (*Cerasus vulgaris* Mill.), variety, Dagestan and introduced cherry varieties, chemical composition, nutrients, vitamins, polyphenol compounds.

Сегодня на волне импортозамещения в России стало бурно развиваться промышленное садоводство. Ежегодно растут площади, занятые садами: если до 2015 г. в России закладывали не более 10 тыс. га плодово-ягодных насаждений в год, то сейчас их ежегодный прирост превышает 15 тыс. га [1].

Однако достигнутый уровень производства продукции плодовых культур не позволяет полностью удовлетворять потребности населения. В России, в соответствии с современными требованиями здорового питания, рекомендуемый годовой уровень потребления фруктов и ягод составляет 100 кг на одного человека [2].

На сегодняшний день в нашей стране удовлетворение этой потребности не превышает 65 %. По потреблению фруктов и ягод (63 кг на человека в год) Россия значительно уступает развитым странам. Например, в Италии величина этого показателя составляет 149 кг на человека в год, в Нидерландах – 167 кг, в Австрии – 152 кг, в Великобритании – 128 кг, в США – 99 кг на человека в год [3].

Кроме того, в современных условиях из-за нерациональной структуры питания, нарастания ряда неблагоприятных экологических проблем, увеличения нервно-эмоциональных нагрузок и изменения ритма жизни человека, наблюдается растущий интерес к пище, которая помимо основных питательных функций обладает высоким запасом антиоксидантов, фитонцидов, витаминов, комплекса минеральных веществ и других биологически активных компонентов [4, 5, 6]. К основным элементам правильного питания человека относят фрукты и ягоды, которые обладают богатым и разнообразным составом пищевых и биологически активных веществ, нормализуют процессы метаболизма, замедляют старение клеток, нейтрализуют действие свободных радикалов [7, 8, 9].

Стратегия повышения качества пищевой продукции до 2030 г., утвержденная распоряжением правительства России № 1364-р от 29.06.2016 г., предусматривает увеличение содержания в плодово-ягодных культурах жизненно необходимых для организма человека макро- и микронутриентов [10]. Для выращивания высококачественной плодово-ягодной продукции важен научный подход к совершенствованию промышленного сортамента садовых культур и выявлению оптимальных территорий их выращивания при эффективном использовании ресурсного потенциала [11, 12, 13]. Кроме того, в селекции садовых культур, наряду со стрессоустойчивостью, скороплодностью и продуктивностью, следует в первую очередь обращать внимание на селекционные признаки, определяющие товарно-потребительские свойства плодов и их насыщенность жизненно необходимыми пищевыми веществами для использования в индустрии здорового и диетического питания [13, 14, 15]. При этом следует учитывать, что интродуцированные сорта плодово-ягодных культур не всегда могут полностью реализовывать свой генетический потенциал в новых природно-климатических условиях. Поэтому актуально сортоиспытание интродуцентов и новых селекционных сортов в конкретных агробиологических условиях возделывания с целью выявления из их числа наиболее перспективных, обладающих богатым запасом нутриентов и другими ценными свойствами.

Одной из важнейших плодовых культур в России считают вишню обыкновенную (*Cerasus vulgaris* Mill.), которую ценят за скороплодность, урожайность, неповторимый вкус и особый нутриентный профиль плодов. Биохимический состав плодов вишни – основной признак, определяющий качество сорта и перспективность его возделывания в многолетних насаждениях. Плоды вишни богаты макро- и микроэлементами, органическими кислотами, витамином С, флавоноидами, антоцианами и дубильными веществами, обладающими антиоксидантным, антисептическим и противовоспалительным действием [16, 17, 18].

Цель исследований – изучение нутриентного состава плодов вишни обыкновенной селекционного и интродуцированного сортамента, культивируемой в условиях предгорной провинции Дагестана, и выявление сортов с наилучшим запасом биологически активных и других ценных пищевых веществ для использования в промышленном садоводстве и пищевом производстве в виде сырья.

Методика. Работу проводили в 2015–2023 гг. на базе Дагестанской селекционной опытной станции плодовых культур (ДСОСПК), расположенной в предгорной провинции Дагестана. Объектами исследования служили шесть интродуцированных сортов вишни обыкновенной (*Cerasus vulgaris* Mill.) различного эколого-географического происхождения: Шатен Морель, Падус Мааки, Хейман Консервный, Баслер Адлер, Вердерище Длакенкирше, Bella; а также три сорта дагестанской селекции: Анная, Шпанка Дагестанская и Шуринка.

Вишня Падус Мааки (Церападус) – гибридный сорт (вишня-черемуха), полученный в результате скрещивания степной вишни Идеал с черемухой японской. Сорта Падус Мааки передались такие материнские качества (степная вишня), как сладкий вкус, крупноплодность и декоративный внешний вид плода. От черемухи японской была унаследована мощная корневая система, высокая морозостойкость, а также устойчивость к грибным болезням.

В качестве стандарта для исследования был выбран сорт Подбельская, который районирован и продолжительное время возделывается во всех плодовых зонах Дагестана. Он отлично адаптировался к условиям республики, характеризуется хорошими товарно-потребительскими и хозяйственно ценными признаками, а также высокой устойчивостью к вредителям и болезням [19, 20].

Плоды многих интродуцированных и местных сортов вишни из исследуемого сортамента имеют привлекательный внешний вид и хороший вкус. Они устойчивы к различным стрессорам окружающей среды. В результате многолетних исследований определено, что масса плода у них в среднем составляет 5,2...6,0 г, диаметр – 17...22 мм, вкус оценивается на 4,5...5,0 баллов (по 5-и балльной шкале). Эти сорта могут быть использованы как с целью оптимизации промышленного сортамента вишни в условиях Дагестана, так и в качестве генисточников ценных признаков в селекции [19, 20].

Посадку проводили в 2010–2012 гг. по схеме 5×3 м. Подвой – антипка. Повторность – четырехкратная, в каждой количество деревьев 8...10 шт. На опытных садовых участках выполняли следующие агротехнические мероприятия: осенняя вспашка междурядий на глубину 18...22 см; осенние и ранневесенние влагозарядковые поливы (800...900 м³/га); вегетационные поливы (600...700 м³/га) в первых декадах июня и августа; санитарная обрезка, перекопка приствольных кругов, побелки штамбов деревьев известью с добавлением медного купороса; четырехкратная культивация междурядий в период вегетации для борьбы с сорной растительностью и закрытия влаги. Для защиты вишни от болезней (коккомикоз, монилиоз, клостероспориоз) и вредителей (вишневая муха, вишневая тля) проводили обработки фунгицидами и инсектицидами.

Почва опытного участка темно-каштановая карбонатная среднесуглинистая, глубина залегания галечников 150...200 см. Мощность почвенного профиля 60...70 см. Почвенно-поглощающий комплекс насыщен кальцием и магнием (ГОСТ 26428) – 15,60...18,43 и 5,14...6,36 мг-экв/100 г соответственно. Содержание гумуса (ГОСТ 26213) составляет 1,97...3,56 %, гидролизуемого азота (по Корнфилду) – 6,1...7,3 мг/100 г почвы, подвижного фосфора и калия (по Мачигину по ГОСТ 26205) – 1,80...2,23 и 25,2...28,4 мг/100 г почвы соответственно.

Климат в предгорной провинции Дагестана, где проводили исследования, умеренно-континентальный. По данным гидрометеостанции г. Буйнакска среднее количество осадков за вегетационный

период на этой территории составляет 341 мм, сумма активных температур (САТ) – 3360 °С. Самым тёплым месяцем в годы проведения исследований был июль, со среднемесячной температурой 20,7...25,6 °С, наиболее холодным – январь (-0,6...-1,5 °С). Среднегодовая температура варьировала в пределах 10,1...12,1 °С. По количеству осадков территория, на которой проводили исследования, относится к зоне недостаточного увлажнения – 258...384 мм за вегетационный период, разность между испарением (780 мм в год) и осадками восполнялась вегетационными и влагозарядковыми поливами. САТ в годы исследований изменялась в пределах 3320...3446 °С, гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову (ГТК) – 0,74...1,13 (табл. 1).

Табл. 1. Характеристика метеословий предгорной провинции Дагестана за годы проведения исследований

Год	Сумма активных температур, °С	Количество осадков за вегетационный период, мм	ГТК
2015	3404	305	0,89
2016	3363	330	0,98
2017	3380	384	1,13
2018	3360	350	1,04
2019	3434	297	0,86
2020	3446	258	0,74
2021	3349	319	0,95
2022	3380	366	1,08
2023	3320	371	1,11

Оценку показателей качества свежих плодов вишни проводили согласно общепринятой методике [21]. Нутриентный профиль оценивали по содержанию растворимых сухих веществ (РСВ), которое определяли по ГОСТ ISO 2173-2013, сахаров – по ГОСТ 8756.13-87, титруемых кислот – по ГОСТ ISO 750, витамина С – по ГОСТ 24556-89, пектиновых веществ – по ГОСТ 29059-91. Массовые концентрации Р-активных веществ и антоцианов измеряли колориметрическим методом [22, 23].

Для определения полезности вишни как источника Р-активных веществ была рассчитана степень удовлетворения суточной физиологической потребности в них организма взрослого человека при употреблении 100 г плодов. Рекомендуемая Минздравом суточная физиологическая потребность взрослого человека в Р-активных соединениях составляет 200 мг [24].

Для обеспечения достоверности полученных экспериментальных данных показатели нутриентного состава плодов вишни определяли 4-кратно. Статистическую обработку результатов исследований осуществляли методами дисперсионного и вариационного анализа с использованием пакета программ SPSS 12.0 для Windows. Вычисляли среднее значение для совокупности данных по каждому из пищевых веществ, а также доверительные

интервалы. Определяли минимальные и максимальные концентрации пищевых веществ, а также коэффициенты их вариации в плодах исследуемых сортов вишни.

Результаты и обсуждение. Учитывая, что биохимический состав плодов вишни сильно различается в зависимости от сортовой специфики, природно-климатических и эдафических факторов среды возделывания [18, 19, 25], полученные результаты могут служить для ориентировочной оценки нутриентного профиля большого набора местных и интродуцированных в условиях предгорного Дагестана сортов вишни.

Содержание РСВ в плодах изучаемых сортов вишни составляло от 12,9 (Падус Мааки) до 17,4 % (Хейман Консервный) (табл. 2). Наиболее высоким среди интродуцентов оно было у сортов Баслер Адлер (17,3 %) и Хейман Консервный (17,4 %). В группе сортов местной селекции по величине этого показателя выделились сорта Шпанка Дагестанская (16,7 %) и Шуринка (17,0 %). Наибольшей способностью к накоплению РСВ (на 0,7...2,3 % выше контрольного сорта Подбельская, у которого величина этого показателя составляла 15,1 %), отличались сорта Баслер Адлер, Шатен Морель, Хейман Консервный, Анная, Шпанка Дагестанская и Шуринка. В целом содержание РСВ в плодах вишни у всех исследуемых сортов вишни в условиях Дагестана не выходило за пределы приемлемого для культуры диапазона, который, согласно литературным данным [26], составляет 12,5...24,3 %.

Основная часть растворимых сухих веществ приходится на сахара, определяющие вкусовые свойства плодов. За годы проведения исследований, среднее их содержание в зависимости от генотипа изменялось от 9,0 (Bella) до 12,2 % (Шуринка), при средней величине этого показателя по всей выборке 10,4 % и коэффициенте вариации 11,0 % (см. табл. 2). Все изучаемые сорта по способности плодов к сахаронакоплению превосходили сорт стандарт Подбельская на 0,1...3,3 %. Самые высокие концентрации сахаров обнаружены в плодах интродуцентов Баслер Адлер (11,2 %) и Хейман Консервный (11,6 %), а среди сортов местной селекции высокой сахаристостью выделялись Шпанка Дагестанская (11,4 %) и Шуринка (12,2 %). Коэффициент вариации ($CV=1,0$ %) иллюстрирует средний уровень изменчивости величины этого показателя в зависимости от сортовой специфики (см. табл. 2).

В зависимости от содержания сахаров фрукты и ягоды подразделяют на три группы: с высоким содержанием – 15...25 %, средним – 7,0...14,9 % и низким – 2,0...6,9 % [27]. Согласно этой классификации все исследованные сорта вишни можно отнести к группе со средним сахаронакоплением (см. табл. 2).

В зависимости от погодных условий наименьшее количество сахаров за годы проведения исследований

Табл. 2. Массовая концентрация нутриентов в плодах вишни обыкновенной (среднее за 2015–2023 гг.), %

Сорт	РСВ			Сахара			Титруемые кислоты		
	max	min	среднее	max	min	среднее	max	min	среднее
Подбельская (контроль)	16,2	14,0	15,1±0,23	10,2	7,4	8,9±0,10	1,32	1,14	1,20±0,03
Интродуцированные сорта									
Баслер Адлер	18,7	15,5	17,3±0,47	12,9	9,5	11,2±0,21	1,07	0,83	0,95±0,02
Вердериче Длакенкирше	14,9	11,6	12,9±0,25	9,8	8,1	9,1±0,17	1,15	0,87	0,96±0,01
Падус Мааки	15,0	12,5	13,5±0,23	10,9	8,4	9,6±0,16	1,79	1,56	1,61±0,04
Шатен Морель	17,7	14,9	15,8±0,32	12,0	9,6	10,8±0,18	1,63	1,44	1,54±0,04
Хейман Консервный	18,4	16,3	17,4±0,22	13,4	10,5	11,6±0,14	1,25	1,14	1,18±0,03
Bella	15,3	13,0	13,7±0,25	10,7	7,8	9,0±0,16	1,28	1,17	1,23±0,02
Сорта селекции ДСОСПК									
Анная	16,8	14,4	15,8±0,36	11,2	8,7	10,1±0,18	1,16	0,90	1,00±0,02
Шпанка Дагестанская	17,5	15,8	16,7±0,43	12,7	9,4	11,4±0,20	1,30	1,21	1,26±0,02
Шуринка	18,6	16,1	17,0±0,37	13,5	11,0	12,2±0,22	1,55	1,36	1,48±0,04
Среднее	16,9	14,4	15,5	11,7	9,0	10,4	1,4	1,16	1,24
Коэффициент вариации (CV), %			10,2			11,0			18,2
НСР ₀₅			1,5			1,1			0,24

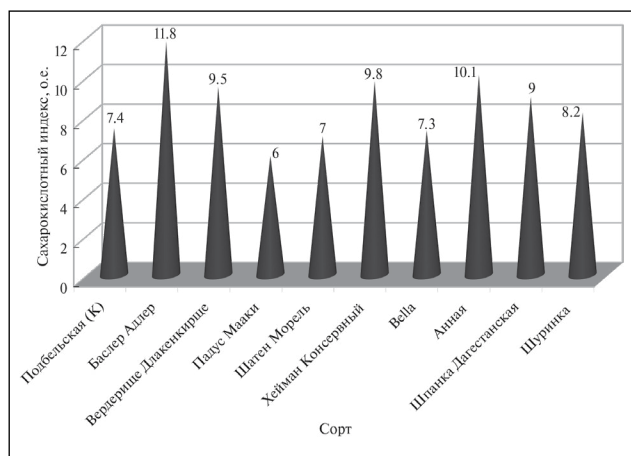


Рис. 1. Показатели сахарокислотного индекса исследуемых интродуцированных и селекционных сортов вишни из Дагестана (среднее за 2015–2023 гг.), о.е.

почти во всех сортах вишни отмечено в наиболее дождливом 2017 г. (384 мм за вегетационный период) – от 7,8 (Bella) до 11,0 % (Шурилка). Самое высокое их содержание (в пределах 9,9...13,5 %) выявлено в 2020 г., который оказался наиболее засушливым (сумма осадков за период вегетации 258 мм).

На вкус фруктов и ягод, наряду с сахарами, значительное влияние оказывают органические кислоты, обладающие бактерицидным действием и участвующие в обменных процессах, происходящих в живых системах. Среднее содержание органических кислот в плодах изучаемых сортов вишни составило 1,24 %, при этом в зависимости от генотипа величина этого показателя варьировала ($CV=18,2\%$) – от 0,95 (Баслер Адлер) до 1,61 % (Падус Мааки). Наибольшим содержанием кислот характеризовались сорта Шатен Морель, Падус Мааки и Шурилка – 1,48...1,61 % при величине этого показателя у контрольного сорта 1,20 % (см. табл. 2).

По массовой концентрации кислот также, как и по показателю сахаристости, плоды и ягоды разделяют на три группы: с высоким содержанием – 2...7 %, средним – 0,5...1,9 % и низким – 0,1...0,4 % [27]. Все исследованные сорта вишни относятся к группе со средней кислотностью.

Для употребления в свежем виде ценными считают плоды вишни с высоким сахарокислотным индексом (СКИ). Наибольшей величиной этого показателя, а также гармоничным сочетанием сахаров и кислот среди сортов интродуцентов отличались сорта Вердерище Длакенкирише – 9,5 относительных единиц (о.е.); Хейман Консервный – 9,8 о.е. и Баслер Адлер – 11,8 о.е. Сорт Падус Мааки характеризовался самым низким сахарокислотным индексом – 6,0 о.е. (рис. 1). Показатели СКИ у вишни местной селекции варьировали от 8,2 (Шурилка) до 10,1 (Анная) о.е.

Наличие пектиновых соединений, способствующих связыванию эндогенных и экзогенных токсинов, выведению из организма тяжелых металлов, канцерогенных соединений, радионуклидов, а также избытка углеводов, придает плодам вишни лечебно-профилактические свойства, а с точки зрения технологичности обуславливает хорошее желирование продукции. Технологические требования, предъявляемые к сортам вишни, предназначенным для переработки, предусматривают накопление в плодах не менее 0,8 % пектиновых веществ [28]. Этим требованиям соответствовало 40,0 % сортов изученного сортамента (рис. 2).

Наименьшая массовая концентрации пектинов отмечена у интродуцированного сорта Хейман Консервный – 0,53 %, что в 1,7 раза ниже максимального количества этих веществ, выявленного в плодах сорта Анна. Среди генотипов местной селекции наименьшее содержание пектинов определено в плодах сорта Шурилка (0,70 %). Более высоким содержанием пектиновых веществ (на 0,05...0,20 %), по сравнению с контрольным сортом Подбельская (0,70 %), характеризовались сорта Анна, Шатен Морель, Шпанка Дагестанская, Баслер Адлер и Падус Мааки. Сортная изменчивость величины этого показателя была средней ($CV=14,0\%$).

Одно из основных биологически активных соединений плодов и ягод – аскорбиновая кислота (витамин С), обладающая антиоксидантным действием, участвующая в синтезе белка и регуляции содержания холестерина в организме [29]. Содержание аскорбиновой кислоты в плодах исследованных сортов, выращиваемых в условиях предгорной провинции Дагестана (табл. 3), варьировало от 6,1 (Падус Мааки) до 11,0 мг/100г (Шурилка). Установлен средний уровень зависимости величины этого показателя от сортовой специфики ($CV=16,5\%$). Наиболее ценными по количеству витамина С в продукции оказались сорта местной селекции Шурилка (11,0 мг/100 г) и Шпанка Дагестанская (10,5 мг/100 г). Среди сортов интродуцентов выделились Шатен Морель (9,6 мг/100 г), Хейман Консервный (9,3 мг/100 г) и Баслер Адлер (9,0 мг/100 г), у которых величина этого показателя была больше, чем у контрольного сорта Подбельская, на 0,8...1,4 мг/100 г.

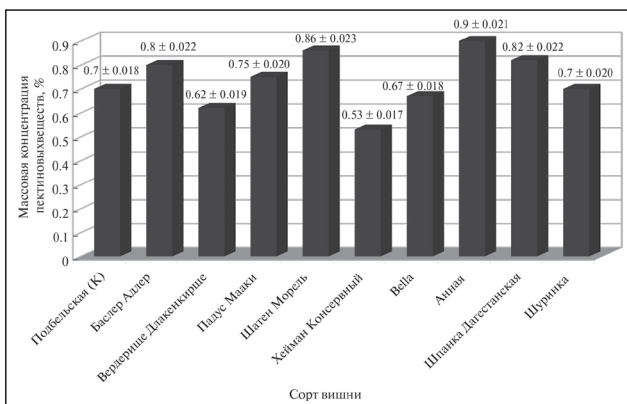


Рис. 2. Содержание пектиновых веществ в плодах интродуцированных и селекционных сортов вишни, возделываемой в условиях предгорной провинции Дагестана (среднее за 2015–2023 гг.), %.

По способности к накоплению в плодах аскорбиновой кислоты фрукты и ягоды также подразделяют на три группы: с высоким содержанием – 100...2500 мг/100 г; средним – 30...99 мг/100 г и низким – 3...29 мг/100 г [27]. Все исследованные сорта вишни по массовой концентрации в плодах витамина С были отнесены к группе с низким его содержанием (см. табл. 3).

Плоды вишни входят в десятку продуктов богатых Р-активными соединениями, препятствующими образованию тромбов, снижающими нервные расстройства и обладающими капилляроукрепляющим и лечебно-профилактическим действием [16, 25, 30]. Установлено среднее варьирование ($CV=15,5\%$) содержания Р-активных соединений по сортам: от 87,8 мг/100 г у сорта Вердерище Длакенкирише до 151,7 мг/100 г у Хейман Консервного. Хорошую способность к синтезу в плодах Р-активных соединений, наряду с сортом Хейман Консервный, продемонстрировали

Табл. 3. Характеристика сортов вишни обыкновенной (*Cerasus vulgaris* Mill.), возделываемой в условиях предгорной провинции Дагестана, по массовой концентрации в свежих плодах полифенольных соединений и витамина С (среднее за 2015–2023 гг.), мг/100 г

Сорт	Витамин С			Р-активные соединения			Антоцианы		
	max	min	среднее	max	min	среднее	max	min	среднее
Подбельская (контроль)	9,7	7,5	8,2±0,15	117,8	97,4	109,6±1,77	190,3	165,6	176,0±2,64
Интродуцированные сорта									
Баслер Адлер	10,6	7,9	9,0±0,19	132,5	109,6	126,1±1,62	230,2	187,7	210,9±3,16
Вердерище Длакенкирше	8,5	6,8	7,3±0,17	98,2	71,3	87,8±1,51	176,1	144,9	158,5±2,91
Падус Мааки	8,0	5,6	6,1±0,10	100,9	82,2	91,6±1,59	160,6	134,8	147,7±3,25
Шатен Морель	10,9	8,2	9,6±0,19	154,1	116,5	127,3±1,84	210,8	177,5	187,2±3,18
Хейман Консервный	10,0	8,6	9,3±0,18	168,4	129,0	151,7±2,18	217,7	189,5	205,6±3,07
Bella	9,4	7,0	8,4±0,12	120,5	100,7	115,6±1,83	186,1	160,8	170,5±2,84
Сорта селекции ДСОСПК									
Анная	9,0	6,6	7,4±0,13	129,8	108,7	110,3±1,88	225,5	170,1	192,8±3,28
Шпанка Дагестанская	11,3	9,2	10,5±0,18	143,6	115,0	132,3±1,95	243,2	188,4	217,8±2,89
Шурипка	11,5	9,8	11,0±0,22	140,3	116,5	128,9±2,01	219,6	166,9	199,3±2,46
Среднее значение	9,9	7,7	8,7	130,6	104,7	118,1	206	168,6	186,6
Коэффициент вариации (CV), %			16,5			15,5			11,2
НСР ₀₅			1,4			17,7			21,2

сорта Баслер Адлер, Шатен Морель, Шпанка Дагестанская и Шурипка, в продукции которых содержание Р-активных веществ варьировало в пределах 126,1...132,3 мг/100 г. По величине этого показателя перечисленные генотипы превзошли сорт-стандарт Подбельская на 13,0...27,7 %.

Высокие концентрации Р-активных веществ (в среднем 667 мг/100 г) со значительным сортовым размахом варьирования (37,5 %) были определены в сортах вишни селекции ВНИИСПК, возделываемых в условиях средней полосы России [12]. В плодах вишни, выращиваемой в условиях Краснодарского края, величина этого показателя (70,4...201,0 мг/100 г) [25] находилась на уровне изучаемых сортов вишни в условиях Дагестана (87,8...151,7 мг/100 г).

При употреблении 100 г плодов изучаемых сортов вишни удовлетворение суточной потребности организма человека в Р-активных соединениях в зависимости от сорта варьирует от 43,90 (Вердерище Длакенкирше) до 75,85 % (Хейман Консервный). Согласно ГОСТ Р 52349–2005, если содержание функционального ингредиента в продукте составляет не менее 15 % от суточной потребности организма человека, его считают функциональным. В соответствии с этим требованием все исследованные сорта вишни могут считаться функциональными продуктами питания по массовой концентрации в плодах Р-активных соединений (рис. 3).

В зависимости от сорта содержание антоцианов, обуславливающих красно-фиолетовую окраску плодов вишни, в сортах интродуктантах варьировало от 147,7 (Падус Мааки) до 210,9 мг/100 г (Баслер Адлер), сортах

местной селекции – от 192,8 (Анная) до 217,8 мг/100 г (Шпанка Дагестанская). У сортов Вердерище Длакенкирше, Падус Мааки и Bella среднее содержание антоцианов за годы проведения исследований было ниже, чем у контрольного сорта Подбельская (176,0 мг/100 г) на 3,2...19,1 %. Следует отметить, что содержание антоцианов в плодах селекционных и интродуцированных сортов вишни, выращиваемых в Краснодарском крае, варьирует от 153,6 до 333,8 мг/100 г [25], в условиях Самарской области – от 43,3 до 214,3 мг/100 г [30].

Выводы. Содержание РСВ (15,8...17,4 %) и сахаров (10,1...12,2 %) выше, чем у контрольного сорта Подбельская, в изученном сортименте отмечено у сортов-интродуктантах Баслер Адлер, Шатен Морель, Хейман Консервный и у всех сортов местной селекции. Гармоничным соотношением сахаров и кислот, а также лучшими показателями СКИ (8,2...11,8 о.е.), чем у контрольного сорта (7,4 о.е.), отличались плоды сортов Баслер Адлер, Вердерище Длакенкирше, Хейман Консервный, Анная, Шурипка и Шпанка Дагестанская. Хорошей способностью к накоплению пектиновых веществ проявили сорта-интродуктенты Падус Мааки (0,75 %), Баслер Адлер (0,80 %), Шатен Морель (0,86 %), сорта местной селекции Шпанка Дагестанская (0,82 %) и Анная (0,90 %). Большим запасом витамина С (9,0...11,0 мг/100 г), Р-активных веществ (126,1...151,7 мг/100 г) и антоцианов (187,2...217,8 мг/100 г), чем в плодах сорта Подбельская, характеризовались сорта Баслер Адлер, Шатен Морель, Хейман Консервный, Шпанка Дагестанская и Шурипка.

Наиболее перспективными из исследуемого сортиamenta, оказались сорта Хейман Консервный, Баслер Адлер, Шатен Морель, Шпанка Дагестанская и Шурипка, которые накапливают значительные количества ценных пищевых веществ и могут быть использованы в садоводстве и селекционной работе с целью оптимизации промышленного сортиamenta вишни.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан» (тема FNMN-2022-0009, № госрегистрации 122022400196-7).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

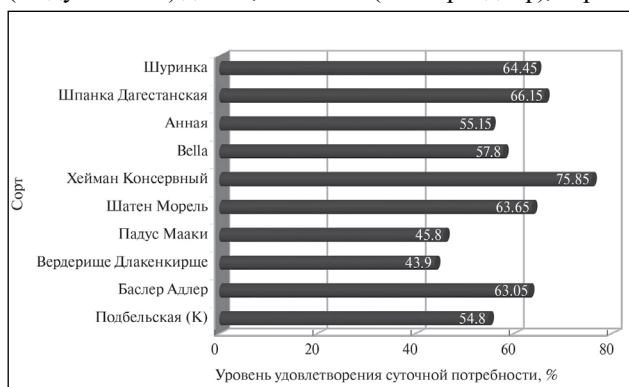


Рис. 3. Удовлетворение суточной потребности организма взрослого человека в Р-активных соединениях при употреблении 100 г плодов исследованных сортов вишни.

Литература.

1. Гусейнова Б. М., Абдулгамидов М. Д. Агробιοлогическая и товарно-потребительская оценка новых сортов черешни дагестанской селекции // Садоводство и виноградарство. 2023. № 3. С. 17–27. doi: 10.31676/0235-2591-2023-3-17-27.
2. Приказ Минздрава России от 19 августа 2016 г. № 614 «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания» URL: <https://docs.cntd.ru/document/420374878?ysclid=18ikjllkzi870799052> (дата обращения: 20.02.2024).
3. Куликов И. М., Минаков И. А. Проблемы и перспективы развития садоводства в России // Садоводство и виноградарство. 2018. № 6. С. 40–46. doi: 10.31676/0235-2591-2018-6-40-46.
4. Коденцова В. М., Жилинская Н. В., Шпигель Б. И. Витаминология: от молекулярных аспектов к технологиям витаминизации детского и взрослого населения // Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 4. С. 89–99. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10045.
5. Нутриом как направление «главного удара»: определение физиологических потребностей в макро- и микронутриентах, минорных биологически активных веществах пищи / В. А. Тутельян, Д. Б. Никитюк, А. К. Батурич и др. // Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 4. С. 24–34. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10039.
6. Optimization modelling to improve the diets of first nations individuals / L. Johnson-Down, N. Willows, T. Kenny, et al. // Journal of Nutritional Science. 2019. No. 8. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-nutritional-science/article/optimisation-modelling-to-improve-the-diets-of-first-nations-individuals/1756125845C20182C427DDC4DFAD2C4F> (дата обращения: 20.04.2024). doi: doi.org/10.1017/jns.2019.30.
7. Биологическая ценность плодов и ягод российского производства / М. Ю. Акимов, В. В. Бессонов, В. М. Коденцова и др. // Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 4. С. 220–232. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10055.
8. Гусейнова Б. М., Мусаева Р. Т. Нутриентный профиль местных селекционных и интродуцированных сортов черешни, культивируемых в условиях Дагестана // Известия вузов. Пищевая технология. 2023. № 2–3 (392). С. 10–17. doi: 10.26297/0579-3009.2023.2-3.2.
9. Минеральный состав и показатели безопасности яблок различных сортов, выращиваемых в Южном Казахстане / М. Б. Кенжеханова, Л. А. Мамаева, С. С. Ветохин и др. // Известия вузов. Пищевая технология. 2021. № 5–6. С. 12–14. doi: 10.26297/0579-3009.2021.5-6.2.
10. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 29.06.2016 г. № 1364-п). URL: <http://static.government.ru/media/files/9JUDtBOpqrtoAatAhvT2wJ8UPT5Wq8qlo.pdf> (дата обращения: 15.03.2024).
11. Dickerson R. N. Metabolic support challenges with obesity during critical illness // Nutrition. 2019. Vol. 57. P. 24–31. doi: 10.1016/j.nut.2018.05.008.
12. Макаркина М. А., Павел А. Р., Ветрова О. А. Биохимическая оценка сортов некоторых плодовых и ягодных культур селекции ВНИИСПК // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 4. С. 18–21. doi: 10.30850/vrsn/2020/4/18-21.
13. Sarkar P., Thirumurugan K. Modulatory functions of bioactive fruits, vegetables and spices in adipogenesis and angiogenesis // J. Funct. Foods. 2019. Vol. 53. P. 318–336. doi: 10.1016/j.jff.2018.12.036.
14. Papadaki A., Sanchez-Villegas A., Sanchez-Tainta A. Fruits and vegetables. The Prevention of Cardiovascular Disease through the Mediterranean Diet. London: Academic Press, 2018. P. 101–109. doi: 10.1016/B978-0-12-811259-5.00006-8.
15. Перспективные сорта черешни селекции ФГБНУ «ФНЦ им. И. В. Мичурина» / Р. Е. Богданов, А. Н. Юшков, Н. Н. Савельева и др. // Плодоводство и виноградарство России. 2020. Т. 60. С. 11–18. doi: 10.31676/2073-4948-2020-60-11-18.
16. Исследование агробιοлогических и биохимических показателей у вишни в зависимости от способа размножения / Г. Ю. Упадышева, С. М. Мотылёва, Д. В. Панищева и др. // Садоводство и виноградарство. 2021. № 2. С. 38–46. doi: 10.31676/0235-2591-2021-2-38-46.
17. Кружков А. В., Козаева М. И. Биологическая характеристика перспективных форм и сортов вишни // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 9–2 (77). С. 53–57.
18. Иваненко Е. Н., Дроник А. А. Реализация биологического потенциала сорта вишни Тургеневка в условиях резко континентального климата Астраханской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2 (54). С. 103–108. doi: 10.18286/1816-4501-2021-2-103-108.
19. Гусейнова Б. М., Магомедов Дж. А., Абдулгамидов М. Д. Комплексная оценка интродуцированного сортимента вишни, возделываемой в условиях предгорной провинции Дагестана // Вестник НГАУ. 2023. № 3. С. 18–28. doi: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-18-28.
20. Караев М. К., Батталов С. Б., Абдулгамидов М. Д. Агробιοлогические и товарно-технологические показатели интродуцированных сортов вишни в условиях предгорной провинции Республики Дагестан // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. № 30 (193). С. 40–50.
21. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е. Н. Седова. Орел: Изд-во Всерос. НИИ селекции плодовых культур, 1999. 608 с.
22. Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
23. Методические указания по химико-технологическому сортоиспытанию овощных, плодовых и ягодных культур для консервной промышленности / Всерос. НИИ консервной и овощесушильной промышленности; ред. кол.: В. Я. Бородова, Э. С. Горенков, О. А. Клюева и др. М.: Россельхозакадемия, 1993. 107 с.
24. МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/ysclid=1wukb0nuyh290451907> (дата обращения: 25.03.2024).
25. Формирование технологических и товарных качеств плодов вишни обыкновенной в условиях юга России / Р. Ш. Заремук, Ю. А. Доля, Т. Л. Смелик и др. // Садоводство и виноградарство. 2019. № 5. С. 17–22. doi: 10.31676/0235-2591-2019-5-17-22.
26. Франчук Е. П. Товарные качества плодов. М.: Колос, 1986. 76 с.
27. Гусейнова Б. М., Абдулгамидов М. Д. Технические и биохимические показатели качества селекционных

- сортот и гибридных форм черешни в условиях Дагестана // *Таврический вестник аграрной науки*. 2022. № 4 (32). С. 47–61.
28. Мегердичев Е. Я. Технологические требования к сортам овощных и плодовых культур, предназначенным для различных видов консервирования. М.: Россельхозакадемия, 2003. 95 с.
29. Kumar S., Pandey A. K. Free radicals: health implications and their mitigation by herbals // *Journal of Advances in Medicine and Medical Research*. 2015. Vol. 7 (6). P. 438–457. doi: 10.9734/BJMMR/2015/16284.
30. Сравнительный анализ химического состава плодов вишни и черешни различных сортов, выращенных в Самарской области / Т. О. Быкова, С. А. Алексашина, А. В. Демидова и др. // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2017. № 1 (355). С. 32–35.

Поступила в редакцию 08.04.2024

После доработки 29.04.2024

Принята к публикации 21.05.2024

УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕНОТИПОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ К СОЛЕВОМУ СТРЕССУ

©2024 г. А. А. Налбандян, кандидат биологических наук, Т. П. Федулова, доктор биологических наук, Т. С. Руденко, А. В. Моисеенко, И. В. Черепухина, кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара им. А. Л. Мазлумова,
396030, Воронежская обл., Рамонский район, пос. ВНИИСС, 86
E-mail: arpnal@rambler.ru

Исследования проводили с целью отбора устойчивых генотипов сахарной свёклы в условиях, моделирующих солевой стресс, для последующей селекции. В качестве материалов для экспериментов использовали растения сахарной свёклы, выращиваемые в условиях засоления 150 мМ, 280 мМ и 500 мМ. При засолении на уровне 150 мМ у образца РМС-127 наблюдали увеличение активности каталазы относительно контрольных образцов на 33,0 %, О-тип 2113 – на 14,1 %, ОП 021729 – на 81,4 %, МС 020026 – на 5,1 %. При повышении концентрации NaCl до 280 мМ у РМС-127 отмечали увеличение активности супероксиддисмутазы, по сравнению с контролем, на 28,9 %, МС 020022 – на 78,7 %, О-тип 09001 – на 54,3 %, ОП 021722 – на 65,5 %, ОП 021729 – на 67,3 %. В результате количественной ОТ-ПЦР в реальном времени у исследуемых генотипов сахарной свёклы в условиях 150 мМ и 280 мМ засоления выявлена экспрессия гена SOD и CAT. При засолении на уровне 150 мМ экспрессия гена SOD у образцов МС 020026, О-тип 2113 и ОП 021729 возрастала относительно контроля в среднем в 2,5 раза. Максимальный в опыте уровень экспрессии гена SOD отмечен у генотипов МС 020022 и РМС-127 при засолении 280 мМ (в 1,5 раза выше, чем в контроле). У образцов МС 020026, МС 020022, О-тип 09001 наибольшую экспрессию гена регистрировали при засолении 150 мМ и 280 мМ – выше, чем в контроле, в 5 раз, у О-тип 2113 аналогичную ситуацию отмечали в варианте со 150 мМ соли, экспрессия гена увеличивалась в 3 раза. По результатам исследования все исследуемые генотипы могут служить устойчивым к засолению исходным материалом для дальнейшей селекции.

RESISTANCE OF SUGAR BEET GENOTYPES TO SALT STRESS

A. A. Nalbandyan, T. P. Fedulova, T. S. Rudenko, A. V. Moiseenko, I. V. Cherepukhina

Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar,
396030, Voronezhskaya obl., Ramonskii r-n, pos. VNISS, 86
E-mail: arpnal@rambler.ru

In this work, using biochemical and molecular genetic approaches, the genotypes of sugar beet were studied under conditions simulating salt stress in order to select stable samples for breeding. Sugar beet plants grown under conditions of 150 mM, 280 mM and 500 mM salinity were used as materials for experiments. Under conditions of 150 mM salinity, samples RMS-127, O-type 2113, OP 021729, MS 020026 showed an increase in catalase activity by 33.0 %, 14.1 %, 81.4 %, 5.1 %, accordingly, with respect to control samples. In these genotypes, with an increase in NaCl concentration to 280 mM, an increase in superoxide dismutase activity was noted, in RMS-127 by 28.9 %, MS 020022 – 78.7 %, O-type 09001 – 54.3 %, OP 021722 – 65.5 %, OP 021729 – 67.3 % relative to the control. As a result of quantitative real-time RT-PCR, the expression of the SOD and CAT genes was detected in the studied sugar beet genotypes under conditions of 150 mM and 280 mM salinity. An increase in the expression of the SOD gene was shown in samples MS 020026, O-type 2113 and OP 021729 at 150 mM salinity, on average 2.5 times relative to the control. The maximum expression level of the SOD gene was established in the genotypes MS 020022 and RMS-127 at 280 mM salinity (1.5 times higher than the control). In MS 020026, MS 020022, O-type 09001, the maximum values of gene expression were recorded at 150 mM and 280 mM of salt, more than 5 times, and 3 times in O-type 2113 at 150 mM of salt, compared with the control. According to the results of the study, all the studied genotypes were selected as salinization-resistant starting material for breeding.

Ключевые слова: сахарная свёкла (*Beta vulgaris* L.), солевой стресс, каталаза, супероксиддисмутаза, экспрессия генов, адаптивная реакция.

Keywords: *Beta vulgaris* L., salt stress, catalase, superoxide dismutase, gene expression, adaptive response.

Главным направлением селекции сахарной свёклы считают создание гетерозисных гибридов, устойчивых к био- и абиотическим стрессорам. Одно из неблагоприятных состояний почв – засоление, которому в отдельных регионах страны подвержены от 20 до 50 % сельскохозяйственных земель [1]. Из-за засоления снижается плодородие почвы, что отрицательно влияет на онтогенез растений [2].

Засоление и засуха запускают в растениях один и тот же каскад метаболических реакций в ответ на стресс [3, 4]. Сильная засуха и растущая нехватка водных ресурсов представляют собой большую угрозу для выращивания сахарной свёклы.

Один из приоритетных способов повышения эффективности современной селекции – разработка и использование системы молекулярных маркеров для выявления генетической изменчивости и ассоциаций

генов, сцепленных с хозяйственно-важными признаками [5, 6, 7].

При полногеномном ассоциативном исследовании (GWAS) 328 зародышевых плазм сахарной свёклы китайские учёные выявили однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) и гены-кандидаты, связанные с устойчивостью к засухе [8]. Они установили 11 локусов, ассоциированных с этим признаком, расположенных на хромосомах 2, 3, 5, 7. Несинонимичными (nonsynonymous) оказались всего 9 из 108946 идентифицированных SNP. В общей сложности обнаружено 13 генов, выраженных у засухоустойчивых генотипов сахарной свёклы, что имеет важное значение для понимания молекулярных механизмов соле- и засухоустойчивости, а также улучшения растений сахарной свёклы [8].

Цель исследований – изучение генотипов сахарной свёклы в условиях, моделирующих солевой стресс,

с использованием молекулярно-генетического метода и отбор устойчивых образцов для селекции.

Методика. В качестве материалов для экспериментов были взяты листовые пластинки селекционно ценных генотипов сахарной свёклы селекции Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свёклы и сахара имени А. Л. Мазлумова (ФГБНУ «ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова») – МС 020026, МС 020022, О-тип 09001, О-тип 2113, ОП 021722, ОП 021729, РМС-127. Они относятся к раздельноплодным мужскостерильным линиям (МС), раздельноплодным опылителям – закрепителям стерильности Оуэн типа (О-тип), сростноплодным гетерозисным опылителям (ОП), характеризуются урожайностью от 39,4 т/га (МС 020026) до 72,1 т/га (гибрид РМС-127) и высоким сбором сахара – от 6,3 и до 16,2 т/га соответственно. Эти линии служат компонентами перспективных гибридов сахарной свёклы и обладают устойчивостью к болезням листового аппарата и корневым гнилям (табл. 1).

Семена сахарной свёклы перечисленных образцов выращивали в лабораторных условиях в вазонах при внесении в автоклавированную почву (чернозем выше-

лоченный) следующих концентраций хлорида натрия: 150 мМ, 280 мМ, 500 мМ. Такие варианты засоления связаны с тем, что концентрации 150 мМ NaCl, 280 мМ NaCl вызывают у растений сахарной свёклы «солевой стресс», способствующий увеличению активности антиоксидантных ферментов, каталазы и супероксиддисмутазы, а при 500 мМ NaCl наступает «солевой шок» [9].

Активность каталазы (КФ 1.11.1.6) определяли спектрофотометрическим методом по падению оптической плотности при 240 нм в результате разложения пероксида водорода. За активность фермента принимали разницу между оптической плотностью контрольной и опытной проб [10]. Активность фермента рассчитывали на 1 г сырой массы.

Активность супероксиддисмутазы (СОД, КФ 1.15.1.11) измеряли спектрофотометрическим методом по скорости окисления НАДН в присутствии нитросинего тетразолия и феназинметасульфата при длине волны 560 нм [11]. Активность фермента рассчитывали на 1 г сырой массы.

Для оценки уровня транскрипции генов выделяли РНК с использованием реагента Extract RNA (Evrogen, Россия) в соответствии с протоколом производителя. Качество РНК оценивали электрофорезом в 2 %-ном агарозном геле, дополненным 2,2 М формальдегида. Концентрацию РНК определяли анализатором Qubit® RNA HS Assay Kit (Thermo Fisher Scientific, США) на флуориметре Qubit 2.0 (Thermo Fisher Scientific). Обратную транскрипцию осуществляли с использованием M-MuLV (SibEnzyme, Россия) и Eppendorf Mastercycler Personal в соответствии с протоколом производителя. Количественную ОТ-ПЦР проводили с использованием SYBR Green I в системе реального времени Bio-Rad CFX96TM (Bio-Rad, США). Для определения оптимальной для амплификации температуры применяли температурный градиент. Финальная программа для генов CAT, MsIC и OSM включала 95 °C, 5' + ((95 °C, 35" + 59,5 °C, 30" + 72 °C, 20") × 32); для SOD 95 °C, 5' + ((95 °C, 35" + 58,5 °C, 30" + 72 °C, 30") × 40). Фрагменты генов амплифицировали с использованием следующих праймеров: SOD, 5'-ACTTGAGGATGACCTTGGCA-3' и 5'-AACACCAACAAGCCAATCTGC-3'; CAT, 5'-GCACAGAGATGAGGAGGTTCG-3' и 5'-ATGGGATGTCTCTCAGCGTGTG-3'; MsIC, 5'-AGCATGAGAAAAAGCGGCTC-3' и 5'-CCCGCTAGCAACACTAGCAT-3'; OSM, 5'-GCTTACGGAGTGAGCCTTGT-3' и 5'-CAAATCCTTTGCCCTCGTG-3'. В качестве референсных использовали гены GAPDH и ACTB β-актина. Все праймеры создавали с помощью PrimerBLAST (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast>).

Анализ выполняли в трех биологических и трех химических повторениях. Статистический анализ проводили методами дисперсионного анализа с использованием программы Statistica 10 (StatSoft, США). Результаты представлены как среднее значение ± стандартная ошибка среднего.

Результаты и обсуждение. Избыточные концентрации соли влияют на растения по-разному, включая ионную токсичность, окислительный стресс, а также снижение клеточного деления и размножения клеток, что приводит к задержке роста и развития, а также к ухудшению выживаемости растений [12, 13].

Растения выработали несколько механизмов, позволяющих либо исключать соль из своих клеток, либо переносить ее присутствие внутри клеток. Одним из таких механизмов служит система антиоксидантного метаболизма, включающая ферменты и неферментативные соединения, которые играют решающую роль как часть защитного механизма [14].

Табл. 1. Характеристика изученных генотипов (2022–2023 гг.)

Генотип	Селекционный статус	Продуктивность			Устойчивость к болезням
		урожайность, т/га	сахаристость, %	сбор сахара, т/га	
МС 020026	мужскостерильная раздельноплодная линия, материнский компонент	39,4	15,9	6,3	церкоспороз – средняя, корневые гнили – средняя, мучнистая роса – средняя
МС 020022	мужскостерильная раздельноплодная линия, материнский компонент	40,7	15,6	6,4	церкоспороз – средняя, корневые гнили – средняя, мучнистая роса – средняя
О-тип 09001	раздельноплодная линия закрепитель стерильности Оуэн-типа (О-тип)	43,5	16,0	6,9	церкоспороз – высокая, корневые гнили – высокая, мучнистая роса – высокая
О-тип 2113	раздельноплодная линия закрепитель стерильности Оуэн-типа (О-тип)	44,8	16,7	7,5	церкоспороз – высокая, корневые гнили – высокая, мучнистая роса – высокая
ОП 021722	сростноплодный опылитель, отцовский компонент	39,9	16,7	6,5	церкоспороз – средняя, корневые гнили – высокая, мучнистая роса – высокая
ОП 021729	сростноплодный опылитель, отцовский компонент	38,8	16,3	6,3	церкоспороз – средняя, корневые гнили – высокая, мучнистая роса – высокая
РМС-127	гибрид урожайно-сахаристый среднеспелый (N)	72,1	22,4	16,2	церкоспороз – средняя, корневые гнили – высокая, мучнистая роса – высокая
НСР ₀₅	--	4,6	0,2	0,9	--

У растений, которые выращивали в условиях засоления, отмечали следующую тенденцию: у образцов РМС-127, О-тип 2113, ОП 021722 при повышении концентрации NaCl до 150 мМ происходило увеличение активности каталазы в среднем в 1,5 раза относительно контроля, у ОП 021729 – в 5,4 раза. Такая ситуация, по-видимому, связана с активацией работы антиоксидантной системы. При этом у образцов МС 020026, МС 020022 и О-тип 09001 в условиях 150 мМ засоления активность каталазы практически не отличалась от контроля.

При увеличении концентрации NaCl до 280 мМ у образцов РМС-127 и МС 020022 наблюдали снижение активности каталазы в 1,2 раза, у номеров МС 020026, О-тип 09001, О-тип 2113 и ОП 021722 – в среднем в 4 раза, по сравнению с контрольными. У ОП 021729 в условиях 280 мМ NaCl активность фермента находилась на уровне контроля.

При засолении 500 мМ у образцов РМС-127 и МС 020022 активность каталазы снижалась, по сравнению с контролем, в среднем в 3 раза, О-тип 2113 и ОП 021722 – в 5,5 раз, ОП 021729 – в 1,8 раз. У образцов МС 020026 и О-тип 09001 наблюдали резкое уменьшение величины этого показателя в 32 и 14,6 раз соответственно, что, вероятно, связано с инактивацией фермента. Такие изменения коррелируют с тенденциями активности другого фермента антиоксидантной защиты – аскорбатпероксидазы, что установлено нашими предыдущими исследованиями [9].

Табл. 2. Изменение активности каталазы у растений сахарной свёклы в условиях солевого стресса

Генотип	Общая активность каталазы, Е/г с.м.			
	контроль	150 мМ NaCl	280 мМ NaCl	500 мМ NaCl
РМС-127	147,9±0,53	220,9±0,82**	118,2±0,35**	55,2±0,25*
МС 020026	205,0±0,46	216,0±0,62***	36,7±0,53**	6,4±0,26*
МС 020022	147,6±0,36	150,2±0,4	121,2±0,36**	44,8±0,36*
О-тип 09001	58,2±0,46	29,2±0,3***	19,2±0,5**	4,0±0,3**
О-тип 2113	81,9±0,4	95,4±0,52***	27,0±0,22**	18,2±0,12*
ОП 021722	35,3±0,13	46,0±0,25***	9,0±0,47**	5,3±0,17**
ОП 021729	11,8±0,24	63,6±0,67*	13,1±0,14***	6,6±0,22***

*разница с контрольным образцом соответствующего генотипа статистически значима при $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,05$.

При солевом стрессе в различных компартментах растительной клетки происходит увеличение образования супероксидных радикалов, которые генерируются преимущественно в процессе фотосинтеза в результате реакции восстановления кислорода. Далее СОД участвует в восстановлении радикалов до пероксида водорода, который затем может обезвреживаться до дегидроаскорбата под действием аскорбатпероксидазы [15].

У растений сахарной свёклы МС-формы 020022, в отличие от других исследуемых генотипов, наблюдали закономерное увеличение активности СОД относительно контроля при 150 мМ и 280 мМ засоления в 2 и 4,7 раза соответственно. При 500 мМ NaCl активность фермента была ниже, чем в контроле, в 3,4 раза. Аналогичную картину отмечали для генотипа ОП 021729. Однако при 500 мМ засоления активность фермента у этих растений была выше, чем в контрольном образце, в 1,5 раза.

У растений РМС-127 и ОП 021722 активность СОД возрастала в среднем в 2 раза, по сравнению с контролем, только в условиях 280 мМ засоления, а при 500 мМ NaCl она снижалась в среднем в 3 раза относительно контроля. У генотипа О-тип 09001, напротив, активность СОД увеличивалась при 150 мМ и 280 мМ засолении в 3 и 2 раза соответственно, по сравнению с контролем, а при 500 мМ находилась на том же уровне, что и в контрольных условиях.

У генотипа МС 020026 наибольшая активность фермента зарегистрирована только в условиях 150 мМ

засоления (в 1,5 раза выше, чем в контроле), а при 500 мМ она снижалась в 1,5 раза. У образца О-тип 2113 в условиях засоления фермент не проявлял свою активность относительно контрольных условий.

Такие результаты можно объяснить либо низкой солеустойчивостью растений, либо высокой концентрацией супероксидных анион-радикалов, что также приводит к ингибированию фермента.

Табл. 3. Изменение активности супероксиддисмутазы в растениях сахарной свёклы в условиях солевого стресса

Генотип	Общая активность супероксиддисмутазы (Е/г с.м.)			
	контроль	150 мМ NaCl	280 мМ NaCl	500 мМ NaCl
РМС-127	24,9±0,3	27,0±0,21**	35,0±0,43**	10,0±0,38**
МС 020026	9,8±0,24	13,9±0,29**	8,9±0,21**	6,4±0,19**
МС 020022	15,6±0,17	30,7±0,34*	73,3±0,31*	4,6±0,15**
О-тип 09001	3,2±0,2	10,0±0,27*	7,0±0,26**	2,7±0,31***
О-тип 2113	4,3±0,28	2,4±0,4**	2,3±0,43**	3,7±0,39***
ОП 021722	3,0±0,1	2,6±0,37	8,7±0,46***	0,75±0,17**
ОП 021729	1,7±0,12	3,26±0,18***	5,2±0,2**	2,2±0,19***

*разница с контрольным образцом соответствующего генотипа статистически значима при $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,05$.

Согласно теории «двухфазного ответа роста на засоление», первоначальный эффект воздействия засоления обусловлен осмотическими изменениями вне обработанных солью клеток и приводит к снижению способности растения поглощать воду (осмотический эффект) [16, 17]. Вторая фаза происходит из-за накопления солей в листьях. Чрезмерные концентрации солей в растительных клетках вызывают угнетение активности ферментов и окислительный стресс [17, 18]. В результате фотосинтез будет образовываться большое количество активных форм кислорода, удаляемых супероксиддисмутазой с образованием H_2O_2 , который, в свою очередь, метаболизируется каталазой до воды.

Согласно анализу экспрессии гена SOD у генотипов *Beta vulgaris*, которые выращивали в условиях засоления различной концентрации, она, преимущественно, увеличивалась при 150 мМ и 280 мМ NaCl. У образцов МС 020026, О-тип 2113 и ОП 021729 экспрессия гена SOD увеличивалась, относительно контроля, при 150 мМ NaCl в среднем в 2,5 раза, в то время как у генотипов МС 020022 и РМС-127 ее повышение в 1,5 раза происходило при 280 мМ NaCl. У образцов О-тип 09001 и ОП 021722 в условиях 150 мМ и 280 мМ засоления экспрессия гена SOD не изменялась относительно контроля либо незначительно повышалась в 0,5 раз (рис. 1).

У генотипов МС020022, О-тип 2113 и ОП 021729, выращенных в условиях 500 мМ засоления, экспрессия гена SOD резко снижалась у всех растений в среднем в 3,5 раза, по сравнению с вариантами 150 мМ и 280 мМ. Вероятно, это результат длительного воздействия

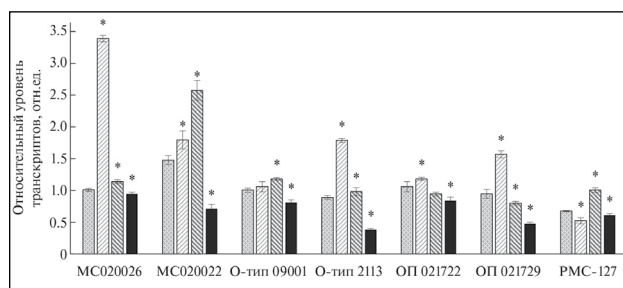


Рис. 1. Изменение относительного уровня транскриптов гена SOD у *Beta vulgaris* L. при действии солевого стресса: К – контрольный образец; * $p < 0,05$ – статистически значимая разница с контрольным образцом соответствующего генотипа: ■ – К; ▨ – 150 мМ NaCl; ▩ – 280 мМ NaCl; ■ – 500 мМ NaCl.

высокой концентрацией соли, при которой возникает осмотический шок. Такое количество соли оказывает ингибирующее влияние на рост, фотосинтез и урожайность растений сахарной свеклы. Нарушение фотосинтеза частично связано со снижением содержания хлорофилла из-за более высокой деградации пигментов, вызванной АФК [19]. Косвенно об этом свидетельствует значительное снижение активности супероксиддисмутазы. Однако для О-тип 09001 и сростноплодного опылителя ОП 021722 никакой заметной корреляции между экспрессией гена SOD и концентрацией соли не выявлено. Вероятно, это связано с потенциальной устойчивостью таких генотипов к засолению, о чем может свидетельствовать экспрессия генов в контрольных образцах либо при невысоких концентрациях NaCl. Относительно низкий рост экспрессии SOD у этих образцов, по сравнению с другими, соотносится с активностью супероксиддисмутазы.

Анализ результатов экспрессии гена CAT, кодирующего каталазу, у растений сахарной свеклы продемонстрировал аналогичную зависимость. У образцов MC020026, MC020022, О-тип 09001 при 150 мМ и 280 мМ соли она увеличивалась, по сравнению с контролем, более чем в 5 раз, О-тип 2113 при 150 мМ соли – в 3 раза (рис. 2). Экспрессия гена CAT в условиях засоления у ОП 021722, ОП 021729 и PMC-127 оставалась на уровне контроля, хотя для ОП 021722 и PMC-127 при обработке 150 мМ соли показано увеличение активности каталазы в 1,5 раза, для ОП 021729 – в 5,4 раза. Отсутствие различия в экспрессии гена CAT между опытными образцами и контрольным у перечисленных генотипов может быть связано с его конститутивной экспрессией.

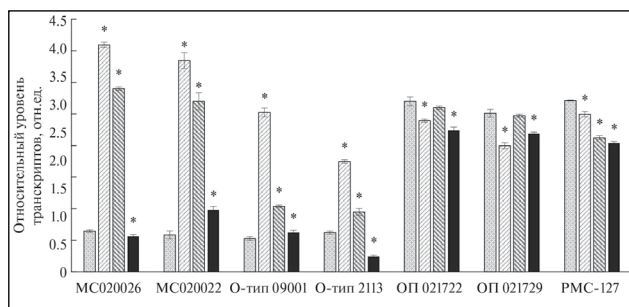


Рис. 2. Изменение относительного уровня транскриптов гена CAT у *Beta vulgaris* L. при действии солевого стресса: К – контрольный образец; * $p < 0,05$ – статистически значимая разница с контрольным образцом соответствующего генотипа: ▨ – К; ▤ – 150 мМ NaCl; ▦ – 280 мМ NaCl; ■ – 500 мМ NaCl.

Поскольку регуляция тургора сильно зависит от свойств клеточной стенки, исследование экспрессии генов, участвующих в ее динамических изменениях и трансмембранном транспорте, может иметь важное значение для регуляции клеточной экспансии в условиях засоления. В связи с этим, в образцах сахарной свеклы исследовали экспрессию гена MsIC, участвующего в трансмембранном транспорте [16].

Видимой корреляции между экспрессией гена MsIC и концентрацией соли не отмечено. В условиях 150 мМ засоления у MC 020026, О-тип 2113 и ОП 021722 она снижалась относительно контроля в среднем в 1,6 раз, тогда как у генотипов О-тип 09001, ОП 021729 и PMC-127, наоборот, увеличивалась в среднем в 1,4 раза. При 280 мМ засоления, аналогично засолению 150 мМ, у генотипов MC 020026, О-тип 2113, ОП 021722, а также генотипа MC 020022 экспрессия гена MsIC была снижена относи-

тельно контроля в среднем в 1,5 раза, а у генотипов О-тип 09001, ОП 021729 и PMC-127 оставалась на уровне контрольных образцов. В условиях 500 мМ засоления у образцов MC 020026, MC 020022, О-тип 2113 и ОП 021729 уровень экспрессии гена MsIC снижался относительно контроля в 1,5 раза, у ОП 021722 и PMC-127 – никак не менялся, а у генотипа О-тип 09001 – возрастал в 1,6 раз (рис. 3). Однако эти данные вряд ли можно расценивать как закономерность.

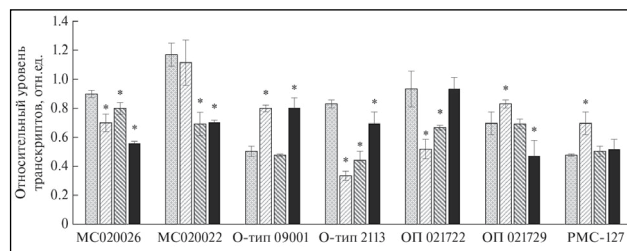


Рис. 3. Изменение относительного уровня экспрессии гена MsIC у *Beta vulgaris* L. при действии солевого стресса: К – контрольный образец; * $p < 0,05$ – статистически значимая разница с контрольным образцом соответствующего генотипа: ▨ – К; ▤ – 150 мМ NaCl; ▦ – 280 мМ NaCl; ■ – 500 мМ NaCl.

Ген OSM, участвующий в реакции на возбудителей болезней, предположительно, наряду с геном MsIC, может участвовать в механизме адаптации сахарной свеклы к абиотическому стрессу [16]. У всех образцов, обработанных солевым раствором, его экспрессия гена была ниже либо на уровне контроля (рис. 4). Следовательно, можно предположить, что у изученных генотипов сахарной свеклы ген OSM не участвует в адаптации к солевому стрессу.

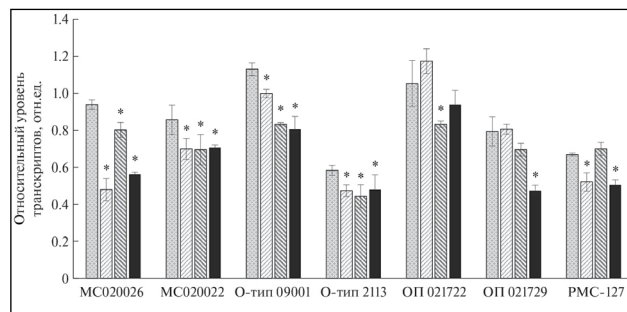


Рис. 4. Изменение относительного уровня экспрессии гена OSM у *Beta vulgaris* L. при действии солевого стресса: К – контрольный образец; * $p < 0,05$ – статистически значимая разница с контрольным образцом соответствующего генотипа: ▨ – К; ▤ – 150 мМ NaCl; ▦ – 280 мМ NaCl; ■ – 500 мМ NaCl.

Выводы. У образцов PMC-127, О-тип 2113, ОП 021722 в условиях 150 мМ засоления установлено увеличение активности каталазы, по сравнению с контрольными условиями без влияния NaCl, в 1,5 раза, у генотипа ОП 021729 – 5,4 раза. Самым значительным увеличением активности супероксиддисмутазы в условиях 280 мМ засоления (более чем в 2 раза относительно контроля) характеризуются растения гибрида сахарной свеклы PMC-127, мужскостерильной линии MC 020022, сростноплодных опылителей ОП 021722 и ОП 021729. Активность СОД достигала наибольших значений в условиях 150 мМ засоления у растений О-тип 09001 и MC 020026 (в среднем в 3 раза выше, чем в контроле). Эти генотипы отобраны как устойчивый исходный материал для включения в селекционный процесс.

Результаты оценки методом ПЦР в реальном времени относительного уровня транскриптов генов MsIC и OSM, участвующих в трансмембранном транспорте и реакции на возбудителей болезней, не показали изменения их экспрессии, которая могла быть вызвана солевым стрессом. Вероятнее всего они не участвуют в адаптивной реакции растений сахарной свёклы на стресс.

Экспрессия гена SOD у образцов MC 020026, О-тип 2113 и ОП 021729 при 150 мМ засолении возросла относительно контроля в среднем в 2,5 раза. Наибольший ее уровень у генотипов MC 020022 и РМС-127 отмечен при 280 мМ засолении (в 1,5 раза выше, чем в контроле).

Установлено значительное повышение экспрессии гена САТ относительно контрольных условий у генотипов MC 020026, MC 020022, О-тип 09001 при 150 мМ и 280 мМ засолении (более чем в 5 раз), а также у генотипа О-тип 2113 при 150 мМ соли (в 3 раза).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свёклы и сахара им. А. Л. Мазлумова. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Засоленные почвы России / Е. И. Панкова, Л. А. Воробьева, И. М. Гаджиев и др. М.: Академкнига, 2006. С. 857.
2. Засоление почвы и его влияние на растения / В. В. Иваннищев, Т. Н. Евграшкина, О. И. Бойкова и др. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. Т. 3. С. 28–42.
3. Chen J., Xia X., Yin W. Expression profiling and functional characterization of a DREB2-type gene from *Populus euphratica* // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2009. Vol. 378. P. 483–487. doi: 10.1016/j.bbrc.2008.11.071.
4. Analysis of N6-methyladenosine reveals a new important mechanism regulating the salt tolerance of sugar beet (*Beta vulgaris*) / J. Li, J. Wang, Q. Pang, et al. // *Plant Science*. 2023. Vol. 335. Article 111794. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016894522300211X> (дата обращения: 01.02.2024). doi: org/10.1016/j.plantsci.2023.111794.
5. Genetic and genomic tools to assist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives / F. Monteiro, L. Frese, S. Casto, et al. // *Frontiers Plant Science*. 2018. Vol. 9. Article 74. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5808244/> (дата обращения: 01.02.2024). doi: 10.3389/fpls.2018.00074.
6. Genetic and phenotypic assessment of sugar beet (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris*) elite inbred lines selected in Japan during the past 50 years / K. Taguchi, Y. Kuroda, K. Okazaki, et al. // *Breeding Science*. 2019. Vol. 69. P. 255–265. URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsbbs/69/2/69_18121/article-char/ja/ (дата обращения: 01.02.2024). doi: 10.1270/jsbbs.18121.
7. Galewski P., McGrath J. M. Genetic diversity among cultivated beets (*Beta vulgaris*) assessed via population-based whole genome sequences // *BMC Genomics*. 2020. Vol. 21. URL: <https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-020-6451-1> (дата обращения: 01.02.2024). doi: 10.1186/s12864-020-6451-1.
8. Genome-wide association study of drought tolerance traits in sugar beet germplasms at the seedling stage / W. Li, M. Lin, J. Li, et al. // *Frontiers in Genetics*. 2023. Vol. 14. Article 1198600. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2023.1198600/full> (дата обращения: 01.02.2024). doi: 10.3389/fgene.2023.1198600.
9. Изучение активности аскорбатпероксидазы и глутатионредуктазы у генотипов сахарной свёклы в условиях солевого стресса / Т. П. Феулова, А. В. Моисеенко, Т. С. Руденко и др. // *Сахар*. 2023. С. 20–24. doi: 10.24412/2413-5518-2023-8-20-24.
10. Aebi H. Isolation, purification, characterization, and assay of antioxygenic enzymes. Catalase in vitro // *Methods in Enzymology*. 1984. Vol. 105. P. 121–126. doi: 10.1016/S0076-6879(84)05016-3.
11. Beauchamp C., Fridovich L. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels // *Analytical Biochemistry*. 1971. Vol. 44. P. 276–287. doi: 10.1016/0003-2697(71)90370-8.
12. Munns R., Tester M. Mechanisms of Salinity Tolerance: Review Article // *Annual review of plant biology*. 2008. Vol. 59. P. 651–681. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.
13. Genetic associations uncover candidate SNP markers and genes associated with salt tolerance during seedling developmental phase in barley / S. Thabet, Y. Moursi, A. Sallam, et al. // *Environmental and Experimental Botany*. 2021. Vol. 188. Article 104499. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847221001295> (дата обращения: 01.02.2024). doi: 10.1016/j.envexpbot.2021.104499.
14. The antioxidant system in *Suaeda salsa* under salt stress / H. Li, H. Wang, W. Wen, et al. // *Plant Signaling & Behavior*. 2020. Vol. 15. Article 1771939. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15592324.2020.1771939> (дата обращения: 01.02.2024). doi: 10.1080/15592324.2020.1771939.
15. Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В., Ястреб Т. О. Функционирование антиоксидантной системы растений при солевом стрессе // *Вестник Харьковского национального аграрного университета им. В. Н. Каразина. Серия: Биология*. 2017. Т. 3. С. 23–45.
16. Salt stress and salt shock differently affect DNA methylation in salt-responsive genes in sugar beet and its wild, halophytic ancestor / M. Skorupa, J. Szczepanek, J. Mazur, et al. // *PLoS One*. 2021. Vol. 16. Article 5. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0251675> (дата обращения: 01.02.2024). doi: 10.1371/journal.pone.0251675.
17. Munns R. Genes and salt tolerance: bringing them together // *New Phytologist*. 2005. Vol. 167. P. 645–63. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x.
18. Hasanuzzaman M., Nahar K., Fujita M. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages // *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*. 2013. P. 25–87. doi: 10.1007/978-1-4614-4747-4_2.
19. C4 gene induction during de-etiolation evolved through changes in cis to allow integration with ancestral C3 gene regulatory networks / P. Singh, S. R. Stevenson, P. J. Dickinson, et al. // *Science Advances*. 2023. Vol. 9. Article eade9756. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.ade9756> (дата обращения: 01.02.2024). doi: 10.1126/sciadv.ade9756.

Поступила в редакцию 31.03.2024
После доработки 02.05.2024
Принята к публикации 21.05.2024

ПАРАМЕТРЫ ФОТОСИНТЕЗА И ПРОДУКТИВНОСТЬ КРАМБЕ АБИССИНСКОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА

© 2024 г. Т. Я. Прахова¹, доктор сельскохозяйственных наук, И. В. Одрин²

¹Федеральный научный центр лубяных культур,
170041, Тверь, Комсомольский просп., 17/56
E-mail: prakhova.tanya@yandex.ru

²Пензенский государственный аграрный университет,
440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30
E-mail: odrinilya@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки формирования фотосинтетической деятельности крамбе абиссинской и её продуктивности в зависимости от некорневой подкормки регуляторами роста для оптимизации элементов агротехники культуры в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Экспериментальную работу проводили в 2021–2023 гг. Материалом для исследования была крамбе абиссинская сорта Деметра. Схема опыта включала следующие варианты: контроль (без обработки); некорневая обработка препаратами Блэкджек; Гумат K/Na; Циркон; Альбит в рекомендованных производителями дозах. Опрыскивание вегетирующих растений проводили в фазе начала бутонизации культуры. Использование регуляторов роста способствовало увеличению площади ассимиляционной поверхности на 6,2...8,9 тыс. м²/га, фотосинтетического потенциала – на 0,3...0,5 тыс. м² × сут./га, чистой продуктивности фотосинтеза – на 0,3...1,5 г/м² × сут. и индекса листовой поверхности – на 0,17...0,35, по сравнению с контролем. Наибольшая площадь листьев сформировалась в вариантах с некорневой обработкой регуляторами Блэкджек и Гумат K/Na (69,1 и 70,3 тыс. м²/га соответственно). Самая высокая величина фотосинтетического потенциала отмечена в варианте с применением Гумат K/Na (3,40 млн м²/га × сут.). Наибольшую чистую продуктивность фотосинтеза (4,95 г/м² × сут.) наблюдали при обработке Цирконом. Коэффициент использования ФАР растениями крамбе составлял в зависимости от применяемых препаратов 1,28...1,78 % при величине этого показателя в контроле 1,16 %. Урожайность крамбе в среднем за 2021–2023 гг. составила 1,69...1,98 т/га. Применение регуляторов роста способствовало её существенному увеличению, прибавка составила 0,21...0,29 т/га. Наиболее эффективными были препараты Циркон и Блэкджек, применение которых обеспечило формирование наибольшей урожайности семян – 1,98 и 1,94 т/га соответственно.

PHOTOSYNTHESIS PARAMETERS AND PRODUCTIVITY OF CRAMBE ABYSSINICA WHEN USING GROWTH REGULATORS

T. Ya. Prakhova¹, I. V. Odrin²

¹Federal Scientific Center of Bast-Fiber Crops Breeding,
170041, Tver', Komsomol'skii prosp., 17/56
E-mail: prakhova.tanya@yandex.ru

²Penza State Agrarian University,
440014, Penza, Botanicheskaya ul., 30
E-mail: odrinilya@mail.ru

The article presents an assessment of the formation of photosynthetic activity of crambe abyssinica and its productivity depending on foliar feeding with growth regulators to optimize the elements of its cultivation technology in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region. Experimental work was carried out in 2021–2023. The object of research was the crambe abyssinica variety Demetra. The experimental design included the following options: control (without treatment); Blackjack (1.0 l/ha); Humate K/Na (1.0 l/ha); Zircon (1.0 l/ha); Albit (0.5 l/ha). The study conditions were different, the GTC varied from 0.80 to 1.29. Foliar treatment with preparations was carried out at the beginning of the budding phase of the crop. The use of growth regulators had a positive effect on the photosynthetic activity of crambe crops. Their use contributed to an increase in the assimilation surface area by 6.2...8.9 thousand m²/ha, photosynthetic potential by 0.3...0.5 thousand m² × day/ha, net photosynthetic productivity by 0.3...1.5 g/m² × day and leaf surface index by 0.17...0.35 compared with the control. The largest area of leaves was formed during the flowering phase of crambe and was noted in variants with foliar treatment with the regulators Blackjack and Humate K/Na (69.1 and 70.3 thousand m²/ha). The maximum value of photosynthetic potential was noted in the variant with the use of Humate K/Na (3.40 million m²/ha × day). The highest indicator of net photosynthetic productivity (4.95 g/m² × day) was observed in the variant treated with Zircon. The greatest increase in this parameter was observed against the background of the Zircon and Blackjack regulators, which amounted to 2.44. The coefficient of PAR use by crambe plants was 1.28...1.78 % depending on the treatment used, with 1.16 % in the control variant. The average crambe yield for 2021–2023 was 1.69...1.98 t/ha. The use of growth regulators contributed to a significant increase in yield, the increase was 0.21...0.29 t/ha. The most effective were the Zircon and Blackjack regulators, the use of which ensured the formation of the highest seed yield – 1.98 and 1.94 t/ha, respectively.

Ключевые слова: крамбе абиссинская (*Crambe abyssinica* H.), регуляторы роста, листовая подкормка, урожайность, фотосинтетическая деятельность, площадь листьев, фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза.

Keywords: *Crambe abyssinica* H., growth regulators, foliar feeding, productivity, photosynthetic activity, leaf area, photosynthetic potential, net photosynthetic productivity.

Крамбе абиссинская (*Crambe abyssinica* H.) – нетрадиционная масличная культура, ценность которой определяют, в первую очередь, высокая семенная продуктивность, валовой сбор растительного масла и ши-

рокий диапазон применения [1, 2]. В семенах крамбе содержится до 32,0...44,0 % масла с различным спектром использования – в химической и перерабатывающей промышленности [3], в медицине и парфюмерии [4],

в качестве источника для биотоплива [2, 5], а также в пищевой промышленности – для приготовления майонеза и маргарина [4]. С агрономической точки зрения, крамбе представляет интерес как сидеральная культура, которую, наравне с горчицей и редькой, относят к хорошим фитосанитарам для почв, поскольку она обладает большим потенциалом фитозэкстракции и фитостабилизации тяжелых металлов [4, 6].

По биологическим свойствам крамбе неприхотливая, засухоустойчивая и пластичная культура, которая хорошо адаптируется к различным условиям окружающей среды [1, 2, 6]. Несмотря на это, она остается малораспространенной культурой, что связано в первую очередь с недостаточностью развития рынка сбыта и изученностью особенностей технологии выращивания культуры.

Ряд авторов считают, что формирование высоких урожаев любой сельскохозяйственной культуры возможно при создании благоприятных условий для роста и развития растений, в которых в полной мере раскрывались бы потенциальные возможности их фотосинтетической деятельности в агроценозе [7, 8]. Результаты исследований, проведенных с различными сельскохозяйственными культурами, свидетельствуют, что их продуктивность определяется оптимальные соотношения отдельных элементов фотосинтеза, к которым относят размер листовой поверхности [9, 10], фотосинтетический потенциал и продуктивность фотосинтеза [11, 12]. С другой стороны, такие соотношения, и в целом интенсивность фотосинтетической деятельности, зависят от формирования посевов с хорошей структурой агроценоза, который в свою очередь определяют ряд внешних и внутренних факторов [13, 14], а также агротехнологические приемы возделывания культуры [15, 16].

Сегодня для формирования продуктивного агроценоза культурных растений, их устойчивости к абиотическим и биотическим факторам все активнее используют инновационные подходы, в том числе обработку семян и растений микроэlementными удобрениями и регуляторами роста [17, 18]. По данным многих исследователей, такие препараты отличаются не только высокой эффективностью и экологической безопасностью, но и увеличивают интенсивность фотосинтеза, способствуют росту продуктивности агрокультур. Под влиянием биостимуляторов и микроэlementов усиливается интенсивность и продуктивность фотосинтеза, изменяется структура урожая [19]. Положительный эффект применения микроудобрений проявляется в интенсификации роста вегетативной массы, улучшении динамики ростовых процессов и положительном воздействии на образование основных элементов структуры урожая и, как следствие, урожайности в целом [10]. Однако диапазон эффективности таких агрохимикатов может изменяться в зависимости от климатических условий возделывания культуры.

Цель исследований – оценка формирования фотосинтетической деятельности крамбе абиссинской и ее продуктивности при некорневой подкормке регуляторами роста в условиях лесостепи Среднего Поволжья для оптимизации элементов технологии возделывания культуры.

Методика. Работу проводили в 2021–2023 гг. на опытном поле Федерального научного центра лубяных культур (обособленное подразделение Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства), районный пос. Лунино, Пензенская область. Материалом для исследований была крамбе абиссинская сорта Деметра.

Схема опыта включала следующие варианты: контроль (без обработки); препараты Блэкджек (1,0 л/га); Гумат K/Na (1,0 л/га); Циркон (1,0 л/га); Альбит (0,5 л/га). Некорневые обработки регуляторами роста проводили в фазе начала бутонизации ранцевым опрыскивателем с расходом рабочего раствора из расчета 100 л/га.

Блэкджек – природный органический биостимулятор нового поколения на основе гумина, гуминовых, ульминовых и фульвокислот. Циркон – природный биостимулятор растительного негормонального происхождения, изготовлен на основе лекарственного растения эхинацеи пурпурной, содержит комплекс гидроксикоричных кислот и производных от них, а также спирт в качестве консерватора. Гумат K/Na – биостимулятор роста на основе высокоактивных гуминовых веществ, содержащий макро- и микроэlementы в хелатной форме в комплексе с аминокислотами и витаминами [16, 20]. Альбит, ТПС – комплексный эффективный биопрепарат, универсальный регулятор роста растений со свойствами фунгицида и комплексного удобрения [11].

Закладку опыта, все фенологические наблюдения, учеты и оценку урожайности культуры выполняли в соответствии с методическими указаниями по проведению опытов с различными культурами [21].

Предшественник – чистый пар. Посев крамбе осуществляли в 1 декаде мая сеялкой СН-13, рядовым способом (ширина междурядий – 15 см), норма высева составляла 2,5 млн всхожих семян на 1 га. Площадь опытной делянки 20 м², повторность – четырёхкратная. В процессе вегетации выполняли ручное мотыжение дорожек, в делянках – ручную прополку сорняков. Уборку осуществляли прямым способом в фазе полной спелости культуры селекционным комбайном САМПО-130.

Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднесиловый с содержанием гумуса в пахотном слое – 5,7 %, рН_{сол} – 4,9 ед. Количество легкогидролизуемого азота составляло 86,1 мг/кг (по Тюрину и Кононовой, ГОСТ 26951-86), подвижного фосфора – 132,1 мг/кг (по Чирикову, ГОСТ 2620491), калия – 107,7 мг/кг (по Чирикову, ГОСТ 26204-91).

Агроклиматические показатели в период вегетации крамбе за годы исследований контрастно различались. Вегетационный период в 2021 г. протекал в условиях недостаточного увлажнения, гидротермический коэффициент был равен 0,80. Всего выпало 144,5 мм осадков, или 84 % от среднесуточного количества. При этом среднесуточные температуры достигали 21,2 °С, что на 1,6 °С выше климатической нормы. Вегетационный период культуры в 2022 г. протекал в условиях избыточного увлажнения, ГТК составлял 1,29. За период активной вегетации культуры выпало 182,4 мм осадков при среднесуточных температурах воздуха 17,0 °С. Условия 2023 г. были наиболее благоприятными для развития крамбе и характеризовались как умеренно-увлажненные (ГТК 1,02). Сумма осадков составила 169,6 мм, температура 18,0 °С.

Параметры фотосинтетических показателей (площадь листовой поверхности, фотосинтетический потенциал (ФП), чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), индекс листовой поверхности) определяли согласно методике, представленной А. А. Ничипоровичем [22] в фазе массового цветения культуры.

Коэффициент использования растениями ФАР рассчитывали путем отношения произведения фактической урожайности сухой биомассы и калорийности органического вещества единицы урожая к величине фотосинтетической активной радиации (ФАР) за период вегетации культуры. Потенциальную урожайности

семян рассчитывали исходя из соотношения основной продукции к побочной при стандартной влажности семян по формуле:

$$ПУ = ПУ_{\text{биол}} \times 100 / (100 - \text{Вл}) \times \text{Л},$$

где $ПУ_{\text{биол}}$ – биологическая урожайность абсолютно сухой массы биомассы, т/га; Вл – стандартная влажность основной продукции, %; Л – сумма частей соотношения семян к соломе. В свою очередь, $ПУ_{\text{биол}}$ зависит от коэффициента использования растениями ФАР и суммы ФАР за период вегетации культуры [23]. Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа с использованием программы MS Excel и Statistica.

Результаты и обсуждение. Применение изучаемых препаратов для некорневой подкормки положительно влияло на рост и развитие растений крамбе, что выражалось в повышении их сохранности к уборке, уровень которой составлял 171...190 шт./м² в зависимости от варианта опыта, что выше контроля на 9...12 шт. на 1 м².

В среднем за годы изучения все применяемые регуляторы роста способствовали увеличению листовой поверхности посевов крамбе на 6,2...8,9 тыс. м²/га (табл. 1). Наибольшей она была в вариантах с некорневой обработкой регуляторами Блэкджек и Гумат К/Na – соответственно 69,1 и 70,3 тыс. м²/га, что может быть обусловлено усилением адаптационных свойства растительного организма к неблагоприятным факторам внешней среды под влиянием этих препаратов.

Табл. 1. Показатели фотосинтетической деятельности крамбе в зависимости от некорневой обработки регуляторами роста (среднее за 2021–2023 гг.)

Вариант	Площадь листовой поверхности, тыс. м ² /га	Фотосинтетический потенциал, тыс. м ² ×сут./га	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² ×сут.	Индекс листовой поверхности, ед.
Контроль	61,4	2,94	3,46	2,09
Гумат К/Na	70,3	3,40	4,84	2,42
Альбит	68,3	3,28	3,80	2,26
Циркон	67,6	3,23	4,95	2,44
Блэкджек	69,1	3,31	4,66	2,44
НСР ₀₅	4,01	0,24	0,36	-

Формирование фотосинтетического потенциала посевов крамбе происходит в соответствии с нарастанием площади листьев. В среднем за три года исследований его величина по вариантам опыта составила 2,94...3,40 тыс. м²×сут./га. Регуляторы роста увеличивали продолжительность функционирования ассимиляционной поверхности, по сравнению с контролем, и, как следствие, фотосинтетический потенциал и чистую продуктивность фотосинтеза на 0,29...0,46 тыс. м²×сут./га и 0,34...1,49 г/м²×сут. соответственно.

Наибольшая величина фотосинтетического потенциала отмечена в варианте с применением препарата Гумат К/Na, которая не только превышала контроль (на 0,46 млн м²×сут./га), но и величины этого показателя в вариантах с другими регуляторами (на 0,09...0,17 млн м²×сут./га). То есть обработка растений этим стимулятором способствует более продуктивной работе их листовой поверхности за сутки в период вегетации. В то же время применение Гумата К/Na приводит к некоторому снижению чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) до 4,84 г/м²×сут. Это связано с формированием большой вегетативной массы и объема листового аппарата, что, в свою очередь, приводит к затенению растения и, в конечном итоге, к снижению

активного радиационного режима и чистой продуктивности фотосинтеза.

Как известно, ЧПФ наиболее стабильный показатель фотосинтеза, который в меньшей степени изменяется под влиянием внешних условий и в большей зависит от количества сухой биомассы, которую синтезирует 1 м² листовой поверхности [23]. В среднем увеличение ЧПФ в вариантах с применением регуляторов роста составило 0,34...1,49 г/м²×сут. относительно варианта без обработки. При этом некорневая обработка растений Цирконом и Гуматом К/Na обеспечивала наибольшую чистую продуктивность фотосинтеза (соответственно 4,95 и 4,84 г/м²×сут.) крамбе.

Следует отметить, что в основном протекание процесса фотосинтеза обеспечивают листья растений. Поэтому немаловажным показателем, который определяет интенсивность этого процесса, считают индекс листовой поверхности (ИЛП). В зависимости от культуры и условий произрастания его величина обычно варьирует в диапазоне от 1 до 7 и выше [21]. Применение регуляторов роста на крамбе повышало индекс листовой поверхности, по сравнению с контролем, на 0,17...0,35. Наибольшее его увеличение (до 2,44) наблюдали на фоне препаратов Циркон и Блэкджек.

Формирование оптимальной площади ассимиляционной поверхности растений способствует максимальному поглощению листьями солнечной радиации в процессе фотосинтеза и служит основным условием повышения урожайности культур [22]. При этом некоторые исследователи отмечают, что при слишком большой величине этого показателя в загущенных посевах происходит затенение нижних и средних листьев, что отрицательно сказывается на накоплении биомассы растений [14].

Формирование высокого урожая во многом предопределяется способностью растений наиболее эффективно использовать энергию фотосинтетической активной радиации (ФАР) с высоким коэффициентом полезного действия [22]. В среднем за три года исследований продолжительность вегетационного периода крамбе составила 85 суток, суммарный приход ФАР в условиях региона за период вегетации культуры – 97,6620 кДж/м². Коэффициент использования ФАР растениями крамбе в контрольном варианте был равен 1,16 %, при обработке посевов регуляторами роста он увеличился на 0,12...0,62 % (табл. 2).

Табл. 2. Урожайность крамбе в зависимости от некорневой обработки растений регуляторами роста (среднее за 2021–2023 гг.)

Вариант	Коэффициент использования ФАР, %	Потенциальная урожайность, т/га	Фактическая урожайность, т/га
Контроль	1,16	2,09	1,69
Гумат К/Na	1,57	2,70	1,93
Альбит	1,28	2,20	1,90
Циркон	1,78	3,06	1,98
Блэкджек	1,62	2,78	1,94
НСР ₀₅	-	-	0,18

Согласно критериям, разработанным А. А. Ничипоровичем, при величине коэффициента использования ФАР в пределах 0,5...1,5 % посевы относят к обычному наблюдаемому, 1,5...3,0 % – к хорошим, 3,5...5,0 % – к рекордным и при коэффициенте от 6,0 до 8,0 % – к теоретически возможным. Исходя из этого, при обработке регуляторами Гумат К/Na, Циркон и Блэкджек посевы крамбе относятся к хорошим, а в контроле и варианте с обработкой Альбитом – к обычными.

Результат фотосинтетической деятельности культуры – ее продуктивность как конечный продукт, отражающий

все процессы онтогенеза, и поэтому больше всего подверженный воздействию факторов окружающей среды. Потенциальная урожайность крэмбе, в зависимости от прихода и использования ФАР, была очень высокой и составляла в вариантах с некорневой обработкой регуляторами роста 2,20...3,06 т/га при 2,09 т/га в контроле. Самая высокая величина этого показателя отмечена при использовании препарата Циркон, применение которого, вероятно, способствует лучшему росту и развитию растений, а также формированию посевов, наиболее эффективно и рационально использующих фотосинтетическую активную радиацию. Однако такие урожаи возможны только при оптимальном сочетании почвенных и метеорологических условий.

В связи с тем, что климатические условия Пензенского региона отличаются контрастностью и нестабильностью, фактическая урожайность крэмбе в среднем за 2021–2023 гг. составила 1,69...1,98 т/га. При этом все изучаемые регуляторы роста способствовали ее значительному увеличению на 0,21...0,29 т/га относительно варианта без обработки.

Наибольшую прибавку урожая семян обеспечило применение регуляторов роста Циркон и Блэкджек (соответственно 0,29 и 0,25 т/га), в варианте с которыми сформировалась наибольшая урожайность – 1,98 и 1,94 т/га. Действие этих препаратов сглаживало влияние агроклиматических факторов, сдерживающих рост продуктивности сельскохозяйственных культур. Применение препаратов Альбит и Гумат К/Na повышало урожайность крэмбе соответственно на 0,21 и 0,24 т/га при наименьшей существенной разнице 0,19 т/га.

Кроме урожайности культуры, некорневая обработка растений регуляторами роста положительно влияла на масличность и массу 1000 семян, которые увеличивались относительно контроля на 0,3...3,1 % и 0,09...0,38 г соответственно (табл. 3). Наибольшее содержание масла отмечено в вариантах с некорневой обработкой препаратами Циркон (36,7 %) и Блэкджек (37,9 %). Его сбор в этих вариантах достигал 0,65 т/га. По массе 1000 семян выделились варианты с использованием Гумата К/Na и Блэкджека – соответственно 7,02 и 7,08 г.

Табл. 3. Масличность и крупность семян крэмбе в зависимости от некорневой обработки растений (Пензенский НИИСХ, 2021–2023 гг.)

Вариант	Масличность, %	Масса 1000 семян, г	Сбор масла, т/га
Контроль	34,8	6,84	0,52
Гумат К/Na	35,6	7,02	0,61
Альбит	35,1	6,95	0,59
Циркон	36,7	6,93	0,65
Блэкджек	37,9	7,08	0,65
НСР ₀₅	0,5	0,07	0,11

Выводы. Использование изучаемых регуляторов роста путем некорневой обработки растений положительно влияет на фотосинтетическую деятельность посевов крэмбе абиссинской, что способствует созданию благоприятных условий для её роста и развития и, как следствие, формирования урожайности в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Их применение способствовало увеличению площади ассимиляционной поверхности на 10,1...14,5 %, фотосинтетического потенциала – на 9,9...15,6 % и чистой продуктивности фотосинтеза – на 9,8...43,1 %. При этом обработка крэмбе регуляторами Гумат К/Na, Циркон и Блэкджек позволяет отнести ее посевы по величине коэффициента использования ФАР, который составил 1,57...1,78 %, к категории «хорошие».

Наиболее эффективными были препараты Циркон и Блэкджек, применение которых обеспечило формирование наибольшей урожайности семян – соответственно 1,98 и 1,94 т/га с масличностью – 36,7 и 37,9 %.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2022-0008). Авторы благодарят рецензентов за экспертную оценку статьи.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

- Исакова А. Л. Крэмбе абиссинская – перспективная масличная культура для Беларуси // *Наше сельское хозяйство*. 2021. № 19 (267). С. 23–27.
- Прахова Т. Я. Перспективная масличная культура *Crambe Abyssinica* // *Достижение науки и техники АПК*. 2013. № 8. С. 31–33.
- Crambe (Crambe abyssinica Hochst): A Non-Food Oilseed Crop with Great Potential: A Review* / D. Samarappuli, F. Zanetti, S. Berzuini, et al. // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. No. 9. Article 1380. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/9/1380> (дата обращения: 10.04.2024). doi: 10.3390/agronomy10091380.
- Турина Е. Л., Прахова Т. Я., Радченко Л. А. Значение крэмбе абиссинской (*Crambe Abyssinica*) и ее урожайность в различных странах мира (обзор) // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 4 (76). С. 66–72. doi: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-66-72.
- Crambe – Energy efficiency of biomass production and mineral fertilization. A case study in Poland* / K. Jankowski, M. Sokółski, A. Szatkowski, et al. // *Industrial Crops and Products*. 2022. Vol. 182. Article 114918. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669022004010?via%3Dihub> (дата обращения: 10.04.2024). doi: 10.1016/j.indcrop.2022.114918.
- Сазонкин К. Д., Никитов С. В., Виноградов Д. В. Возделывание крэмбе абиссинской в условиях Рязанской области // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2022. Т. 14. № 1. С. 62–69. doi: 10.36508/RSATU.2022.40.49.007.
- Гуцина В. А., Никольская Е. О., Кочемазова Н. В. Фотосинтетическая деятельность старовозрастных посевов эхинацеи пурпурной в лесостепи Среднего Поволжья // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 2. С. 18–24. doi: 10.28983/asjy.2022i2pp18-24.
- Бельшикина М. Е. Фотосинтетическая деятельность посевов и формирование урожая ранних сортов сои // *Известия ТСХА*. 2019. № 1. С. 34–44.
- Косенко С. В. Связь листовой поверхности различных по скороспелости сортов озимой пшеницы с продуктивностью в условиях лесостепи Среднего Поволжья // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023. № 2 (392). С. 168–170. doi: 10.55186/25876740_2023_66_2_168.
- Вознесенская Т. Ю., Веревкина Т. М. Влияние инновационных форм удобрений на нарастание листового аппарата и его фотосинтетическую деятельность // *Плодородие*. 2018. № 6 (105). С. 9–12. doi: 10.25680/S19948603.2018.105.03.

11. Снигирева О. М., Ведерников Ю. Е., Баталова Г. А. Формирование фотосинтетического аппарата яровой пшеницы сорта Баженка под влиянием регуляторов роста // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 6. С. 7–10. doi: 10.31857/S2500262720060022.
12. Юсова О. А., Николаев П. Н., Васюкевич В. С. Фотосинтетическая активность как фактор формирования урожайности и качества нового зернофуражного сорта овса Иртыш 33 // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 6. С. 25–28. doi: 10.31857/S2500262723060054.
13. Ионов Е. В., Газе В. Л., Лиховидова В. А. Фотосинтетическая деятельность и динамика накопления сухой массы растений озимой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1 (67). С. 23–27. doi: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27.
14. Параметры фотосинтеза масличных культур семейства Brassicaceae / Т. Я. Прахова, А. Н. Кишикаткина, Г. В. Ильина и др. // Аграрный научный журнал. 2020. № 5. С. 34–37. doi: 10.28983/asj.y2020i5pp34-37.
15. Кузьменко Н. Н., Ильина В. И. Влияние агротехнологических элементов возделывания на формирование фотосинтетического аппарата и урожайность льна-долгунца сорта Универсал // Земледелие. 2021. № 5. С. 36–40. doi: 10.24412/0044-3913-2021-5-36-40.
16. Бакулова И. В., Плужникова И. И., Криушин Н. В. Влияние агроприемов на фотосинтетическую деятельность и продуктивность нового сорта конопли посевной в условиях Среднего Поволжья // Аграрная наука. 2023. № 372 (7). С. 80–84. doi: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-80-84.
17. Габбасов И. И., Низамов Р. М., Сулейманов С. Р. Влияние удобрений марки Изagri на ростовые процессы и продуктивность ярового рапса // Достижения науки и техники АПК. 2019. № 5. С. 34–38. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10508.
18. Зубкова Т. В., Мухина М. Т., Виноградов Д. В. Особенности применения микроудобрений в агроценозах ярового рапса // Плодородие. 2023. № 3 (132). С. 44–48. doi: 10.25680/S19948603.2023.132.11.
19. Фотосинтетическая продуктивность и структура урожая яровой пшеницы под влиянием нанокремния в сравнении с биологическим и химическим препаратами / А. А. Хорошилов, Н. Е. Павловская, Д. Б. Бородин и др. // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 3. С. 487–499. doi: 10.15389/agrobiology.2021.3.487rus.
20. Прахова Т. Я., Таишев Н. Р. Сортвые особенности и приемы повышения продуктивности горчицы белой // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 3. С. 19–24. doi: 10.31857/S2500262723030043.
21. Методика проведения полевых и агротехнических опытов с масличными культурами / В. М. Лукомец, Н. М. Тишков, В. Ф. Баранов и др. Краснодар: ВНИИМК, 2010. 323 с.
22. Ничипорович А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. М.: АН СССР, 1961. 93 с.
23. Можсаев Н. И., Серикпаев Н. А., Стыбаев Г. Ж. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. Астана: Фолиант, 2013. 160 с.

Поступила в редакцию 13.04.2024

После доработки 29.04.2024

Принята к публикации 21.05.2024

ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДОВ И СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ЗЕРНОВУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ГОРОХА В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

© 2024 г. **Х. Ш. Тарчоков**¹, кандидат сельскохозяйственных наук, **Ф. Х. Бжинаев**¹, кандидат сельскохозяйственных наук, **А. Х. Журтова**^{1,2}, стажер-исследователь

¹Институт сельского хозяйства – филиал
ФНЦ «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»,
360004, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224

²Научно-образовательный центр ФНЦ «Кабардино-Балкарский
научный центр Российской академии наук»,
360004, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224
E-mail: ishkbncran@yandex.ru

Исследования проводили с целью оценки влияния приемов основной обработки почвы и гербицидов на сорные растения и урожайность зерна сорта гороха Кадет. Работу выполняли в 2016–2018 гг. в условиях степной зоны Кабардино-Балкарской Республики. Почва опытного участка – предкавказский карбонатный чернозем тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Схема опыта включала следующие варианты: способ основной обработки почвы (фактор А) – отвальная вспашка ПЛН-4-35 на глубину 25...28 см; безотвальная плоскорезная обработка КПП-2.2 на 25...28 см; безотвальная чизельная обработка АКП-2.5 с чизельными лапами на 16...18 см; гербициды (фактор В) – без гербицидов; Тристар, КС 2,5 л/га, внесенный перед всходами под «слепое» боронование; Гарнизон, ВР 2,0 л/га (обработка посевов в фазе 3...5 листьев культуры); Тристар, КС 2,0 л/га + Гарнизон, ВР 2,0 л/га в указанные сроки. Максимальная в опыте гибель сорняков зафиксирована на 28...30 день после химобработки посевов в варианте с применением Тристар, КС на фоне отвальной вспашки (81,2 %). Совместное использование гербицидов Гарнизон, ВР и Тристар, КС было эффективным вне зависимости от способов основной обработки почвы (75...79 % гибели сорняков). Снижение засоренности посевов к концу вегетации способствовало росту урожайности зерна гороха с 2,2...2,6 до 2,4...2,9 т/га. Наибольшая в опыте прибавка в размере 0,5...0,6 т/га отмечена при совместном использовании гербицидов Тристар, КС и Гарнизона, ВР.

THE INFLUENCE OF HERBICIDE SYSTEMS AND METHODS OF BASIC TILLAGE ON GRAIN PRODUCTIVITY OF PEAS IN THE CONDITIONS OF THE STEPPE ZONE OF KABARDINO-BALKARIA

H. Sh. Tarchokov¹, **F. H. Bzhinaev**¹, **A. Kh. Zhurtova**^{1,2}

¹Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific
Center of the Russian Academy of Sciences,
360004, Kabardino-Balkaria, Nalchik, ul. Kirova, 224

²Scientific and Educational Center of the Federal Research Center
«Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»,
360004, Kabardino-Balkaria, Nalchik, ul. Kirova, 224
E-mail: ishkbncran@yandex.ru

The research was carried out in order to assess the impact of basic tillage and herbicides on weeds and grain yields of the Kadet pea variety. The work was carried out in 2016–2018 in the conditions of the steppe zone of the Kabardino-Balkarian Republic. The soil of the experimental site is Precaucasian carbonate chernozem of heavy loamy granulometric composition. The scheme of the experiment included the following options: the method of basic tillage (factor A) – dump plowing of PLN-4-35 to a depth of 25...28 cm; non-shaft flat-cutting treatment of CNG-2.2 by 25...28 cm; non-shaft chisel treatment of ACP-2.5 with chisel paws by 16...18 cm; herbicides (factor B) – without herbicides; Tristar, CS 2.5 l/ha, applied to the surface layer of the soil before germination for «blind» harrowing; Garnison, VR 2.0 l/ha (processing of crops in the phase of 3...5 leaves of culture); Tristar, CS 2.0 l/ha + Garnison, VR 2.0 l/ha. The maximum death of weeds in the experiment was recorded on 28...30 days after chemical treatment of crops in the Tristar application variant, soil action COP at a dose of 2.0 l/ha against the background of dump plowing (81.2 %). The use of herbicides Garnison, VR and Tristar, CS 2.0 l/ha was the most effective when used in combination, regardless of the methods of basic tillage (75...79 % of weed death). Reducing the contamination of crops by the end of the growing season contributed to an increase in the yield of pea grain from 2.2...2.6 to 2.4...2.9 t/ha. The largest increase in the experiment in the amount of 0.5 and 0.6 t/ha was noted when using Tristar CS herbicides, 2.0 l/ha in combination with the introduction of Garnison, VR in the same dosage, but for vegetative plants.

Ключевые слова: горох (*Pisum sativum* L.), система защиты, сорняки, гербициды, техническая эффективность, обработка почвы.

Keywords: peas (*Pisum sativum* L.), protection system, weeds, herbicides, technical efficiency, tillage.

Засоренность посевов – один из ключевых факторов, сдерживающих повышение урожайности гороха. На продуктивность этой культуры влияют более 200 видов сорных растений различной степени вредности [1]. Рядом исследований установлено, что использование приемов минимализации обработки почвы, включая и ее крайнюю степень – прямой посев, приводило к увеличе-

нию уровня засоренности агроценозов гороха [2, 3]. При этом следует отметить, что ассортимент гербицидов, рекомендованных для защиты гороха от сорняков, не так обширен, как для зерновых колосовых [4].

Современные агротехнологии – это комплекс технологических операций по управлению продукционным процессом сельскохозяйственных культур в агроценозах

с целью обеспечения экологической безопасности и определенной экономической эффективности [5].

Сельскохозяйственным полевым культурам, в том числе и гороху, принадлежит решающая роль в удовлетворении все возрастающих потребностей народного хозяйства в растительном белке [6]. Горох (*Pisum sativum* L.) – немногочисленный по видовому составу род, относящийся к семейству бобовых. Эта ценная кормовая и пищевая культура характеризуется высоким содержанием белка как в зерне, так и в вегетативных органах – стеблях, корнях и листьях. В 100 кг зерна культуры содержится более 120 кормовых единиц (корм. ед.) и 20,5 кг переваримого протеина, а в таком же количестве зеленой массы – соответственно 20 корм. ед. и 3,2 кг.

Горох – культура, требовательная к уровню влагообеспеченности. Для нормального прорастания его семян после посева требуется до 130...150 % воды от их собственной массы, что в 3...4 раза больше, чем для злаковых культур. Кроме того, при определении места гороха в севооборотах следует учитывать его слабую конкурентоспособность к сорным растениям. Проблема усугубляется тем, что горох в начале вегетации отличается медленным ростом и развитием, и сорные растения, особенно ранних видов, перехватывают элементы питания и влагу из почвы. В результате подобного соперничества со стороны сорно-полевого сообщества существенно снижается урожайность культуры.

Цель исследований – оценить влияние гербицидов различного спектра действия на доминирующие виды сорных растений на фоне разных систем основной обработки почвы.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи: изучить влияние способов основной обработки почвы на урожайность зерна гороха; установить влияние гербицидов на засоренность посевов и зерновую продуктивность гороха; определить эффективность применения почвенных и повсходовых препаратов в отдельности и в сочетании.

Методика. Исследования проводили на экспериментальном поле лаборатории технологии возделывания полевых культур Института сельского хозяйства – филиала «Федерального научного центра «Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук» (Кабардино-Балкарская Республика, Терский р-н, п. Опытный). Почва опытного участка – обыкновенный (карбонатный) чернозем с содержанием в пахотном (0...20 см) слое почвы гумуса – 3,0...3,5 %, P_2O_5 (по Мачигину) – 15,6...28,7 мг/кг почвы, K_2O (по Мачигину) – 360...430 мг/кг почвы, pH – 6,8...7,0 единиц.

В опыте во все годы исследований высевали сорт гороха посевного Кадет. Он относится к группе средне-спелых сортов с вегетационным периодом 70...93 суток, устойчив к полеганию, засухоустойчивость – выше средней, устойчивость к осыпанию высокая, масса 1000 семян – 179...248 г, содержание белка в зерне – 27,4 %. Пригоден к прямому комбайнированию, средняя урожайность – 1,95, максимальная – 4,67 т/га.

Горох выращивали в трехпольном зернопропашном севообороте с чередованием культур кукуруза – озимая пшеница – горох на зерно. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов:

прием основной обработки почвы (фактор А) – вспашка плугом ПЛН-4-35 на глубину 25...28 см; безотвальная плоскорезная обработка КПП-2.2 на 25...28 см; безотвальная обработка чизель-культиватором АКП-2.5 с чизельными лапами на 16...18 см;

гербициды (фактор В) – Тристар, КС 2,5 л/га (опрыскивание почвы перед всходами культуры под «слепое»

боронование); Гарнизон, ВР 2,0 л/га (опрыскивание по всходам в фазе 2...3 листа гороха); Тристар, КС 2,0 л/га + Гарнизон, ВР 2,0 л/га. Расход рабочей жидкости – 250...300 л/га.

Гербицид Гарнизон, ВР (480 г/л) предназначен для обработки вегетирующих растений, применяется против малолетних двудольных сорняков, в том числе устойчивых к 2-метил-4-хлорфеноксиуксусной кислоте (МЦПА, 2М-4Х); Тристар, КС (500 г/л) – довсходовый препарат против малолетних злаковых и двудольных сорняков.

Расположение вариантов систематически в два яруса. Общая площадь делянок 150 м², учетная – 120 м². Засоренность посевов в течение вегетации определяли количественно-весовым методом перед внесением гербицидов, спустя 28...30 дней после их применения и перед уборкой урожая.

Технология возделывания гороха на зерно – общепринятая. Основную часть минеральных удобрений вносили осенью под основную обработку почвы ($P_{90}K_{60}$), аммиачную селитру в дозе 30 кг/га д.в. – весной под культивацию КПС-4.0.

Среднегодовое количество осадков на территории проведения опыта – 360...400 мм. В годы исследований погодные условия несколько отличались от средне-многолетних (табл. 1). Сумма осадков в 2016 г. превышала норму на 117,7 мм, в 2018 г. эта разница составляла 25,2 мм. В 2017 г., наоборот, осадков выпало меньше среднемноголетнего количества на 59,9 мм. Средняя температура воздуха была выше нормы на 1,8...2,1 °С при относительной влажности воздуха в пределах 73,0...74,0 % против 77,0 % в норме.

Табл. 1. Метеоусловия в годы проведения исследований (по данным агрометеорологического поста «Куйна», пос. Опытный Терского района Кабардино-Балкарской Республики)

Год	Осадки, мм	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %
2016	687,7	11,9	74,0
2017	410,1	12,1	74,0
2018	495,2	12,2	73,0
Средне-многолетние данные (норма)	470,0	10,1	77,0

В посевах гороха произрастало более 20 видов сорняков, относящихся к различным ботаническим семействам. В отдельные годы доминировали многолетние корнеотпрысковые: осот розовый (*Wirsium arvense* Z.) и осот желтый (*Sonchus arvensis* Z.), вьюнок полевой (*Convolius arvensis* Z.). Среди малолетних (злаковых и двудольных) сорняков доминировали такие виды, как амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* Z.), дымянка лекарственная (*Fumaria officinalis* Z.), лисохвост полевой (*Alepecurus agrestis* Z.), марь белая (*Chenopodium album* Z.), портулак огородный (*Portulaca aleracea* Z.), просо куриное (*Echinochloa crus-galli* Z.), щетинник сизый (*Setaria glauca* P.B.) и щетинник зеленый (*Setaria viridis* P.B.).

Урожайность определяли методом прямого комбайнирования учетной площади делянок с последующим пересчетом на зерно стандартных кондиций. Математическую обработку данных осуществляли методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову.

Результаты и обсуждение. Первым приемом в земледелии, который был направлен на борьбу с сорными растениями, служила обработка почвы. При этом разные приемы и глубина основной обработки почвы, выполненные отдельными орудиями, приводили к изменению условий произрастания культурных и сорных растений [7, 8].

Табл. 2. Влияние способов основной обработки почвы и приемов ухода на засоренность посевов гороха (среднее за 2016–2018 гг.), шт./м²

Прием основной обработки почвы (фактор А)	Гербицид (фактор В), л/га	Перед внесением посевных гербицидов, шт.	Спустя 28...30 дней после внесения посевных гербицидов	
			шт.	% гибели
Вспашка ПЛН-4-35	без гербицидов	150	160	-
	Тристар, КС	70	30	81
	Гарнизон, ВР	170	75	53
	Тристар, КС	63	35	78
	+ Гарнизон, ВР	113	75	71
Безотвальная плоскорезная обработка КПГ-2.2	без гербицидов	110	120	-
	Тристар, КС	75	36	70
	Гарнизон, ВР	130	80	33
	Тристар, КС	70	30	75
	+ Гарнизон, ВР	96	66	59
Безотвальная чизельная обработка АКП-2.5	без гербицидов	140	150	-
	Тристар, КС	73	37	75
	Гарнизон, ВР	130	98	35
	Тристар, КС	75	31	79
	+ Гарнизон, ВР	104	79	63
Среднее по гербицидам (фактор В)	без гербицидов	133	143	-
	Тристар, КС	73	34	75
	Гарнизон, ВР	143	84	40
	Тристар, КС	69	32	77
	+ Гарнизон, ВР	104	73	64
Среднее по приемам основной обработки почвы (фактор А)	вспашка	113	75	71
	ПЛН-4-35	96	66	59
	безотвальная плоскорезная обработка КПГ-2.2	104	79	63
	безотвальная чизельная обработка АКП-2.5	104	73	64
	среднее	104	73	64
НСР для факторов	А	11	6	2
	В	13	12	8
	АВ	12	8	5

Результаты первого учета (количественного) засоренности посевов гороха свидетельствуют о том, что в вариантах опыта без гербицидов численность сорняков в среднем по фонам основной обработки почвы составляла 110...150 шт./м² (табл. 2). Однако спустя 28...30 дней после применения гербицидов засоренность посева гороха на фоне отвальной вспашки снижалась на 53...81 %, по сравнению с вариантом без гербицидов. Техническая эффективность применяемых препаратов заметно снижалась на фонах с безотвальными приемами обработки почвы: с КПГ-2.2 – на 33...75 %, с АКП-2.5 – на 35...79 %.

Самый высокий уровень подавления сорняков достигался при внесении в почву гербицида Тристар, КС перед всходами на фоне вспашки, их гибель составила 81 %. На фоне безотвальных обработок почвы эффект от внесения этого препарата был несколько меньше и составлял 70...75 %.

Применение гербицида Гарнизон, ВР в дозе 2 л/га по всходам культуры на различных фонах основной обработки почвы подавляло не более 33...53 % сорняков. Однако при его использовании в сочетании с препаратом Тристар, КС в дозе 2,0 л/га уровень гибели сорных растений независимо от фона обработки почвы достигал 75...79 %.

Эффективность химпрополки и приемов основной обработки почвы в борьбе с засоренностью посевов гороха не снижалась и к уборке гороха (табл. 3). Так, наибольшее количество сорняков зафиксировано в незащищенных

вариантах – 180...192 шт./м² при их сухой надземной массе 92,0...105,0 г/м². При раздельном использовании гербицидов уменьшение численности сорняков составляло 57...69 %. Наиболее высоким оно было в вариантах с совместным применением гербицидов в дозах по 2 л/га – 79...90 % при незначительной надземной массе ослабленных растений, не превышающей 20...24 г/м². При этом максимальное в опыте снижение засоренности наблюдали на фоне вспашки, где численность сорняков не превышала 18 шт./м².

Табл. 3. Эффективность способов основной обработки почвы и системы гербицидов в борьбе с сорняками на посевах гороха перед уборкой (в среднем за 2016–2018 гг.)

Прием основной обработки почвы (фактор А)	Гербицид (фактор В), л/га	Количество сорняков на 1 м ²		
		всего, шт.	% гибели	сухая надземная масса, г
Вспашка ПЛН-4-35	без гербицидов	180	-	92
	Тристар, КС	72	57	78
	Гарнизон, ВР	58	68	55
	Тристар, КС	18	90	20
	+ Гарнизон, ВР	82	72	61
Безотвальная плоскорезная обработка КПГ-2.2	без гербицидов	192	-	105
	Тристар, КС	75	61	80
	Гарнизон, ВР	60	69	53
	Тристар, КС	30	84	24
	+ Гарнизон, ВР	89	63	66
Безотвальная чизельная обработка АКП-2.5	без гербицидов	183	-	95
	Тристар, КС	74	60	82
	Гарнизон, ВР	59	68	52
	Тристар, КС	39	79	22
	+ Гарнизон, ВР	89	69	63
Среднее по гербицидам (фактор В)	без гербицидов	185	-	129
	Тристар, КС	74	59	80
	Гарнизон, ВР	59	68	53
	Тристар, КС	29	84	36
	+ Гарнизон, ВР	87	70	75
Среднее по приемам основной обработки почвы (фактор А)	вспашка	82	72	61
	ПЛН-4-35	89	63	66
	безотвальная плоскорезная обработка КПГ-2.2	89	69	63
	безотвальная чизельная обработка АКП-2.5	87	68	63
	среднее	87	68	63
НСР для факторов	А	2	2	1,5
	В	5	5	11
	АВ	3,5	3,0	6,0

Различная степень засоренности посевов к концу вегетации отразилась на величине урожайности зерна гороха (табл. 4). В самом благоприятном по осадкам 2018 г. она составила 2,5...3,1 т/га. В более засушливом 2017 г. величина этого показателя была равна 2,3...2,9 т/га, в 2016 г. – 2,1...2,8 т/га.

При рассмотрении изучаемых факторов в отдельности максимальную в опыте урожайность зерна отмечали на фоне вспашки – 2,3...2,9 т/га, при безотвальной обработке она составляла 2,2...2,7 т/га. Использование гербицидов обеспечивало прибавку к соответствующему незащищенному варианту на фоне отвальной вспашки 0,3...0,6 т/га, при обработке КПГ-2.2 – 0,2...0,5 т/га, АКП-2.5 – 0,1...0,2 т/га. Самую высокую окупаемость использования гербицидов (прибавка урожая зерна в расчете на 1 л препарата) обеспечило применение Гарнизон, ВР на фоне вспашки ПЛН-4-35 – 200 кг/л.

Табл. 4. Урожайность гороха в зависимости от приемов основной обработки почвы и применения гербицидов, т/га

Прием основной обработки почвы (фактор А)	Гербицид (фактор В), л/га	Год			Средняя
		2016	2017	2018	
Вспашка ПЛН-4-35	без гербицидов	2,1	2,3	2,6	2,3
	Тристар, КС	2,5	2,6	2,8	2,6
	Гарнизон, ВР	2,6	2,7	2,9	2,7
	Тристар, КС	2,8	2,9	3,1	2,9
	+ Гарнизон, ВР среднее	2,5	2,6	2,8	2,6
Безотвальная плоскорезная обработка КПП-2.2	без гербицидов	2,2	2,3	2,6	2,2
	Тристар, КС	2,3	2,4	2,5	2,4
	Гарнизон, ВР	2,4	2,4	2,8	2,5
	Тристар, КС	2,6	2,7	2,8	2,7
	+ Гарнизон, ВР среднее	2,4	2,5	2,7	2,5
Безотвальная чизельная обработка АКП-2.5	без гербицидов	2,3	2,3	2,6	2,4
	Тристар, КС	2,4	2,5	2,6	2,5
	Гарнизон, ВР	2,4	2,4	2,8	2,5
	Тристар, КС	2,7	2,6	2,7	2,7
	+ Гарнизон, ВР среднее	2,5	2,5	2,7	2,5
Среднее по гербицидам (фактор В)	без гербицидов	2,2	2,3	2,6	2,3
	Тристар, КС	2,4	2,5	2,6	2,5
	Гарнизон, ВР	2,5	2,6	2,8	2,6
	Тристар, КС	2,7	2,7	2,9	2,8
	+ Гарнизон, ВР среднее	2,5	2,5	2,7	2,6
Среднее по приемам основной обработки почвы (фактор А)	вспашка ПЛН-4-35	2,5	2,6	2,8	2,6
	безотвальная	2,4	2,5	2,7	2,5
	плоскорезная об- работка КПП-2.2				
	безотвальная чи- зельная обработка АКП-2.5	2,5	2,5	2,7	2,5
	среднее	2,5	2,5	2,7	2,5
НСР для факторов	А	0,13	0,10	0,11	0,11
	В	0,12	0,15	0,13	0,13
	АВ	0,12	0,13	0,12	0,12

Выводы. В условиях степной зоны Кабардино-Балкарии на предкавказских (карбонатных) черноземах техническая и хозяйственная эффективность гербицидов на фоне разных приемов обработки почвы меняется. Их применение при выращивании гороха на фоне основной обработки почвы с оборотом пласта на глубину 25...28 см сохраняет от потерь до 0,3...0,6 т/га семян культуры. По безотвальным способам основной обработки почвы урожайность культуры снижается, по сравнению со вспашкой, на 0,2 т/га. При этом применение гербицидов Тристар, КС и Гарнизон, ВР на их фоне сохраняет от потерь до 0,2...0,5 т/га зерна гороха.

В условиях сложного типа засоренности поля, где можно ожидать повышенной вредоносности сорно-полевого сообщества, перед всходами гороха целесообразно использовать Тристар, КС в норме 2,5 л/га под «слепое» боронование. Против двудольных малолетников и некоторых многолетних видов (осоты, вьюнок по-

левой и др.) следует проводить обработку вегетирующих посевов в фазе 3...5 листьев препаратом Гарнизон, ВР в норме 2,0 л/га. Наилучший эффект обеспечивает их совместное применение в нормах по 2,0 л/га.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Института сельского хозяйства – филиала ФГБНУ ФНЦ «Кабардино-Балкарский научный центр РАН». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Лунова Н. Н., Никольский А. Н., Бочкарев Д. В. Распространение сорных растений в регионах (на примере Республики Мордовия и Ленинградской области) // Вестник защиты растений. 2017. № 1 (91). С. 33–38.
2. Постников П. А. Агрометеорологические условия и урожайность гороха в севооборотах // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 10 (32). С. 57–60.
3. Мальцев И. Г., Эседуллаев С. Т., Лощина А. Э. Влияние технологий обработки почвы и гербицидов на засоренность и продуктивность сельскохозяйственных культур // Защита и карантин растений. 2019. № 3. С. 12–16.
4. Кирюшин В. И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов развития сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2019. № 3 (33). С. 5–10. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10301.
5. Зотов В. И. Роль зернобобовых и крупяных культур в адаптивности и диверсификации растениеводства // Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. № 3 (11). С. 3–11.
6. Влияние многолетнего использования различных способов основной обработки почвы под озимую пшеницу на сорный компонент агрофитоценоза / В. М. Передериева, О. И. Власова, Г. Р. Дорожко и др. // Земледелие. 2023. № 6. С. 29–33.
7. Лунова Н. Н. Сорные растения и сорная флора как основа фитосанитарного районирования (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 2. (182). С. 139–150.
8. Изменение видового и количественного состава сорного компонента агроценоза при нулевой технологии возделывания озимой пшеницы / М. А. Несмеянова, С. И. Коржова, Е. В. Коротких и др. // Земледелие. 2022. № 4. С. 44–48.

Поступила в редакцию 03.04.2024

После доработки 24.04.2024

Принята к публикации 21.05.2024

ВИДОВОЙ СОСТАВ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СЕПТОРИОЗОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНОВ-ЭФФЕКТОРОВ В ПОПУЛЯЦИЯХ *PARASTAGONOSPORA* SPP. НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ РФ

© 2024 г. Ю. В. Зеленева¹, доктор биологических наук, И. Б. Аблова², доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, Л. М. Мохова², кандидат сельскохозяйственных наук

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
196608, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3
E-mail: zelenewa@mail.ru

²Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко,
350012, Краснодар, Центральная усадьба
E-mail: ablova@mail.ru

Исследования проводили с целью уточнения видового состава возбудителей септориоза пшеницы и характеристики популяций *Parastagonospora nodorum* и *P. pseudonodorum* на наличие генов-эффекторов *Tox1*, *Tox3*, *ToxA* и *Tox267* для создания искусственных инфекционных фонов и выявления источников и доноров устойчивости к листовым пятнистостям. Работу выполняли в условиях Краснодарского края и Ленинградской области. Материалом для исследования служили собранные в 2023 г. образцы пораженных растений. Доминировал вид *Zymoseptoria tritici*, обнаруженный на всех растительных образцах (встречаемость 100 %). *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* отмечали реже. В Ленинградской области встречаемость *P. nodorum* составила 80 %, *P. pseudonodorum* – 60 %, в Краснодарском крае – 11,76 и 35,29 % соответственно. В работе впервые использовали пару праймеров *SnTox2DONRF/SnTox2DONRS* для тестирования российских популяций *Parastagonospora* spp. на наличие гена *Tox267*. Молекулярный скрининг выявил гены *ToxA* и *Tox1* у *P. nodorum* и *P. pseudonodorum*, а также гены *Tox3* и *Tox267* только у *P. nodorum*. Среди изученных 28 изолятов *P. nodorum* наличие гена *ToxA* обнаружено у 29 % (8 изолятов из Краснодарского края). Ген *Tox1* отмечен у 32 % (5 изолятов из Ленинградской области и 4 из Краснодарского края). Ген *Tox3* идентифицирован у 64 % (8 изолятов из Краснодарского края и 10 из Ленинградской области). Ген *Tox267* удалось обнаружить только в генотипе 8 изолятов из Краснодарского края, что составило 29 % от изученных. Среди 87 изолятов *P. pseudonodorum* в генотипе 5 % идентифицирован ген *ToxA* (4 изолята из Краснодарского края) и 23 % *Tox1* (17 изолятов из Ленинградской области и 3 из Краснодарского края).

SPECIES COMPOSITION OF SEPTORIA BLOTCH OF CEREAL CROPS AND IDENTIFICATION OF EFFECTOR GENES IN POPULATIONS OF *PARASTAGONOSPORA* SPP. ON THE TERRITORY OF KRASNODAR AND LENINGRAD REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Yu. V. Zeleneva¹, I. B. Ablova², L. M. Mokhova²

¹All-Russian Institute of Plant Protection,
196608, Sankt-Peterburg, Pushkin, sh. Podbel'skogo, 3
E-mail: zelenewa@mail.ru

²National Center of Grain named after P. P. Lukyanenko,
350012, Krasnodar, Tsentral'naya usad'ba
E-mail: ablova@mail.ru

The studies were conducted in Krasnodar and Leningrad Oblast s in order to clarify the species composition of wheat septorioses pathogens and further characterize the populations of *Parastagonospora nodorum* and *P. pseudonodorum* for the presence of effector genes *Tox1*, *Tox3*, *ToxA* and *Tox267* using associated molecular markers to create artificial infection backgrounds to identify sources and donors of leaf spot resistance. The material for the study was represented by samples of affected plants collected in 2023. In the Leningrad Oblast and Krasnodar Krai the species of *Zymoseptoria tritici* demonstrated predominance. It was detected on all of the examined plant samples (100 % occurrence). *P. nodorum* and *P. pseudonodorum* were noticed less frequently in the Leningrad Oblast, the occurrence of *P. nodorum* was 80 %, while *P. pseudonodorum* – 60 %. In Krasnodar Krai, the occurrence of *P. pseudonodorum* comprised 35.29 %, while *P. nodorum* – 11.76 %. In the present study the primer pair *SnTox2DONRF/SnTox2DONRS* was applied for the first time to test Russian populations of *Parastagonospora* spp. for the presence of the *Tox267* gene. Molecular screening revealed the *ToxA* and *Tox1* genes in *P. nodorum* and *P. pseudonodorum*, while the *Tox3* and *Tox267* genes were identified only in *P. nodorum*. Of the 28 *P. nodorum* isolates studied, the presence of the *ToxA* gene was found in 29 % (8 isolates from the Krasnodar Krai). The *Tox1* gene was noted in 32 % (5 isolates from the Leningrad Oblast and 4 from the Krasnodar Krai). The *Tox3* gene was identified in 64 % of 28 (8 isolates from the Krasnodar Krai and 10 from the Leningrad Oblast). The *Tox267* gene was found only in the genotype of 8 isolates from the Krasnodar Krai, which amounted to 29 % of those studied. The study also included 87 isolates of *P. pseudonodorum*. Of these, 5 % had *ToxA* in the genotype (4 isolates from the Krasnodar Krai) and 23 % *Tox1* (17 isolates from Leningrad Oblast; 3 from the Krasnodar Krai).

Ключевые слова: *P. nodorum*, *P. pseudonodorum*, *Tox1*, *Tox267*, *Tox3*, *ToxA*, *Z. tritici*, молекулярно-генетический анализ, ПЦР, пшеница, тритикале, фитопатогенные грибы.

Keywords: *P. nodorum*, *P. pseudonodorum*, *Tox1*, *Tox267*, *Tox3*, *ToxA*, *Z. tritici*, molecular genetic analysis, PCR, wheat, triticale, phytopathogenic fungi.

Потери урожая сельскохозяйственных культур, вызванные микозными инфекциями, представляют серьезную угрозу для продовольственной безопасности [1]. Септори-

озы – распространенные во многих странах заболевания зерновых культур, вызываемые грибами отдела *Ascomycota*, класса *Ascomycetes*, подкласса *Dothideomycetidae*.

В последние годы в регионах России в патогенном комплексе пшеницы доминирует *Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvl. & Crous. Этот возбудитель, относящийся к семейству *Mycosphaerellaceae*, который также известен как *Septoria tritici* blotch (STB), вызывает септориоз листьев пшеницы, тритикале, ячменя и ржи. Преобладание *Z. tritici* может быть связано с различными факторами, включая изменение климатических условий, агротехники и сортового состава пшеницы [2, 3]. *Z. tritici* – опасный возбудитель болезни пшеницы во всех странах – производителях зерна [4, 5]. Даже при применении фунгицидов наблюдается снижение урожайности культуры на уровне 5...10 % [6].

Кроме того, на территории Российской Федерации циркулируют два вида рода *Parastagonospora*: *P. nodorum* (Berk.) Quaedvl., Verkley & Crous и *P. pseudonodorum* (ранее известный как *P. avenae* f. sp. *triticea*) [7, 8]. Эти возбудители септориоза листьев и колоса зерновых культур [9] относятся к семейству *Phaeosphaeriaceae*.

Подобно *Z. tritici*, *P. nodorum* может паразитировать не только на пшенице, но и на других растениях. *P. pseudonodorum* обычно обнаруживают к концу вегетационного периода на листьях, стеблях и колосках пшеницы и тритикале. Все три патогена – *Z. tritici*, *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* – представляют серьезную угрозу для зерновых культур по всему миру и могут привести к значительным потерям урожая до 30...40 % [10].

P. nodorum и *P. pseudonodorum* – грибы, известные своей способностью производить некротрофные эффекторы (necrotrophic effectors – NEs), включая хозяин-специфичные токсины (host selective toxins – HSTs). Они играют важную роль в патогенности грибов [11, 12]. При взаимодействии с растением эти эффекторы и токсины способны вызывать некротические реакции и подавлять иммунную систему, что способствует развитию болезни.

На сегодняшний день идентифицировано девять взаимодействий токсинов *P. nodorum* с генами пшеницы: SnToxA – *Tsn1* [13], SnTox1 – *Snn1* [14], SnTox2 – *Snn2* [15], SnTox3 – *Snn3-B1* [16], SnTox3 – *Snn3-D1* [17], SnTox4 – *Snn4* [18], SnTox5 – *Snn5* [19], SnTox6 – *Snn6* [20] и SnTox7 – *Snn7* [21]. Изначально считавшиеся разными эффекторами SnTox2, SnTox6 и SnTox7 на самом деле оказались одним и тем же белком, который обозначили как SnTox267 [22]. Показано, что некротрофные эффекторы присутствуют и у *P. pseudonodorum* [23].

Защита сельскохозяйственных культур от септориозных пятнистостей осуществляется главным образом с использованием генетической устойчивости хозяина и путем применения фунгицидов [4, 5]. Однако проблема септориозных пятнистостей остается актуальной из-за способности популяций грибов противостоять мерам контроля, включая развитие устойчивости к фунгицидам, преодоление устойчивости хозяина и адаптацию к изменениям климата [6].

Цель исследований – уточнение видового состава возбудителей септориоза пшеницы на территории Краснодарского края и Ленинградской области, а также характеристика популяций *Parastagonospora nodorum* и *P. pseudonodorum* на наличие генов-эффекторов *Tox1*, *Tox3*, *ToxA* и *Tox267* с использованием связанных с ними молекулярных маркеров для составления селекционных программ и защитных мероприятий сельскохозяйственных растений.

Методика. Образцы пораженных растений были собраны в 2023 г. на территории Краснодарского края и Ленинградской области на полях по диагонали через равные расстояния. Они представляли собой листья пшеницы и тритикале с явными симптомами септориоза.

Табл. 1. Происхождение инфекционного материала

Название инфекционного образца	Происхождение инфекционного образца/ растение-хозяин, координаты размещения поля
78-23	Ленинградская область, Приозерский район / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Галина, 60°39'50.7", 30°5'3.81"
79-23	Ленинградская область, Гатчинский район / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Галина, 59°27'42.44", 30°12'6.21"
80-23	Ленинградская область, Гатчинский район / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Галина, 59°29'56.43", 30°22'4.65"
81-23	Ленинградская область, Гатчинский район / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Московская 56, 59°25'26.29", 30°1'58.05"
82-23	г. Санкт-Петербург, Пушкинский район / озимая тритикале (<i>×Triticosecale</i> Wittm. ex A. Camus) сорт Тихон, 59°44'36.37", 30°29'54.78"
83-23	Краснодарский край, Павловский район / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Гром, 45°58'42.74", 39°37'33.27"
84-23	Краснодарский край, Павловский район / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Юка, 45°58'42.74", 39°37'33.27"
85-23	Краснодарский край, Кореновский район / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Гром, 45°26'49.61", 39°29'36.46"
86-23	Краснодарский край, станция Ленинградская / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Безостая 100, 46°19'5.55", 39°25'45.88"
87-23	Краснодарский край, станция Ленинградская / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Москвич, 46°19'5.55", 39°25'45.88"
88-23	Краснодарский край, станция Ленинградская / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Гомер, 46°19'5.55", 39°25'45.88"
89-23	Краснодарский край, станция Ленинградская / озимая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорт Еланчик, 46°19'5.55", 39°25'45.88"
90-23	Краснодарский край, г. Краснодар Центральная усадьба КНИИСХ / озимая тритикале (<i>×Triticosecale</i> Wittm. ex A. Camus) селекционная линия, 45°3'33.23", 38°54'35.74"
91-23	Краснодарский край, г. Краснодар / озимая твердая пшеница (<i>Triticum durum</i> Desf.) селекционная линия, 45°3'33.23", 38°54'35.74"
92-23	Краснодарский край, г. Краснодар / яровая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) селекционная линия, 45°3'33.23", 38°54'35.74"
93-23	Краснодарский край, г. Краснодар / яровая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) селекционная линия, 45°3'33.23", 38°54'35.74"
94-23	Краснодарский край, г. Краснодар / яровая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) селекционная линия, 45°3'33.23", 38°54'35.74"
95-23	Краснодарский край, г. Краснодар / яровая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) селекционная линия, 45°3'33.23", 38°54'35.74"
96-23	Краснодарский край, г. Краснодар / яровая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) селекционная линия, 45°3'33.23", 38°54'35.74"
97-23	Краснодарский край, г. Краснодар / яровая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) селекционная линия, 45°3'33.23", 38°54'35.74"
98-23	Краснодарский край, г. Краснодар / яровая мягкая пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.) селекционная линия, 45°3'33.23", 38°54'35.74"
99-23	Краснодарский край, г. Краснодар / пшеница полоникум (<i>Triticum polonicum</i>) селекционная линия, 45°3'33.23", 38°54'35.74"

В 2023 г. для Ленинградской области были характерны экстремально жаркие погодные условия и недостаточное количество осадков, которые отмечали в течение всего вегетационного сезона зерновых культур (с 3 декады мая до 1 декады августа). Это привело к слабому развитию

Табл. 2. Список праймеров для ПЦР

Локус	Праймер	Последовательность 5'-3'	Литературный источник	Размер ампликона, п.н.
Tox1	SnTox1cF	ATGAAGCTTACTATGGTCTTGT	[20]	500
	SnTox1cR	TGTGGCAGCTAACTAGCACA		
Tox3	SnTox3cF	CTCGAACCACGTGGACCCGGA	[27]	600
	SnTox3cR	CTCCSCTCGTGGGATTGCCCATATG		
ToxA	TA51F	GCGTTCTATCCTCGTACTTC	[22]	573
	TA52R	GCATTCTCCAATTTTCACG		
Tox267	SnTox2_DONR_F	GGGGACAAGTTTGTACAAAAAAGCAG	[22]	2000
		GCTCATAATCCTAGTAAGGGATG		
	SnTox2_DON_RS	GGGGACCACTTTGTACAAGAAAGCTG		
		GGTCTTAGATACCGTGCCATGAGA		

не только септориозных пятнистостей, но и всего патогенного комплекса, а также к замедленному физиологическому развитию самих зерновых культур.

В Краснодарском крае с февраля по июнь количество осадков превосходило среднемноголетнюю норму на 23...58 %. Наблюдали затяжные дожди, часто ливневого характера, что существенно обострило фитосанитарную обстановку в посевах пшеницы и тритикале по пятнистостям листьев. Массовое распространение и высокая вредоносность септориоза были обусловлены оптимальным температурным режимом на фоне избытка осадков.

Материал собирали в фазе молочно-восковой спелости растений в соответствии со шкалой Задокса (75...85). Листья с типичными признаками септориоза гербаризировали (табл. 1).

После сбора, образцы листьев отправляли в лабораторию для определения видового состава возбудителей септориозных пятнистостей [24]. Грибы выделяли в чистую культуру на картофельно-глюкозный агар (КГА) и описывали их морфологические и культуральные свойства [25].

Определение видового состава возбудителей септориозных пятнистостей проводили в лабораторных условиях. Результаты диагностики видовой принадлежности возбудителя болезни к виду *P. nodorum* или *P. pseudonodorum* подтверждали методом секвенирования с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии». Всего проанализировано 115 моноконидиальных изолятов рода *Parastagonospora*.

Геномную ДНК грибов выделяли из чистой культуры моноконидиальных изолятов, полученной на картофельно-глюкозном агаре, стандартным СТАВ-методом [26]. Амплификацию геномной ДНК проводили в 25 мкл реакционной смеси (2 мкл геномной ДНК (25 нг), 1 мкл каждого праймера (10 пМ/мкл, «Евроген», Россия), 0,5 мкл смеси dNTPs mix (10 мМ, водный раствор dCTP, dGTP, dTTP и dATP, TransGen, Китай), 0,55 мкл MgCl₂ (100 мМ), 0,5 мкл BioTaq ДНК полимеразы (5U, 5 ед/мкл, «Диалат Лтд.», Россия), 2,5 мкл 10×ПЦР-буфера, 17 мкл ddH₂O).

Амплифицированные фрагменты разделяли методом электрофореза в 1,5 %-ном агарозном геле, в ТВЕ буфере (рН 8,2), гель окрашивали бромистым этидием. Для оценки размера фрагментов использовали два маркера молекулярного веса: Gene Ruler 100bp (Thermo Fisher Scientific) и Step Long (Биолабмикс).

Скрининг изолятов рода *Parastagonospora* на наличие генов-эффекторов *ToxA*, *Tox1*, *Tox3*, *Tox267* (табл. 2) осуществляли методом полимеразной цепной реакции. Всего проанализировано 115 проб ДНК.

Результаты и обсуждение. Вид *Z. tritici* обнаружен на всех изученных образцах, его присутствие в составе патогенного комплекса септориозных пятнистостей

составило 100 %. Доминирование *Z. tritici* может быть обусловлено теплой погодой в мае и апреле, которая способствует распространению патогена. Более прохладные дни в этот период, напротив, стимулируют развитие *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* [28].

P. nodorum и *P. pseudonodorum* встречались реже, чем *Z. tritici*. В среднем в Ленинградской области *P. nodorum* занимал второе место в патогенном комплексе септориозных пятнистостей зерновых культур. Его встречаемость составила 80 %. *P. pseudonodorum* был обнаружен в 60 % случаев.

На инфекционных образцах из Краснодарского края *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* регистрировали значительно реже, чем на растительном материале из Ленинградской области. Второе место после *Z. tritici* занимал *P. pseudonodorum*, частота встречаемости которого составила 35,29 %. У *P. nodorum* величина этого показателя находилась на уровне 11,76 %.

Изоляты *Z. tritici* на КГА в начальной стадии развития характеризовались колониями розового или желтого цвета, внешне напоминающими бактериальными. Позже колонии становились мицелиальными, дрожжеподобными или смешанными, с различной окраской. Преобладали дрожжеподобные колонии с морфотипами I(b) – черные гофрированные или I(c) – черные гофрированные с розовой каймой. Колонии *Z. tritici* имели небольшие размеры (около 15 мм), характеризовались высокой спорующей активностью (>50 млн спор/см²).

Табл. 3. Изоляты *Parastagonospora* spp. с идентифицированными генами-эффекторами

Регистрационный номер	Число изолятов	Происхождение	ToxA	Tox1	Tox3	Tox267
<i>Parastagonospora nodorum</i>						
79-23-1...10- <i>P.n.</i>	10	Ленинградская область	-	-	+	-
82-23-1...5- <i>P.n.</i>	10	Краснодарский край	-	+	-	-
82-23-6...10- <i>P.n.</i>				-		
86-23-1- <i>P.n.</i>	8		+	-	+	+
86-23-2- <i>P.n.</i>				+		
86-23-3...5- <i>P.n.</i>				-		
86-23-6...8- <i>P.n.</i>				+		
Всего	28		8	9	18	8
<i>Parastagonospora pseudonodorum</i>						
78-23-1...12- <i>P.ps.</i>	12	Ленинградская область	-	+	-	-
79-23-1- <i>P.ps.</i>	6	Краснодарский край	-	-	-	-
79-23-2...6- <i>P.ps.</i>				+		
90-23-1- <i>P.ps.</i>	15		-	-	-	-
90-23-2- <i>P.ps.</i>				+		
90-23-3- <i>P.ps.</i>				-		
90-23-4...5- <i>P.ps.</i>				+		
90-23-6...15- <i>P.ps.</i>				-		
93-23-1...24- <i>P.ps.</i>	24		-	-	-	-
94-23-1...9- <i>P.ps.</i>	9		-	-	-	-
95-23-1- <i>P.ps.</i>	6		+	-	-	-
95-23-2...3- <i>P.ps.</i>			-	-	-	-
95-23-4...6- <i>P.ps.</i>			+	-	-	-
96-23-1...9- <i>P.ps.</i>	9		-	-	-	-
97-23-1...6- <i>P.ps.</i>	6		-	-	-	-
Всего	87		4	20	0	0

+ – наличие гена, – – отсутствие гена.

Колонии *P. nodorum* отличались хорошо развитым бархатистым мицелием и большим количеством пикнид. Они имели светло-бурую центральную часть и темные края, что характеризует их как колонии смешанного типа.

Изоляты *P. pseudonodorum* из Ленинградской области образовывали однородные колонии серого или оливкового цвета с фенотипом д(5). Мицелий в центре колонии скудный и плотный, а количество пикнид значительно.

Колонии *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* характеризовались высокой споруляционной активностью (>10 млн спор/см²). Их размер на КГА достигал 80...90 мм в диаметре.

Молекулярный скрининг изучаемого материала (115 ДНК-проб, полученных от 28 моноконидиальных изолятов вида *P. nodorum*, 87 *P. pseudonodorum*) позволил выявить как единичные гены, кодирующие NEs, так и их сочетания в одном генотипе (табл. 3, рис. 1...4).

Ген *ToxA* обнаружен у моноконидиальных изолятов из Краснодарского края *P. nodorum* (86-23-1...8-*P.n.*), выделенных из листьев озимой мягкой пшеницы сорта Безостая 100 и *P. pseudonodorum* (95-23-1-*P.ps.*, 95-24-4...6-*P.ps.*) из инфекционного материала яровой мягкой пшеницы (см. рис. 1).

Ранее при анализе популяций из Тамбовской, Саратовской, Ленинградской областей и Краснодарского края было установлено, что ген *ToxA* преимущественно присутствует в геноме *P. nodorum*, реже – *P. pseudonodorum* [7, 29, 30]. Ген *ToxA* также широко распространен в российских популяциях *P. tritici-repentis* [30, 31].

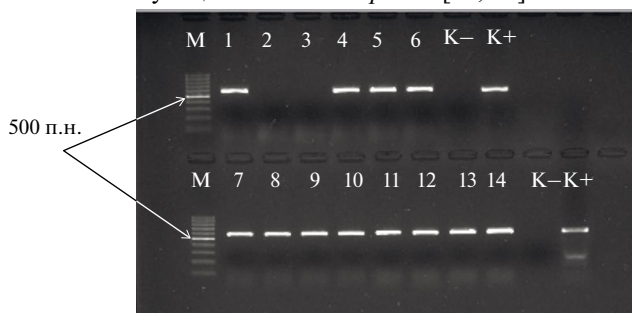


Рис. 1. Электрофореграмма продуктов амплификации, полученная с использованием праймеров TA51 F/TA52 R, специфичных для гена *ToxA* в изолятах *Parastagonospora* spp. из краснодарской популяции. Размер ампликона 573 п.н. М – ДНК маркер Gene Ruler 100bp (Thermo Fisher Scientific). Номера индексов соответствуют следующим изолятам: 1...6 – 95-23-1...6-*P.ps.*; 7...14 – 86-23-1...8-*P.n.*; K+ – 29-21-*P.n.*; K- – 26-21-*P.n.*

В результате молекулярного скрининга ген *ToxI* (наличие бэнда длиной 500 п.н. на электрофореграмме) был выявлен среди изолятов, выделенных из двух образцов озимой мягкой пшеницы в Ленинградской области (78-23, 79-23), одного сорта - в Краснодарском крае (86-23), двух образцов озимой тритикале (82-23 в Ленинградской области и 90-23 в Краснодарском крае) (см. рис. 2). Наличие гена выявлено у изолятов *P. nodorum* (82-23-1...5-*P.n.*), выделенных из образцов озимой тритикале в Пушкинском районе С.-Петербурга и изолятов (86-23-2-*P.n.*, 86-23-6...8-*P.n.*) с озимой мягкой пшеницы сорта Безостая 100 из Краснодарского края. Наличие гена *ToxI* отмечено у моноконидиальных изолятов *P. pseudonodorum*, выделенных из инфицированного материала озимой мягкой пшеницы сорта Галина (78-23-1...12-*P.ps.*) из Приозерского района Ленинградской области и с этого же сорта пшеницы (79-23-2...6-*P.ps.*) из Гатчинского района Ленинградской

области, а также из образцов озимой тритикале из Краснодарского края (90-23-2-*P.ps.*, 90-23-4...5-*P.ps.*).

Ген *ToxI* также обнаруживался с достаточно высокой частотой в популяциях *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* из Тамбовской и Саратовской областей, что подтверждено предыдущими исследованиями [7, 29, 30]. Ген *ToxI* играет важную роль в патогенности возбудителей и влияет на развитие симптомов болезни у растений [14, 32].

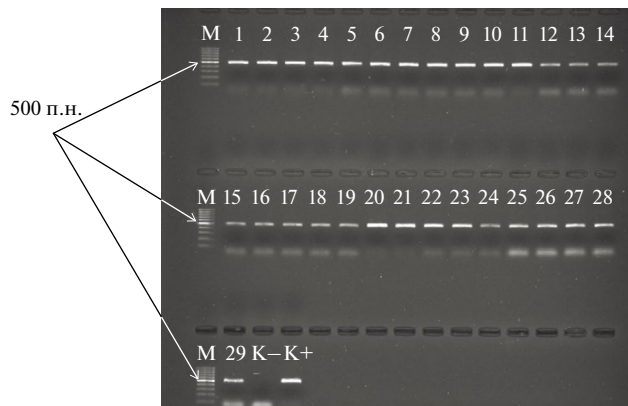


Рис. 2. Электрофореграмма продуктов амплификации, полученная с помощью праймеров SnTox1cF/SnTox1cR, специфичных для гена *ToxI*, в изолятах *Parastagonospora* spp. из краснодарской и ленинградской популяций. Размер ампликона 500 п.н. М – ДНК маркер Gene Ruler 100bp (Thermo Fisher Scientific). Номера индексов соответствуют следующим изолятам: 1...12 – 78-23-1...12-*P.ps.*; 13...17 – 79-23-2...6-*P.ps.*; 18...22 – 82-23-1...5-*P.n.*; 23 – 90-23-2-*P.ps.*; 24...25 – 90-23-4...5-*P.ps.*; 26 – 86-23-2-*P.n.*; 27...29 – 86-23-6...8-*P.n.*; K+ – 32-21-*P.n.*; K- – 29-21-*P.n.*

Ген *Tox3* (наличие бэнда длиной 600 п.н. на электрофореграмме) выявлен среди изолятов *P. nodorum*, выделенных из сорта озимой мягкой пшеницы Галина из Гатчинского района Ленинградской области (79-23-1...10-*P.n.*), а также из озимой мягкой пшеницы Безостая 100 из Краснодарского края (86-23-1...8-*P.n.*) (см. рис. 3).

Ранее было показано, что ген *Tox3* присутствует в популяциях *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* на территории России [29, 30, 33]. Однако в 18 изолятах *P. pseudonodorum* из Ленинградской области и 69 из Краснодарского края он не выявлен (табл. 3).

В нашей работе впервые использованы праймеры SnTox2 DONR F/SnTox2 DON RS, которые были разработаны для идентификации гена SnTox267 [22]. Ха-

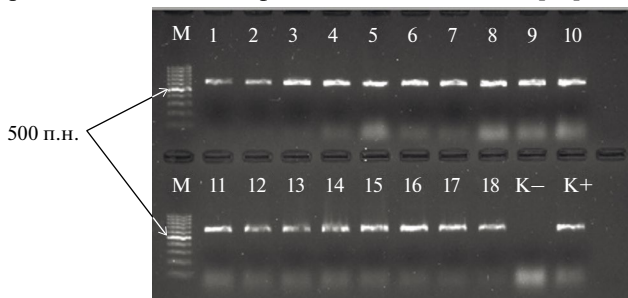


Рис. 3. Электрофореграмма продуктов амплификации, полученная с помощью праймеров SnTox3cF/SnTox3cR, специфичных для гена *Tox3* в изолятах *Parastagonospora nodorum* из краснодарской и ленинградской популяций. Размер ампликона 600 п.н. М – ДНК маркер Gene Ruler 100bp (Thermo Fisher Scientific). Номера индексов соответствуют следующим изолятам: 1...10 – 79-23-1...10-*P.n.*; 11...18 – 86-23-1...8-*P.n.*; K+ – 29-21-*P.n.*; K- – 26-21-*P.n.*

бактерные продукты амплификации размером 2000 п. н. отмечены у восьми изолятов (86-23-1...8-*P.n.*), выделенных из озимой мягкой пшеницы сорта Безостая 100 из Краснодарского края (см. рис. 4). У других образцов наблюдали стабильный отрицательный результат. В литературе отмечают, что этот ген имеет широкую представленность в европейских популяциях *P. nodorum* [22].

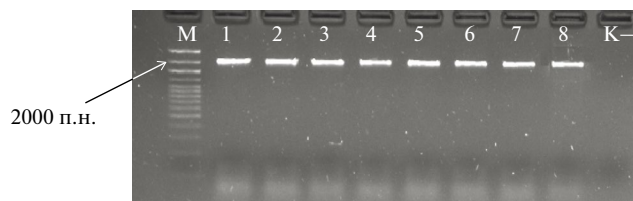


Рис. 4. Электрофореграмма продуктов амплификации, полученная с помощью праймеров *SnTox2_DONR_F/SnTox2_DON_RS*, специфичных для гена *Tox267* в изолятах *Parastagonospora nodorum* из краснодарской популяции. Размер ампликона 2000 п. н. М – ДНК маркер *Step Long* (Биолабмикс). Номера индексов соответствуют следующим изолятам: 1...8 – 86-23-1...8-*P.n.*

Изучение видового состава возбудителей септориозов зерновых культур – ключевой этап для разработки научно обоснованных селекционных программ. Анализ фитопатогенного комплекса и выявление экономически важных и потенциально опасных видов необходимо проводить ежегодно. Это позволяет прогнозировать возможные потери урожая, а также разрабатывать эффективные стратегии борьбы с инфекционными заболеваниями растений.

В системах «*P. nodorum* (*P. pseudonodorum*) – пшеница» наблюдают взаимодействие продуктов генов вирулентности патогена (*SnTox*) и генов восприимчивости растения-хозяина (*Snn*) [34]. Доминирование восприимчивости выявлено не только для системы «*P. nodorum* (*P. pseudonodorum*) – пшеница», но и для таких патогенов, как *Cochliobolus heterostrophus*, *Cochliobolus victoriae* и *Periconia circinata* [35]. В связи с изложенным необходимо изучать динамику распространения генов *SnTox* в популяциях *P. nodorum* и *P. pseudonodorum*, а также оценивать селекционный материал на наличие генов устойчивости к некротрофным эффекторам. Эта информация может быть использована при селекции устойчивых сортов пшеницы и других культур, способных сопротивляться NEs и снижать риск развития септориозов.

Необходимо расширять изучение токсинов, образуемых грибами *Parastagonospora*, что поможет определить их роль в патогенности и адаптации к ним культурных растений.

Выводы. В условиях 2023 г. на территории Ленинградской области и Краснодарского края среди возбудителей септориозов на всех исследованных образцах был обнаружен *Z. tritici*. Реже идентифицировали *P. nodorum* и *P. pseudonodorum*. На растительном материале из Ленинградской области их встречаемость среди возбудителей септориозов составляла соответственно 80 % и 60 % случаев, из Краснодарского края – 11,76 % и 35,29 %.

Путем молекулярного скрининга в генотипах изученных изолятов *P. nodorum* и *P. pseudonodorum* выявлены гены *ToxA* и *Tox1*; только у изолятов *P. nodorum* – *Tox3* и *Tox267*. Эти результаты подтверждают наличие токсинов у грибов, а также их значимость при взаимодействии с растениями-хозяевами.

Штаммы *P. nodorum* и *P. pseudonodorum*, охарактеризованные по наличию генов-эффекторов, будут использованы при создании искусственных инфекционных фонов для выявления источников и доноров устойчивости к септориозным пятнистостям.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-76-30005. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов

Литература.

1. Threats to global food security from emerging fungal and oomycete crop pathogens / H. N. Fones, D. P. Bebber, T. M. Chaloner, et al. // *Nat Food*. 2020. Vol. 1. P. 332–342. doi: 10.1038/s43016-020-0075-0.
2. Plotnikova L., Sagendykova A., Pozherukova V. The Use of Genetic Material of Tall Wheatgrass to Protect Common Wheat from Septoria Blotch in Western Siberia // *Agriculture*. 2023. Vol. 13. No. 1. Article 203. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/1/203> (дата обращения: 12.03.2024). doi: 10.3390/agriculture13010203.
3. Характеристика перспективных сортов пшеницы (*Triticum aestivum* L.), допущенных к возделыванию в Нижневолжском регионе, по устойчивости к возбудителям пиренофорозной и темно-бурой пятнистости / Э. А. Конькова, С. В. Ляцева, Ю. В. Зеленева и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. № 58 (5). С. 852–863. doi: 10.15389/agrobiology.2023.5.852rus.
4. Petit-Houdenet Y., Lebrun M. H., Scalliet G. Understanding plant-pathogen interactions in Septoria tritici blotch infection of cereals // *Achieving durable disease resistance in cereals*. London, UK: Burleigh Dodds Science Publishing, 2021. P. 263–302. doi: 10.19103/AS.2021.0092.10.
5. Temporal Changes in Sensitivity of Zymoseptoria tritici Field Populations to Different Fungicidal Modes of Action / T. Birr, M. Hasler, J.-A. Verreet, et al. // *Agriculture*. 2021. Vol. 11. No. 3. Article 269. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/3/269> (дата обращения: 12.03.2024). doi: 10.3390/agriculture11030269.
6. Fones H., Gurr S. The impact of Septoria tritici blotch disease on wheat: An EU perspective // *Fungal Genet Biol*. 2015. Vol. 79. P. 3–7. doi: 10.1016/j.fgb.2015.04.004.
7. Видовой состав возбудителей септориозов пшеницы в европейской части России и идентификация генов-эффекторов *SnToxA*, *SnTox1* и *SnTox3* / Ю. В. Зеленева, И. Б. Аблова, В. П. Судникова и др. // *Микология и фитопатология*. 2022. № 56 (6). С. 441–447. doi: 10.31857/S0026364822060113.
8. Hyperspectral Non-Imaging Measurements and Perceptron Neural Network for Pre-Harvesting Assessment of Damage Degree Caused by Septoria/Stagonospora Blotch Diseases of Wheat / S. V. Zhelezova, E. V. Pakholkova, V. E. Veller, et al. // *Agronomy*. 2023. Vol. 13. No. 4. Article 1045. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/4/1045> (дата обращения: 12.03.2024). doi: 10.3390/agronomy13041045.
9. Genome-scale phylogenies reveal relationships among *Parastagonospora* species infecting domesticated and wild grasses / D. Croll, P. W. Crous, D. Pereira, et al. // *Persoonia*. 2021. Vol. 46. P. 116–128. doi: 10.3767/persoonia.2021.46.04.
10. Understanding yield loss and pathogen biology to improve disease management: Septoria nodorum blotch –

- a case study in wheat / A. Ficke, C. Cowger, G. Bergstrom, et al. // *Plant Disease*. 2018. Vol. 102. No. 4. P. 696–707. doi: 10.1094/PDIS-09-17-1375-FE.
11. Genetics of resistance to *Septoria nodorum* blotch in wheat / A. R. P. Haugrud, Z. Zhang, T. L. Friesen, et al. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. Vol. 135. No. 11. P. 3685–3707. doi: 10.1007/s00122-022-04036-9.
12. The Necrotrophic Pathogen *Parastagonospora nodorum* Is a Master Manipulator of Wheat Defense / G. K. Kariyawasam, A. C. Nelson, S. J. Williams, et al. // *Mol Plant Microbe Interact*. 2023. Vol. 36. No. 12. P. 764–773. doi: 10.1094/MPMI-05-23-0067-IRW.
13. A unique wheat disease resistance-like gene governs effector-triggered susceptibility to necrotrophic pathogens / J. D. Faris, Z. Zhang, H. Lu, et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 2010. Vol. 107. No. 30. P. 13544–13549. doi: 10.1073/pnas.1004090107.
14. The hijacking of a receptor kinase-driven pathway by a wheat fungal pathogen leads to disease / G. Shi, Z. Zhang, T. L. Friesen, et al. // *Science Advances*. 2016. Vol. 2. No. 10. Article e1600822. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1600822> (дата обращения: 12.03.2024). doi: 10.1126/sciadv.1600822.
15. Friesen T. L., Meinhardt S. W., Faris J. D. The *Stagonospora nodorum*-wheat pathosystem involves multiple proteinaceous host-selective toxins and corresponding host sensitivity genes that interact in an inverse gene-for-gene manner // *The Plant Journal*. 2007. Vol. 51. No. 4. P. 681–692. doi: 10.1111/j.1365-3113X.2007.03166.x.
16. Characterization of the interaction of a novel *Stagonospora nodorum* host-selective toxin with a wheat susceptibility gene / T. L. Friesen, Z. Zhang, P. S. Solomon, et al. // *Plant physiology*. 2008. Vol. 146. No. 2. P. 682–693. doi: 10.1104/pp.107.108761.
17. A protein kinase-major sperm protein gene hijacked by a necrotrophic fungal pathogen triggers disease susceptibility in wheat / Z. Zhang, K. L. D. Running, S. Seneviratne, et al. // *The Plant Journal*. 2021. Vol. 106. No. 3. P. 720–732. doi: 10.1111/tpj.15194.
18. Identification and characterization of a novel host-toxin interaction in the wheat-*Stagonospora nodorum* pathosystem / N. S. Abeysekara, T. L. Friesen, B. Keller, et al. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2009. Vol. 120. No. 1. P. 117–126. doi: 10.1007/s00122-009-1163-6.
19. SnTox5-Snn5: a novel *Stagonospora nodorum* effector-wheat gene interaction and its relationship with the SnToxA-Tsn1 and SnTox3-Snn3-B1 interactions / T. L. Friesen, C. Chu, S. S. Xu, et al. // *Molecular Plant Pathology*. 2012. Vol. 13. No. 9. P. 1101–1109. doi: 10.1111/j.1364-3703.2012.00819.x.
20. Identification and characterization of the SnTox6-Snn6 interaction in the *Parastagonospora nodorum*-wheat pathosystem / Y. Gao, J. D. Faris, Z. Liu, et al. // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2015. Vol. 28. No. 5. P. 615–625. doi: 10.1094/MPMI-12-14-0396-R.
21. The wheat Snn7 gene confers susceptibility on recognition of the *Parastagonospora nodorum* necrotrophic effector SnTox7 / G. Shi, T. L. Friesen, J. Saini, et al. // *The Plant Genome-US*. 2015. Vol. 8. No. 2. URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.3835/plantgenome2015.02.0007> (дата обращения: 12.03.2024). doi: 10.3835/plantgenome2015.02.0007.
22. A triple threat: the *Parastagonospora nodorum* SnTox267 effector exploits three distinct host genetic factors to cause disease in wheat / J. K. Richards, G. K. Kariyawasam, S. Seneviratne, et al. // *New Phytologist*. 2022. Vol. 233. No. 1. P. 427–442. doi: 10.1111/nph.17601.
23. Friesen T. L., Faris J. D. Characterization of effector-target interactions in necrotrophic pathosystems reveals trends and variation in host manipulation // *Annual Review of Phytopathology*. 2021. Vol. 59. P. 77–98. doi: 10.1146/annurev-phyto-120320-012807.
24. Методы оценки устойчивости селекционного материала и сортов пшеницы к септориозу: метод. указ. / Г. В. Пыжикова, А. А. Санина, Л. М. Супрун и др. М.: ВНИИ фитопатологии, 1989. 43 с.
25. Коломиец Т. М., Пахолкова Е. В., Дубовая Л. П. Отбор исходного материала для создания сортов пшеницы с длительной устойчивостью к септориозу (рекомендации). М.: Печатный город, 2017. 56 с.
26. Doyle J. J., Doyle J. L. Isolation of plant DNA from fresh tissue // *Focus*. 1990. Vol. 12. No. 1. P. 13–15.
27. Andrie R. M., Pandelova I., Ciuffetti L. M. A combination of phenotypic and genotypic characterization strengthens *Pyrenophora tritici-repentis* race identification // *Phytopathology*. 2007. Vol. 97. P. 694–701. doi: 10.1094/PHYTO-97-6-0694.
28. Zeleneva I. V., Sudnikova V. P., Afanasenko O. S. Influence of Agroclimatic Conditions, Life Form, and Host Species on the Species Complex of Wheat *Septoria Pathogens* // *Biology Bulletin*. 2021. Vol. 48. No. 10. P. 1806–1812. doi: 10.1134/S1062359021100277.
29. Зеленева Ю. В., Конькова Э. А. Устойчивость сортов мягкой пшеницы, возделываемых на территории Саратовской области, к возбудителям септориозных пятнистостей // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023. № 27 (6). С. 582–590. doi: 10.18699/VJGB-23-70.
30. Kovalenko N. M., Zeleneva Yu. V., Sudnikova V. P. Characterization of *Pyrenophora tritici-repentis*, *Parastagonospora nodorum*, and *Parastagonospora pseudonodorum* in the Tambov Oblast for the Presence of Effector Genes // *Russian Agricultural Sciences*. 2023. Vol. 49. No. 3. P. 285–291. doi: 10.3103/S1068367423030114.
31. Частота гена ToxA в популяциях *Pyrenophora tritici-repentis* на Северном Кавказе и северо-западе России / Н. В. Мироненко, О. А. Баранова, Н. М. Коваленко и др. // *Микология и фитопатология*. 2015. № 49 (5). С. 325–329.
32. SnTox1, a *Parastagonospora nodorum* necrotrophic effector, is a dual-function protein that facilitates infection while protecting from wheat-produced chitinases / Z. Liu, Y. Gao, Y. M. Kim, et al. // *New Phytologist*. 2016. Vol. 211. No. 3. P. 1052–1064. doi: 10.1111/nph.13959.
33. Молекулярная идентификация, гены-эффекторы и вирулентность изолятов гриба *Parastagonospora nodorum* из Алтайского края (Россия) / Ю. В. Зеленева, Ф. Б. Ганнибал, И. А. Казарцев и др. // *Микология и фитопатология*. 2023. № 57(5). С. 362–371. doi: 10.31857/S0026364823050124.
34. The discovery of the virulence gene ToxA in the wheat and barley pathogen *Bipolaris sorokiniana* / M. C. McDonald, D. Ahren, S. Simpfendorfer, et al. // *Molecular Plant Pathology*. 2018. Vol. 19. No. 2. P. 432–439. doi: 10.1111/mpp.12535.
35. ToxA-Tsn1 interaction for spot blotch susceptibility in Indian wheat: an example of inverse gene-for-gene relationship / S. Navathe, P. S. Yadav, R. Chand, et al. // *Plant Disease*. 2020. Vol. 104. No. 1. P. 71–81. doi: 10.1094/PDIS-05-19-1066-RE.

Поступила в редакцию 14.03.2024
После доработки 13.05.2024
Принята к публикации 28.05.2024

ЗАРАЖЕНИЕ СОИ В УСЛОВИЯХ *IN VIVO* ГРИБАМИ *DIAPORTHE ERES*© 2024 г. Л. П. Шумилова¹, кандидат биологических наук, Е. Э. Каботов²¹Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН,
675000, Благовещенск, пер. Релочный, 1²Амурский филиал Ботанического сада-института Дальневосточного отделения РАН,
675000, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 2-й км
E-mail: Shumilova.85@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки патогенности вида *Diaporthe eres* в отношении сои с использованием методов искусственного заражения для уточнения филогенетической специализации грибов *Diaporthe*. Работу выполняли в 2021–2023 гг. в Амурской области в условиях вегетационного опыта. Объектами исследования были растения сои скороспелого сорта Сентябринка и среднеспелого Китросса, а также два штамма микроскопических грибов вида *Diaporthe eres*. Идентификацию грибов *Diaporthe* осуществляли по культурально-морфологическим признакам и молекулярно-генетическими методами. Заражение проводили в разные фазы развития сои, агаровые блоки с инокулятом помещали на искусственно созданные механические повреждения на стеблях. Для подтверждения проникновения *D. eres* через естественные пути инокулировали листья сои с использованием суспензии спор исследуемых штаммов. Появление симптомов болезни и повторное выделение *D. eres* из ткани зараженного растения свидетельствуют о проявлении патогенных свойств вида в отношении сои. Два исследованных штамма *D. eres* проявляли в отношении сои более низкую агрессивность (уровень инфицированности не превышал 10 %), чем штамм *Diaporthe* sp.-1, выделенный с сои (уровень инфицированности 100 %). Штамм *D. eres* MF-Pm-4a оказался более агрессивным, чем *D. eres* MF-Pm-5a, так как частота его повторного выделения из мест инокуляции была выше на 20 %, а в 10 % случаев он был выделен из мест вне инокуляции. Более молодые растения сои в фазе развития R-1 оказались более устойчивыми, на 40 суток после инокулирования на них не наблюдали видимых симптомов болезни. Заражение сои в фазе развития R-3 характеризуется очень коротким инкубационным периодом – 15 суток. Среднеспелый сорт сои Китросса оказался более устойчивым, чем скороспелый сорт Сентябринка.

INFECTION OF SOYBEAN *IN VIVO* WITH THE FUNGI *DIAPORTHE ERES*L. P. Shumilova¹, E. E. Kabotov²¹Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern branch, Russian Academy of Sciences,
675000, Blagoveshchensk, per. Relochnyi, 1²Amur branch of the Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
675000, Blagoveshchensk, Ignat'evskoe shosse, 2-i km
E-mail: Shumilova.85@mail.ru

Studies were carried out to assess the pathogenicity of the *Diaporthe eres* species in relation to soybeans using artificial infection methods to clarify the phylogenetic specialization of *Diaporthe* fungi. The work was carried out in 2021–2023 in the Amur region under conditions of pot experiment. The objects were soybean plants of the early-ripening variety Sentyabrinka and mid-ripening Kitrossa, as well as two strains of microscopic fungi *Diaporthe eres*. Identification of *Diaporthe* fungi was carried out by molecular genetic methods and according to cultural and morphological characteristics. Infection of soybean was carried out at different stages development, agar blocks with inoculum were placed on artificially created mechanical damage on the stems. To confirm the penetration of *D. eres* through natural routes, soybean leaves were inoculated of the studied strains spores suspension. The appearance of disease symptoms and repeated isolation of *D. eres* from the tissue of an infected plant indicate the manifestation of pathogenicity of the species towards the soybean. Two studied strains of *D. eres*, previously isolated from apricot shoots, exhibit low aggressiveness towards soybean (the infection rate did not exceed 10 %) as compared with a strain of *Diaporthe* sp. isolated from a soybean plant (the infection rate was 100 %). The *D. eres* MF-Pm-4a strain turned out to be more aggressive than *D. eres* MF-Pm-5a, since the frequency of its repeated isolation from inoculation sites was 20 % higher, and in 10 % of cases it was isolated from non-inoculation sites. Younger soybean plants in the R-1 development phase turned out to be more resistant, they had a longer incubation period, and no visible symptoms of the disease were noted on the 40th day after inoculation. Soybean infection in the R-3 development phase is characterized by a very short incubation period – 15 days. The mid-ripening soybean variety Kitrossa was found to be more resistant than the early-ripening variety Sentyabrinka.

Ключевые слова: *Diaporthe eres*, *in vivo*, *Glycine max*, агрессивность, инокуляция, грибы, патогенность.

Keywords: *Diaporthe eres*, *in vivo*, *Glycine max*, aggressiveness, inoculation, fungi, pathogenicity.

Diaporthe eres Nitschke – эндофит и фитопатоген из отдела *Ascomycota* порядка *Diaporthales* семейства *Diaporthaceae* [1, 2, 3]. Литературные данные о распространении грибов рода *Diaporthe* на территории России и их филогенетическая специализация на сегодняшний день неоднозначны и требуют уточнения [4].

Распространению отдельных видов грибов рода *Diaporthe* способствуют их стратегия выживания и наличие разнообразных адаптаций. Как эндофиты они

могут сосуществовать с некоторыми видами растений, не вызывая заболеваний, но поменяв хозяина могут проявлять себя как фитопатогены. Расширение спектра питающих растений может происходить из-за аборигенных видов, что зачастую приводит к возникновению новых консортивных связей. Кроме того, известно, что на одном растении могут существовать несколько видов грибов из рода *Diaporthe* [4]. Уточнение трофности и филогенетической специализации грибов, выявление

потенциальных резерватов инфекции и установление их патогенности в отношении растений на сегодняшний день считают актуальными задачами.

Один из наиболее распространенных на территории России видов *Diaporthe helianthi* Munt.-Cvetk., Mihajlić et M. Petrov – возбудитель фомопсиса подсолнечника [5]. Известно, что с подсолнечником могут быть ассоциированы еще 13 видов рода *Diaporthe*, в том числе *D. eres* и *D. phaseolorum* [4]. Точная видовая идентификация грибов *Diaporthe* возможна только с использованием методов молекулярной филогении. Благодаря молекулярным исследованиям в России выявлен *Diaporthe eres* на соянке [6], *D. phaseolorum* на томате и сое [7, 8]. В Амурской области *D. helianthi* ранее не отмечали, однако наличие подсолнечника в агроценозах создает потенциальный фитосанитарный риск для появления и дальнейшего распространения этого карантинного вида. При этом достоверно обнаружены такие опасные и экспортно значимые для приграничных регионов, к которым относят Амурскую область, виды, как *D. eres* на абрикосе [9], *D. longicolla* (Hobbs) J. M. Santos, Vrandečić et A.J.L. Phillips и *D. phaseolorum* (Cooke et Ellis) Sacc. на сое [10, 11]. Поскольку на территории Амурской области располагается до 40 % всех посевов сои страны, вопросы о распространении грибов рода *Diaporthe*, их филогенетической специализации и патогенности остаются открытыми. Согласно результатам последних исследований, круг возбудителей болезней сои из представителей этого комплекса достаточно широк [12, 13]. Хотя *D. eres* – патоген, не подтвержденный для сои, встречаются работы, в которых указано, что грибы этого вида провоцируют гниение семян культуры, а выделенные изоляты различаются по агрессивности [14, 15]. Присутствие *D. eres* в фитоценозах Амурской области увеличивает риски распространения фитопатогенных грибов из-за расширения круга растений-хозяев.

Цель исследования – оценка патогенности вида *Diaporthe eres* в отношении сои для уточнения филогенетической специализации грибов *Diaporthe*.

Методика. Объектами исследования были растения сои (*Glycine max* (L.) Merr.) высокопродуктивных сортов, возделываемых в Амурской области – скороспелого Сентябринка и среднеспелого Китросса, два штамма микроскопических грибов *Diaporthe eres* – *D. eres* MF-Pm-4a и *D. eres* MF-Pm-5a, которые были выделены с побегов абрикоса маньчжурского *Prunus mandshurica* (Maxim.) Koehne, произрастающего в искусственных насаждениях

в окрестностях г. Благовещенска (Амурская обл.). Молекулярная характеристика и филогенетический анализ сходства изолятов *D. eres* представлены в работе [9].

Для выявления штаммовых и видовых различий между грибами сою дополнительно инокулировали неидентифицированным видом *Diaporthe*, который был выделен в 2021 г. на опытных полях Всероссийского научно-исследовательского института (ВНИИ) сои (Амурская обл., Тамбовский р-н., с. Садовое) с растений сорта Сентябринка – *Diaporthe* sp.-1.

До рода идентификацию штамма *Diaporthe* sp.-1 осуществляли по культурально-морфологическим признакам методом световой микроскопии с использованием микроскопов Микромед 1 (вар. 3-20) (Микромед, Россия) и AxioLab. A1 (CarlZeiss, Германия). Для этого чистую культуру выращивали на питательных средах Чапека и картофельно-декстрозном агаре (PDA) при комнатной температуре. Изолят очень скудно спорулировал. Для активации процесса спорообразования использовали УФ-лампу с длиной волны 200...280 нм, облучению подвергали 30-дневные культуры по 15 мин 4 раза, интервал между сеансами – 2 дня.

Для подтверждения патогенности *Diaporthe eres* в отношении сои растения для инокуляции выращивали в вегетационном домике на базе ВНИИ сои в 2022 г. Набивку сосудов осуществляли почвой с длительного стационарного опыта ВНИИ сои. В качестве инокулята использовали агаровые блоки, высеченные из 10-суточной чистой культуры гриба, выращенной на среде Чапека, в контроле – агаровые блоки, высеченные из чистой питательной среды, без мицелия гриба. Агаровые блоки прикладывали к искусственно созданным механическим повреждениям на стеблях сои. Место поранения дезинфицировали 70 %-ным спиртом, после чего прикладывали агаровый блок площадью 1 см², фиксировали ватой, смоченной в стерильной воде, затем обертывали место повреждения пищевой пленкой. Инокуляцию здоровых растений сои проводили на стадии формирования бобов (R-3), отбор образцов осуществляли на стадии полной спелости бобов (R-8). Всего было инокулировано 35 растений сорта Сентябринка (табл. 1). Отбор образцов для реинфекции проводили на 40-е сутки после инокуляции.

Для выявления восприимчивости сои к заражению в зависимости от возраста растений дополнительно инфицировали растения сортов Сентябринка и Китросса в начале цветения (R-1). Исследования проводили в вегетационном домике на территории АФ БСИ ДВО РАН (Амурская обл., Благовещенск). Сосуды набивали субстратом (смесь песка и почвы в соотношении 1:2), который предварительно протравливали препаратами Тиовит и Фуфанол нова. Поскольку эксперименты выполняли в разное время, почву использовали согласно новой локалии. На рост и развитие сои это не влияло.

Заражение опытных растений сои проводили методом агаровых блоков аналогично описанному ранее. Инокулировано 53 растения сои (см. табл. 1). Сосуды с инфицированными растениями помещали в климатические камеры, поддерживающие оптимальные условия для их роста: влажность – 50 %, температура – 24 °С, фотопериод – 16 ч. Отбор образцов для реинфекции проводили на 40-е сутки после инокуляции.

Для подтверждения проникновения патогена через естественные пути листья сои инокулировали суспензией спор штаммов *D. eres* MF-Pm-4a и *D. eres* MF-Pm-5a. Растения сортов Сентябринка и Китросса выращивали в вегетационном домике АФ БСИ ДВО РАН в 2023 г. Листья для инокуляции отбирали на стадии R-1 с визуально здоровых растений, на которых не наблюдали

Табл. 1. Схема опытов

Инокуляция методом агаровых блоков (фаза развития сои R-3)		Инокуляция методом агаровых блоков (фаза развития сои R-1)		Инокуляция листьев суспензией спор	
сорт сои/штамм	повторность	сорт сои/штамм	повторность	сорт сои/штамм	повторность
Сентябринка/ <i>D. eres</i> MF-Pm-4a	10	Сентябринка/ <i>D. eres</i> MF-Pm-4a	10	Сентябринка/ <i>D. eres</i> MF-Pm-4a	12 (6+6)*
Сентябринка/ <i>D. eres</i> MF-Pm-5a	10	Сентябринка/ <i>D. eres</i> MF-Pm-5a	10	Сентябринка/ <i>D. eres</i> MF-Pm-5a	12 (6+6)
Сентябринка/ <i>Diaporthe</i> sp.-1	10	Китросса/ <i>D. eres</i> MF-Pm-4a	10	Китросса/ <i>D. eres</i> MF-Pm-4a	12 (6+6)
Контроль	5	Китросса/ <i>D. eres</i> MF-Pm-5a	10	Китросса/ <i>D. eres</i> MF-Pm-5a	12 (6+6)
		Контроль	13	Контроль	8+8
35		53		64	

*абаксиальная и адаксиальная стороны листьев.

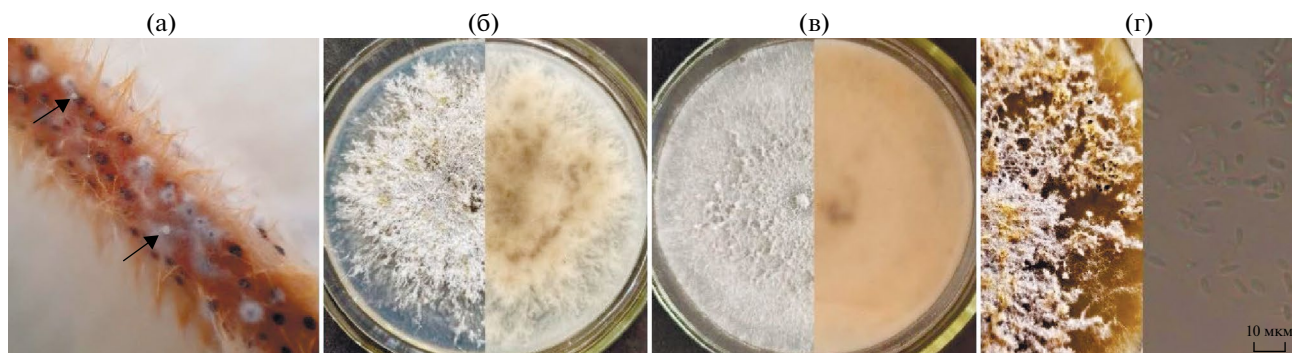


Рис. 1. Морфологические признаки *Diaporthe* sp.-1: а) спорующие пикниды на стебле сои; б) колония / реверс на среде Чапека, 21-е сутки; в) колония / реверс на среде PDA, 21-е сутки; г) колония с пикнидами на среде Чапека после УФ-облучения, 35-е сутки / α-конидии.

симптомов, характерных для поражения грибами рода *Diaporthe*. После этого их помещали в чашки Петри на стерильную увлажненную фильтровальную бумагу. В качестве инокулюма использовали суспензию спор грибов, полученную смывом конидий с поверхности 6-недельных грибных колоний, выращенных на среде Чапека. Аликвота инокулюма составляла 50 мкл, концентрация спор $\sim 1,7 \times 10^6$ КОЕ/мл. Инокулюм наносили на абаксиальную и адаксиальную стороны листьев. Всего было заражено 64 листа сои (см. табл. 1). В контрольном варианте в качестве инокулюма использовали стерильную воду.

Перед реинфекцией патогена в чистую культуру проводили поверхностную стерилизацию фрагментов. Их промывали водопроводной водой, затем 10 минут замачивали в 3 %-ной перекиси водорода, далее в течение 5 минут (для листьев 1...2 мин) обрабатывали 70 %-ным спиртом, после чего 2...3 раза промывали стерильной водой. Стерильные фрагменты раскладывали в чашки Петри с питательной средой Чапека и культивировали при комнатной температуре. Видовую принадлежность повторно выделенных изолятов определяли по культурально-морфологическим признакам с использованием световой микроскопии. За уровень инфицированности принимали процент повторного выделения патогена из ткани вне места инокуляции, то есть учитывали патоген, развивающийся только внутри самого растения.

Статистическую обработку данных проводили в программе Microsoft Office Excel. Рассчитывали стандартное

отклонение и статистическую значимость различий средних величин по t-критерию Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Анализ фрагментов генов BT и EF1-α штаммов *D. eres* MF-Pm-4a и *D. eres* MF-Pm-5a при идентификации подтвердил их расположение в пределах видового комплекса *Diaporthe eres*. Штаммы *D. eres* MF-Pm-4a и *D. eres* MF-Pm-5a имеют разные нуклеотидные замены в генах, кодирующих β-тубулин и фактор элонгации трансляции 1-α, и находятся в разных кластерах в пределах вида *D. eres* [9]. Виды рода *Diaporthe* очень полиморфны, разные изоляты могут образовывать отдельные клады на филогенетических деревьях в зависимости от локуса, используемого для филогенетического анализа. Изоляты, составляющие разные клады даже в пределах вида, могут различаться по своей агрессивности в отношении растений-хозяев [16, 17]. Поэтому для выявления штаммовых различий вида в пределах комплекса мы выбрали штаммы из разных генотипических кластеров.

Штамм *Diaporthe* sp.-1 был изолирован с *Glycine max* и по морфолого-культуральным признакам идентифицирован до рода *Diaporthe* (рис. 1). В чистой культуре на среде Чапека *Diaporthe* sp.-1 образует ризоидные колонии с белым воздушным мицелием, присутствуют зоны с желто-зеленой пигментацией, с возрастом колонии темнеют. Реверс, начиная с центра, развивает темную пигментацию, которая с возрастом становится интенсивнее. На среде PDA *Diaporthe* sp.-1 образует быстрорастущие войлочные плотные колонии белого цвета; гриб достигает границ чашки Петри на 5-е сутки.

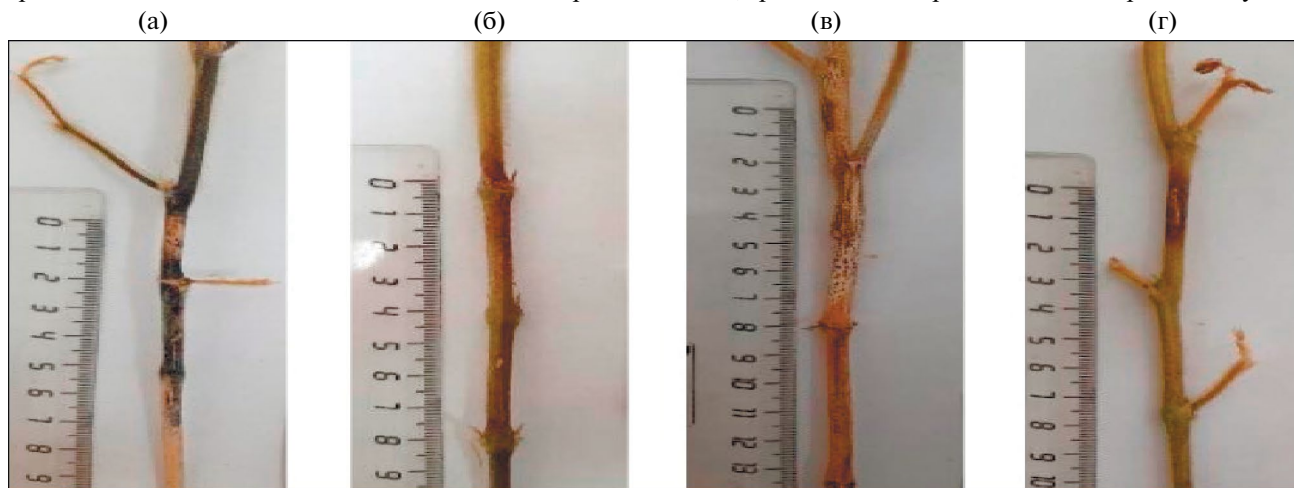


Рис. 2. Внешний вид стеблей сои после инокуляции на 40-е сутки: а) зараженный штаммом *Diaporthe* sp.-1; б) контроль; в) зараженный штаммом *D. eres* MF-Pm-5a; г) зараженный штаммом *D. eres* MF-Pm-4a.

Реверс пигментирован только в центре (рис. 1 б, в). На 50...60-е сутки культивирования образуются многочисленные черные округлые пикниды, размер которых не превышает 150...260 мкм (рис. 1 г). После первого УФ-облучения на 33 сутки культивирования начали образовываться пикниды; после четырех сеансов единичные пикниды стали выделять желтую полупрозрачную массу, содержащую альфа-конидии, бета-конидии отсутствовали (рис. 1 г). Альфа-конидии были одноклеточными, эллипсоидными, размером в среднем $6,2 \pm 0,7 \times 2,3 \pm 0,3$ мкм ($n=45$). Из-за отсутствия и медленного спорообразования, высокой межвидовой и внутривидовой изменчивости в пределах рода видовую идентификацию необходимо осуществлять с использованием молекулярно-генетических методов [18, 19, 20].

До инокулирования растения сои в период вегетации от всходов до формирования бобов были визуально здоровы; симптомов, характерных для заболеваний, вызываемых комплексом видов *Diaporthe*, не отмечали. При отборе образцов для реизоляции на растениях наблюдали симптомы в виде некротических пятен на стеблях в местах инокуляции, усыхание листьев и формирование пикнид на поверхности стеблей. Контрольные растения не усыхали и оставались зелеными.

После сбора растительных образцов, зараженных *Diaporthe* sp.-1, при визуальном осмотре наблюдали симптомы в виде обширных некротических повреждений, охватывающих большую часть стебля выше и ниже места инокуляции (рис. 2 а). Появившиеся некротические пятна распространялись практически по всему стеблю, что со временем приводило к гибели растений, при этом пикниды на поверхности были немногочисленными. Наличие обширной площади некрозов на всех экспериментальных образцах и повторное выделение *Diaporthe* sp.-1 из них подтверждает его патогенность по отношению к сое.

При заражении сои штаммами *D. eres* MF-Pm-4a и *D. eres* MF-Pm-5a некротические поражения были менее выражены, по сравнению с повреждениями, вызываемыми *Diaporthe* sp.-1 (рис. 2 в, г). Относительно контрольных размеров некрозов были значительно больше (табл. 2). В местах поранений и инокуляции *D. eres* MF-Pm-5a отмечены некрозы размерами ~1,3 см. Штамм *D. eres* MF-Pm-4a приводил к образованию некротических пятен, размер которых в среднем составлял ~2,3 см. Более обширные некрозы свидетельствуют о повышенной скорости распространения патогена по тканям и косвенно указывают на большую агрессивность штамма *D. eres* MF-Pm-4a, по сравнению с *D. eres* MF-Pm-5a.

На поверхности живых растений сои, зараженных штаммами *D. eres* MF-Pm-4a и *D. eres* MF-Pm-5a, наблюдали пикнидиальное спороношение, характерное для грибов рода *Diaporthe*. Повторное изолирование *D. eres* из фрагментов, отобранных выше мест инокулирования, составляло 100 % из-за повсеместного присутствия пикнид. Из фрагментов контрольных растений грибы рода *Diaporthe* не выделены.

Патогенность штамма *Diaporthe* sp.-1 в отношении сои была доказана и проверена постулатами Коха, для *D. eres* MF-Pm-4a и *D. eres* MF-Pm-5a она не подтвердилась, поэтому в дальнейших исследованиях использовали только эти штаммы. Растения сои, инокулированные на стадии R-1, оставались зелеными, пикниды на их поверхности не обнаруживали, признаки усыхания листьев отсутствовали, растения продолжали развиваться и образовывать бобы. На 40-е сутки после инокуляции некротические пятна, размеры которых в среднем составляли ~2 см, наблюдали на зараженных растениях

Табл. 2. Патогенность штаммов рода *Diaporthe* в отношении сои

Штамм	Средняя длина некроза, см ± стандартное отклонение		Частота повторного выделения из места инокуляции, %		Частота выделения из ткани вне места инокуляции, %	
	Сентябринка	Китросса	Сентябринка	Китросса	Сентябринка	Китросса
Инокуляция методом агаровых блоков (фаза развития сои R-3)						
Контроль	0,50±0,05	-	0	-	0	-
<i>D. eres</i>	2,30±0,60*	-	60	-	100	-
MF-Pm-4a						
<i>D. eres</i>	1,30±0,30	-	100	-	100	-
MF-Pm-5a						
<i>Diaporthe</i> sp.-1	по всей длине стебля	-	100	-	100	-
Инокуляция методом агаровых блоков (фаза развития сои R-1)						
Контроль	0,50±0,05	0,50±0,05	0	0	0	0
<i>D. eres</i>	2,00±0,50	2,10±0,50	70	66	10	0
MF-Pm-4a						
<i>D. eres</i>	1,80±0,50	2,10±0,20	54	43	0	0
MF-Pm-5a						
Инокуляция листьев суспензией спор						
Контроль	0	0	0	0	0	0
<i>D. eres</i>	0,50±0,10	0,50±0,10	60	40	10	0
MF-Pm-4a						
<i>D. eres</i>	0,50±0,10	0,50±0,10	60	35	0	0
MF-Pm-5a						

*различия достоверны, по сравнению с контролем, на уровне значимости 0,001; - сорт не использовали в эксперименте.

исключительно в местах поранения. Размеры некрозов были больше, чем в контроле, в 4 раза (см. табл. 2).

Заражение более молодых растений не вызвало повсеместного появления пикнид на стеблях, что дало возможность повторно выделить патоген. После реизоляции из фрагментов, взятых выше мест инокуляции, штамм *D. eres* MF-Pm-4a выделяли в 10 % случаев. Повторное выделение патогена только на скороспелом сорте Сентябрьинка свидетельствует о его меньшей устойчивости к инфицированию, по сравнению со среднеспелым сортом Китросса. Повторное выделение из ткани вне места инокуляции только штамма *D. eres* MF-Pm-4a, а также более высокая (на 20 %) его реизоляция из мест инокуляции, косвенно указывают на большую агрессивность, по сравнению со штаммом *D. eres* MF-Pm-5a, что согласуется с результатами предыдущего эксперимента. В целом незначительное (10 %) повторное выделение *D. eres* из междоузлий и появление локальных некрозов только в местах поранений свидетельствуют о невысокой агрессивности исследуемого вида гриба в отношении сои.

При заражении сои на стадии развития R-3 отмечали более короткий инкубационный период – появление первых симптомов в виде пикнид на стеблях наблюдали через 15 дней после инокулирования, тогда как при заражении молодых растений на стадии R-1 даже через 40 суток после инокулирования развития видимых симптомов, характерных для болезней, вызываемых комплексом видов *Diaporthe*, не наблюдали.

Существует немало методов искусственного заражения растений, благодаря которым становится возможным определение не только толерантности генотипов растений, но и вирулентности различных изолятов возбудителя. Особенно это актуально для уточнения филогенетической приуроченности узкоспециализированных или факультативных паразитов, а также для изучения потенциальных рисков их распространения. Один из способов распространения грибов рода *Diaporthe* – капельная влага. Для подтверждения возможности проникновения патогена не только через повреждения, но и через

естественные пути, например, устьица, использовали метод искусственного заражения листьев сои суспензией спор без нанесения механических повреждений.

На 10-е сутки после инокуляции на листьях наблюдали некротические пятна, которые по форме и диаметру соответствовали нанесенной капле со спорами и во всех вариантах составляли 0,5 см (см. табл. 2). Сильнее выраженные некрозы отмечали на абаксиальной стороне листовой пластинки, по-видимому, наличие устьичного аппарата способствовало более быстрому и легкому проникновению патогена внутрь тканей. Листья в контроле оставались без повреждений и сохраняли свой первоначальный зеленый цвет.

При реизоляции через 7...10 суток на питательной среде из образцов некротической ткани в 35...60 % случаев выделяли грибы рода *Diaporthe*, что свидетельствует о явном присутствии их спор/мицелия в некротической ткани (см. табл. 2). В процессе культивирования участков листовых пластин без видимых признаков некрозов в 10 % случаев выделяли *D. eres*, что подтверждает потенциальную вероятность развития и распространения патогена в тканях листьев сои. Всего лишь 10 %-ное повторное выделение гриба из условно здоровых фрагментов листьев (без видимых некротических повреждений) свидетельствует о низкой агрессивности вида, что согласуется с результатами, полученными в ходе инокулирования молодых растений на стадии R-1. Все случаи повторного выделения *D. eres* были отмечены на листьях сои скороспелого сорта Сентябринка (см. табл. 1), что может свидетельствовать о более высокой устойчивости среднеспелого сорта Китросса.

Наличие спор/мицелия в некротической ткани свидетельствует о возможности развития паразитических взаимоотношений гриба и сои. Кроме того, существует вероятность, что *D. eres* способен колонизировать сою как оппортунист, который при определенных условиях (инфекция, неблагоприятные абиотические факторы) может привести к гибели растения. В последних исследованиях показано, что одно растение может быть поражено более чем одним видом *Diaporthe* [4, 12, 15]. Например, установлено, что *D. eres* входит в состав патоконкомплекса подсолнечника, и существуют предположения, что возбудитель фомопсиса – комплекс видов рода *Diaporthe* [4]. Благодаря выявленному в нашем исследовании факту, что соя способна поддерживать инокулят *D. eres*, вид может войти в состав патоконкомплекса и привести к увеличению вредоносности из-за совместного влияния, особенно на менее устойчивые сорта.

Выводы. Таким образом, независимо от используемого метода искусственного заражения в условиях *in vivo* доказано, что *Diaporthe eres* проявляет патогенные свойства в отношении сои. Появление симптомов болезни в виде некрозов и пикнидообразования на живых растениях, повторное выделение изолятов из фрагментов, отобранных выше мест инокуляции, подтверждают возможность развития *D. eres* на сое как патогена. Однако незначительная реизоляция (10 %) из фрагментов зараженных растений свидетельствует о низкой агрессивности вида в отношении сои.

Штаммы из разных генотипических кластеров демонстрируют различную агрессивность по отношению к сое. Штамм *D. eres* MF-Pm-4a более агрессивен, чем *D. eres* MF-Pm-5a, так как частота его повторного выделения из мест инокуляции была выше на 20 %, а из мест вне инокуляции составляла 10 %.

Процесс развития болезни сои в фазе R-1 характеризуется более продолжительным инкубационным

периодом, даже на 40 сутки после инокулирования видимых симптомов болезни не наблюдали. Тогда как при заражении сои в фазе развития R-3 появление первых симптомов в виде пикнид на живых стеблях сои отмечали на 15 сутки после инокулирования. При этом среднеспелый сорт сои Китросса был более устойчивым, чем скороспелый сорт Сентябринка.

Несмотря на низкий патогенный потенциал исследуемых штаммов, возможное присутствие вида *D. eres* в патоконкомплексе сои может привести к повышению его вредоносности, а соя может способствовать сохранению и дальнейшему распространению вида.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГиП ДВО РАН по теме № 122041800128-5; БСИ ДВО РАН по теме № 1021060207393-6-1.6.11.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ.

Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику, к. б. н. Э. В. Некрасову (АФ БСИ ДВО РАН, г. Благовещенск) за неоценимую помощь на всех этапах исследования.

Литература.

1. *Species Fungorum*. URL: <https://www.speciesfungorum.org/Names/Names.asp> (дата обращения: 15.02.2024).
2. The current status of species in *Diaporthe* / A. Dissanayake, A. Phillips, K. D. Hyde, et al. // *Mycosphere*. 2017. No. 8. P. 1106–1156. doi: 10.5943/mycosphere/8/5/5.
3. Hulário S., Santos L., Alves A. *Diaporthe amygdali*, a species complex or a complex species? // *Fungal biology*. 2021. Vol. 125. P. 505–518. doi: 10.1016/j.funbio.2021.01.006.
4. Gomzhina M. M., Gannibal P. B. *Diaporthe* species infecting sunflower (*Helianthus annuus*) in Russia, with the description of two new species // *Mycologia*. 2022. Vol. 114. No. 3. P. 556–574. doi: 10.1080/00275514.2022.2040285.
5. Якуткин В. И., Саулич М. И. Географическая распространённость фомопсиса подсолнечника в России и соседних странах в современных агроценозах // *Аграрная наука*. 2019. Т. 2. С. 83–88. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-2-83-88.
6. First report of stem canker of *Salsola tragus* caused by *Diaporthe eres* in Russia / T. Kolomiets, Z. Mukhina, T. Matveeva, et al. // *Plant disease*. 2009. Vol. 93. No. 1. Article 110. URL: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-93-1-0110B> (дата обращения: 06.12.2023). doi: 10.1094/PDIS-93-1-0110B.
7. Фитопатогенный гриб *Phomopsis phaseoli*: вирулентность и устойчивость к фунгицидам / Е. М. Чудинова, Т. А. Шкункова, Л. Ю. Кокаева и др. // *Защита картофеля*. 2019. № 1. С. 14–20.
8. First report of *Phomopsis phaseoli* on tomato / S. N. Elan-sky, L. Y. Kokaeva, A. V. Alexandrova, et al. // *Journal of plant pathology*. 2020. Vol. 102. No. 1. P. 236–236. doi: 10.1007/s42161-019-00403-6.
9. Diversity of endophytic fungi in annual shoots of *Prunus mandshurica* (Rosaceae) in the south of Amur Region, Russia / E. V. Nekrasov, L. P. Shumilova, M. M. Gomzhina, et al. // *Diversity*. 2022. No. 14. Article 1124. URL: <https://www.mdpi.com/1424-2818/14/12/1124> (дата обращения: 15.02.2024). doi: 10.3390/d14121124.

10. Грибные заболевания сои на Дальнем Востоке / И. П. Дудченко, А. А. Кузнецова, Г. Н. Дудченко и др. // Фитосанитария. Карантин растений. 2023. № 4 (16). С. 2–16.
11. Кузьмин А. А. Особенности распространения заболеваний сои на территории Амурской области // Научное обеспечение АПК. 2023. Т. 17. № 2. С. 31–44.
12. *Diaporthe* seed decay of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] is endemic in the United States, but new fungi are involved / K. Petrovic, D. Skaltsas, L. A. Castlebury, et al. // *Plant Disease*. 2021. Vol. 105. P. 1621–1629. doi: 10.1094/PDIS-03-20-0604-RE.
13. The *Diaporthe sojae* species complex: Phylogenetic re-assessment of pathogens associated with soybean, cucurbits and other field crops / D. Udayanga, L. A. Castlebury, A. Y. Rossman, et al. // *Fungal biology*. 2015. Vol. 119. No. 5. P. 383–407. doi: 10.1016/j.funbio.2014.10.009.
14. The biochemical response of soybean cultivars infected by *Diaporthe* species complex / K. Petrović, J. Šućur Elez, M. Crnković, et al. // *Plants*. 2023. Vol. 12. Article 2896. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/16/2896> (дата обращения: 26.11.23). doi: 10.3390/plants12162896.
15. Analysis of the species spectrum of the *Diaporthe/Phomopsis* complex in European soybean seeds / B. Hosseini, A. El-Hasan, T. Link, et al. // *Mycological Progress*. 2020. Vol. 19. P. 455–469. doi: 10.1007/s11557-020-01570-y.
16. *Diaporthe* diversity and pathogenicity revealed from a broad survey of soybean stem blight China / X. Zhao, K. Li, S. Zheng, et al. // *Plant Disease*. 2022. Vol. 106. P. 2892–2903. doi: 10.1094/PDIS-12-21-2785-RE.
17. Zaw M., Aye S. S., Matsumotos M. *Colletotrichum* and *Diaporthe* species associated with soybean stem diseases in Myanmar // *of General Plant Pathology*. 2020. Vol. 86. P. 114–123. doi: 10.1007/s10327-019-00902-5.
18. *Diaporthe*: a genus of endophytic, saprobic and plant pathogenic fungi / R. R. Gomes, C. Glienke, S. I. R. Videira, et al. // *Persoonia*. 2013. No. 13. URL: <https://www.ingentaconnect.com/content/nhn/pimj/2013/00000031/00000001/art00001> jsession-id=e9aetb1bnpsjt.x-ic-live-03# (дата обращения: 19.01.2024).
19. Resolving the *Diaporthe* species occurring on soybean in Croatia / J. M. Santos, K. Vrandecic, J. Cosic, T. Duvnjak, et al. // *Persoonia*. 2011. Vol. 27. P. 9–19. doi: 10.3767/003158511X603719.
20. Soybean stem canker caused by *Diaporthe caulivora*; Pathogen diversity, Colonization process, and plant defense activation / E. Mena, S. Steward, M. Montesano, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 10. Article 1733. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2019.01733/full> (дата обращения: 17.02.2024). doi: 10.3389/fpls.2019.01733.

Поступила в редакцию 21.03.2024

После доработки 10.04.2023

Принята к публикации 14.05.2024

Агропочвоведение и агроэкология

УДК 546.562:576.851:633.11

DOI 10.31857/S2500262724030121 EDN FUUQZG

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ В ЗАГРЯЗНЕННОЙ МЕТАЛЛОМ ПОЧВЕ И ЕГО НАКОПЛЕНИЕ В РАСТЕНИЯХ ПРИ ВНЕСЕНИИ РОСТОСТИМУЛИРУЮЩИХ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ© 2024 г. **В. П. Шабаяев**¹, доктор биологических наук, **М. П. Волокитин**², кандидат сельскохозяйственных наук, **В. Е. Остроумов**¹¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 2
E-mail: vpsh@rambler.ru²Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
142290, Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 2

Исследования проводили с целью изучения влияния внесения ростостимулирующих ризосферных бактерий рода *Pseudomonas* при искусственном загрязнении агросерой почвы медью в концентрации выше ориентировочно допустимого уровня на фракционный состав соединений металла в почве, массу растений яровой пшеницы и усвоение ими металла в вегетационном опыте. Для оценки влияния бактерий на распределение меди по почвенным фракциям использовали инокуляцию культурами *P. fluorescens* 20, *P. fluorescens* 21 и *P. putida* 23. Пшеницу выращивали до фазы трубкования при загрязнении почвы $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ в дозе Cu 300 мг/кг на фоне внесения НРК удобрений. Аккумуляцию Cu наблюдали во фракциях, связанных с органическим веществом, оксидами и гидроокислами Fe и Mn и в меньшей степени с карбонатами. Содержание меди в вегетативной массе и корнях после озоления в смеси HNO_3 : HClO_4 (2:1) и в почвенных фракциях определяли методом эмиссионно-оптической спектроскопии индуктивно-связанной плазмы. Бактерии повышали устойчивость растений к высокой концентрации меди и на 13...24 % увеличивали их массу, уменьшая фитотоксичность металла. Положительное действие бактерий при загрязнении медью обусловлено ростом содержания металла в корнях (в 18...19 раз относительно варианта с загрязнением без применения бактерий). Внесение микроорганизмов повышало содержание меди в почве главным образом в специфически сорбированной и связанной с карбонатами фракциях, а также в составе железистых минералов, и в меньшей мере – в органической фракции, одновременно уменьшая содержание металла в остаточной фракции. Увеличивая содержание меди в вегетативных органах растений и усвоение ими металла из почвы, бактерии усиливали фитоэкстракцию – очистку загрязненной почвы. Рост усвоения меди растениями из почвы на 19...30 % при внесении микроорганизмов соответствовал увеличению ее нахождения в почве в относительно подвижных формах и уменьшению в остаточной фракции.

FRACTIONAL COMPOSITION OF COPPER COMPOUNDS IN METAL-CONTAMINATED SOIL AND ITS ACCUMULATION IN PLANTS IN APPLICATION OF GROWTH PROMOTING RHIZOSPHERE BACTERIA**V. P. Shabayev**¹, **M. P. Volokitin**², **V. E. Ostroumov**¹¹Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences,
142290, Moskovskaya obl., Pushchino, ul. Institutskaya, 2
E-mail: vpsh@rambler.ru²Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences,
142290, Moskovskaya obl., Pushchino, ul. Institutskaya, 2

Studies were carried out to investigate effect of application of growth-promoting rhizosphere bacteria of genus *Pseudomonas* in artificial contamination of agro-gray soil with copper in concentration above approximately permissible level on fractional composition of metal compounds in soil, weight of spring wheat plants and metal uptake by plants in pot experiment. To assess effect of bacteria on distribution of copper in soil fractions, inoculation with cultures *P. fluorescens* 20, *P. fluorescens* 21, and *P. putida* 23 was used. Wheat plants were grown up to booting stage in contamination with $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ at rate of 300 mg Cu/kg of soil against background of NPK fertilization. Cu accumulation in fractions associated with organic matter, oxides and hydroxides of Fe and Mn and, to a lesser extent, with carbonates was established. Content of Cu in shoots and roots after combustion in mixture of HNO_3 : HClO_4 (2:1) and in soil fraction was determined by inductively coupled plasma emission-optical spectrometry. Bacteria rised plant resistance to high copper concentration and increased their weight by 13...24 %, reducing the phytotoxicity of metal. Positive effect of bacteria in copper contamination is due to increase in content of metal in roots (in 18...19 times relative to variant with copper contamination without bacteria application). Bacteria increased copper content mainly in specifically sorbed fraction associated with carbonates and in composition of ferruginous minerals, to lesser extent in organic fraction and decreased content of metal in residual fraction. Growth in copper uptake by plants from the soil by 19...30 % in application of bacteria corresponded to increase in its presence in soil in relatively mobile forms and decrease in the residual fraction.

Ключевые слова: *Pseudomonas*, яровая пшеница, агросерая почва, медь азотнокислая, медь в растениях и почвенных фракциях.

Keywords: *Pseudomonas*, spring wheat, agro-gray soil, cooper nitrate, cooper in plants and soil fractions.

Медь (Cu) выступает одним из биологически значимых и необходимых элементов для растений, однако при повышенных концентрациях может оказывать токсиче-

ское действие [1]. Биоремедиация токсичных тяжелых металлов (ТМ) вызывает значительный и растущий интерес, поскольку это экологически безопасный и эф-

фективный метод восстановления окружающей среды, загрязненной ТМ, с использованием внутренних биологических механизмов микроорганизмов и растений [2]. Для ремедиации загрязненных ТМ почв и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур исследуются стимулирующие рост растений ризосферные бактерии (plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR) [3, 4]. Представители PGPR рода *Pseudomonas* привлекают особое внимание благодаря широкой распространенности и присущим им ряду полезных для растений свойств [3, 5]. Сообщается, что *Pseudomonas* обладают высокой устойчивостью к ТМ и имеют высокий биоремедиационный потенциал, в том числе в ассоциациях с различными видами растений [6]. Применение PGPR рода *Pseudomonas* существенно уменьшало фитотоксичность и повышало устойчивость растений к токсическому действию различных ТМ [7, 8]. Установлены значительная стимуляция роста растений подсолнечника и увеличение поглощения Си вегетативной биомассой и корнями после инокуляции бактерией *P. lurida* штаммом ЕОО26 на фоне загрязнения почвы $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ [1]. Применение ростостимулирующей ризосферной бактерии *P. thivervalensis* улучшило параметры роста растений рапса (*Brassica napus* L.), в том числе увеличило биомассу и потребление Си растениями на загрязненной металлом почве [9]. В последние годы, несмотря на то, что имеются многочисленные данные, свидетельствующие о значительной стимуляции роста растений под влиянием PGPR, исследований по изучению растительных и в особенности почвенных механизмов ремедиации загрязненных ТМ почв, в том числе Си, под влиянием этих бактерий проведено относительно недостаточно.

Цель исследований – изучение влияния внесения PGPR рода *Pseudomonas* на фракционный состав соединений Си в почве, массу растений яровой пшеницы и усвоение Си растениями при их выращивании на загрязненной ТМ в повышенной концентрации агросерой почве.

Методика. Исследования проводили при выращивании яровой пшеницы *T. aestivum* L. сорта Злата (ФИЦ «Немчиновка») в вегетационном опыте при искусственном загрязнении $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ пахотной среднесуглинистой агросерой почвы (слой 0...20 см) юга Московской области. В сосудах, содержащих 800 г почвы, выращивали по 9 растений до фазы трубкования в течение 27 дней. В контрольном варианте растения выращивали в почве без внесения меди и без инокуляции бактериями. Вариант с внесением меди без бактерий рассматривали для оценки влияния загрязнения почвы на распределение металла по почвенным фракциям и на ее усвоение растениями. В почву вносили Си из расчета 300 мг/кг, что в 2,3 раза превышало ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК) для аналогичных почв. С этой солью было внесено 106 мг N/сосуд, поэтому в контрольном варианте (без внесения $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и бактерий) применяли азот в виде NH_4NO_3 в такой же дозе, какая была использована в загрязненных вариантах. То есть, доза азота была выровнена во всех вариантах опыта, растения выращивали на фоне внесения РК-удобрений в виде однозамещенного фосфорнокислого калия и сернокислого калия по 106 мг действующего вещества/сосуд, исходя из соотношения N : P : K = 1:1:1. Для изучения влияния бактерий на распределение металла по фракциям в почве использовали варианты с внесением металла в почву и с инокуляцией бактериями штаммов *P. fluorescens* 20, *P. fluorescens* 21 и *P. putida* 23. Поступление металла в растения и их рост рассматривали в вариантах с внесением металла в почву без бактериальной инокуляции.

При посеве стерилизованные семена инокулировали суспензиями бактерий из расчета 10^8 клеток на растение. В вариантах без инокуляции бактериями применяли автоклавируемые бактериальные суспензии. Влажность почвы в течение роста растений поддерживали не ниже 60 % полной полевой влагоемкости (21 % мас. %).

Вегетативную массу (листья и стебли) после среза растений высушивали при 70 °С, взвешивали и озоляли (0,5 г) в смеси концентрированных кислот HNO_3 : HClO_4 (2:1). В почве фракционировали соединения Си методом последовательных селективных экстракций. Выделяли следующие фракции Си: водорастворимую; обменную (экстрагент – 0,05 М $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$); специфически сорбированную, связанную с карбонатами (2,5 % CH_3COOH); связанную с органическим веществом (0,1 $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$); связанную с железистыми минералами (реактив Тамма при ультрафиолетовом облучении). Содержание Си в остаточной фракции, прочно связанной с глинистыми минералами, устанавливали по разности между внесенным в почву количеством металла и его суммой в выделенных фракциях. Концентрацию меди в растворах, полученных при последовательной экстракции из почвы, а также в растворах озоленных растительных препаратов измеряли методом эмиссионно-оптической спектроскопии индуктивно-связанной плазмы на спектрометре ICP-OES 5110 (Agilent, США). Статистическую обработку полученных данных проводили, используя функции F.TEST (оценка вероятности сходства выборок), ДОВЕРИТ.НОРМ (определение доверительного интервала для среднего при нормальном распределении), КВАДРОТКЛ (оценка отклонений точек от среднего) и НОРМ.РАСП (оценка нормального распределения) пакета MS Excel 2010.

Результаты и обсуждение. Анализ распределения по фракциям показал, что медь находится во всех выделенных фракциях почвы примерно через месяц после выращивания растений (табл. 1). В модельном эксперименте при внесении $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ в дерново-подзолистую почву и чернозем медь была представлена во всех фракциях, выделенных аналогичным использованным в наших исследованиях методом [10].

Табл. 1. Фракционный состав соединений Си в почве при внесении бактерий на фоне загрязнения почвы металлом

Вариант	Водорастворимая	Обменная	Специфически сорбированная	Связанная		Остаточная
				с органическим веществом	с железистыми минералами	
Си без внесения бактерий	0,6±0,08 0,2±0,07	0,7±0,10 0,2±0,03	26,0±3,2 8,7±1,2	102,3±15,0 34,1±5,1	40,9±5,9 13,6±1,7	123,5±18,0 43,2±6,4
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	0,9±0,13 0,3±0,04	0,5±0,07 0,2±0,03	37,8±5,5 12,6±1,6	113,0±14,8 37,7±5,2	101,7±15,0 33,9±4,9	46,1±6,7 15,3±2,1
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	0,9±0,12 0,3±0,03	0,4±0,06 0,1±0,01	36,1±5,4 12,0±1,6	119,8±17,1 39,9±5,6	74,2±11,0 24,7±3,5	68,6±10,1 23,0±2,9
Cu + <i>P. putida</i> 23	0,9±0,12 0,3±0,04	0,4±0,06 0,1±0,01	37,0±5,5 12,3±1,7	131,9±19,0 44,0±6,6	56,1±8,2 18,7±2,5	73,7±10,3 24,6±3,5

*в числителе – мг/кг почвы, в знаменателе – % от внесенного количества.

В водорастворимой и обменной фракциях во всех вариантах содержалась незначительная доля металла – 0,1...0,3 % от внесенного количества. Медь аккумуляровалась вне зависимости от применения бактерий, главным образом во фракции, связанной с органическим веществом (34,1...44,0 %), и фракции, связанной

с оксидами и гидроксидами Fe и Mn (13,6...33,9 %), и в меньшей степени – в специфически сорбированной фракции, связанной с карбонатами (8,7...12,6 %). На примере дерново-подзолистой почвы и чернозема показано, что для Cu характерно большое сродство к органическому веществу при загрязнении азотнокислой медью [10]. В остаточной фракции, связанной с глинистыми минералами, было сосредоточено 15,3...43,2 % ТМ.

Внесение бактерий оказало существенное влияние на распределение в почве Cu. Под влиянием бактерий *P. fluorescens* 20 и *P. fluorescens* 21 обнаружено увеличение в 1,8...2,5 раза содержания ТМ во фракции, связанной с оксидами и гидроксидами Fe и Mn, в варианте с *P. putida* 23 величина этого показателя увеличилась в 1,4 раза. Кроме того, внесение бактерий способствовало увеличению содержания меди в специфически сорбированной фракции, связанной с карбонатами, в 1,4...1,5 раза. Бактерии достоверно увеличили содержание Cu во фракции, связанной с органическим веществом – на 11...29 %. Вследствие всех этих изменений в вариантах с бактериями содержание меди в остаточной фракции уменьшилось с 43,2 % до 15,3...24,6 % от внесенного количества и составило 37...60 % по отношению к варианту без применения бактерий. То есть, при внесении бактерий значительная часть металла после выращивания пшеницы до фазы трубкования сосредотачивалась в относительно подвижных формах, при этом уменьшаясь в остаточной фракции.

При загрязнении почвы Cu установлено значительное ингибирование роста яровой пшеницы (табл. 2). Это выразилось в уменьшении на 13...24 % массы вегетативных органов и целых растений относительно контроля – без загрязнения ТМ и бактериальных инокуляций. Применение бактерий уменьшило токсическое действие Cu и стимулировало рост растений. При внесении бактерий вегетативная масса растений, подвергнутых Cu-стрессу, была на 13...16 % больше, в сравнении с вариантом с загрязнением ТМ без бактериальных инокуляций. Бактерии при загрязнении Cu также способствовали лучшему росту корневой системы – масса корней увеличилась на 20...24 %.

Табл. 2. Масса растений яровой пшеницы при внесении бактерий на фоне загрязнения почвы медью (сухое вещество), г/сосуд

Вариант	Вегетативная масса	Корни	Целое растение
Без внесения Cu и бактерий – контроль	2,65	0,61	3,26
Cu без внесения бактерий	2,01	0,41	2,42
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	2,32	0,50	2,82
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	2,28	0,49	2,77
Cu + <i>P. putida</i> 23	2,33	0,51	2,84
HCP ₀₅	0,26	0,08	0,34

Загрязнение Cu почвы вне зависимости от внесения бактерий до полутора раз увеличило содержание ТМ в вегетативной массе (табл. 3).

При загрязнении почвы Cu величина этого показателя в корневой системе увеличилась в значительно большей степени, чем в вегетативной массе. В варианте без внесения бактерий содержание Cu в корнях увеличилось в 17 раз, при внесении бактерий – в 18...19 раз по сравнению с контролем. Относительно варианта с загрязнением Cu без бактерий содержание ТМ в корнях при инокуляции *P. fluorescens* 20 увеличилось на 14 %, при применении *P. fluorescens* 21 и *P. putida* 23 – в виде тенденции – на 10...11 %. Применение бактерий в загрязненных условиях увеличило усвоение или вынос металла (в мкг/сосуд) из почвы вегетативной массой на 17...30 %, в наибольшей степени – в варианте с *P. fluorescens* 21, в сравнении

Табл. 3. Содержание в растениях и усвоение Cu растениями при внесении бактерий на фоне загрязнения почвы металлом

Вариант	Содержание Cu в растениях, мг/кг		Усвоение Cu растениями, мкг/сосуд	
	вегетативная масса	корни	вегетативная масса	корни
Без внесения Cu и бактерий – контроль	11	24	29	15
Cu без внесения бактерий	15	399	30	164
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	15	456	35	263
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	17	441	39	255
Cu + <i>P. putida</i> 23	15	440	35	259
HCP ₀₅	2	74	4	31

с загрязнением ТМ без бактерий (табл. 3). То есть, внесение бактерий усилило фитозэкстракцию – очистку загрязненной почвы. Под влиянием бактерий усвоение Cu корнями в загрязненных условиях увеличилось в 1,5...1,6 раза. Усвоение Cu корнями вне зависимости от внесения бактерий было в 6...8 раз больше, чем вегетативной массой из-за его более высокого содержания.

Увеличение усвоения Cu вегетативной массой и корневой системой инокулированных бактериями рода *Pseudomonas* растений, вероятно, было обусловлено увеличением подвижности в почве металла, о чем свидетельствуют уменьшение его доли и содержания в остаточной фракции и повышенное содержание в почве в других формах, кроме водорастворимой и обменной фракций. PGPR способны влиять на подвижность в почве и биодоступность металлов через процессы подкисления, комплекссообразования, осаждения и окислительно-восстановительные реакции [11, 12]. Продуцирование PGPR ряда веществ, в том числе сидерофоров – низкомолекулярных органических соединений, также переводит ТМ в растворимые и биодоступные формы и наряду с другими полезными свойствами ризобактерий стимулирует рост растений и уменьшает неблагоприятное действие ТМ [11, 12, 13]. Так, установлено, что дитиокарбоновая кислота – сидерофор, продуцируемый *Pseudomonas* spp., образует растворимые комплексы с Cr, Cu, Fe, Mn, Ni и Zn, но осаждает из раствора Cd, Pb и As [13]. Повышенное содержание Cu в почве в составе вышеупомянутых фракций, при внесении всех бактерий, вероятно, связано с продуцированием бактериальных сидерофоров, которые образуют растворимые комплексы с Cu. Бóльшее усвоение Cu растениями при применении бактерий, а, следовательно, усиление фитозэкстракции, было обусловлено тем, что значительная часть меди сосредотачивалась в относительно подвижных формах, уменьшаясь в остаточной фракции и, вероятно, вследствие этого, увеличением подвижности и биодоступности металла.

Повышение устойчивости растений яровой пшеницы к токсическому действию меди и усиление фитозэкстракции при применении PGPR имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение. Впервые показано, что бактерии не только повышают продуктивность загрязненных растений. Учитывая то, что, вне зависимости от формы поступления техногенных соединений ТМ, Cu в загрязненных почвах локализуется в основном в труднодоступных формах [15], бактерии переводят медь в более подвижные формы и, увеличивая фитозэкстракцию, уменьшают ее содержание в почве, тем самым, способствуют очистке почвы. Кроме того, при дефиците подвижной меди в почве с достаточно высоким валовым содержанием микроэлемента, ее поступление в растения из почвы во многом определяется активностью почвенных микроорганизмов [16], и применение

исследованных бактерий будет способствовать увеличению продуктивности сельскохозяйственных культур.

Выводы. Внесение PGPR рода *Pseudomonas* обеспечило повышение устойчивости яровой пшеницы к высокой концентрации Си в почве и увеличение массы растений, значительно уменьшая фитотоксичность металла. Положительное действие бактерий при загрязнении почвы Си было обусловлено увеличением содержания и накопления ТМ в корнях – ответной протекторной реакцией растений на загрязнение почвы. Внесение бактерий повышало усвоение ТМ вегетативной массой из почвы, тем самым, усиливая фитоэкстракцию – очистку почвы от загрязнения и улучшая ремедиацию загрязненной почвы. Под влиянием бактерий содержание Си в почве возросло главным образом в специфически сорбированной и связанной с железистыми минералами фракциях, в меньшей мере – в органической фракции, одновременно содержание металла в остаточной фракции уменьшилось. Увеличение усвоения Си растениями при внесении бактерий обусловлено тем, что значительная часть металла переходила в относительно более подвижные формы, вследствие этого, вероятно, увеличилась его биодоступность.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета в рамках государственных заданий Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН 121041500050-3 (60 % затрат), 121040500038-3 (20 % затрат) и Института фундаментальных проблем биологии РАН 122041200035-2 (20 % затрат).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы этой работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ.

Авторы выражают благодарность д.с.-х.н. Н. В. Давыдовой, ФИЦ «Немчиновка» за предоставление высококачественных семян для проведения опыта.

Литература.

1. Bioaugmentation with copper tolerant endophyte *Pseudomonas lurida* strain EOO26 for improved plant growth and copper phytoremediation by *Helianthus annuus* / A. Kumar, Tripti, O. Voropaeva, et al. // *Chemosphere*. 2021. 266. P. 128983. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520331805?via%3Dihub> (дата обращения: 14.02.2024). doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128983.
2. Ojha A., Jaiswal S., Mishra S. Bioremediation techniques for heavy metal and metalloid removal from polluted lands: a review // *International Journal of Science and Technology*. 2022. Vol. 10. P. 10591–10612. doi: 10.1007/s13762-022-04502-3.
3. Dorjey S., Dolkar D., Sharma R. Plant growth promoting rhizobacteria *Pseudomonas* // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 7. P. 1335–1344. doi: 10.20546/ijcmas.2017.607.160.
4. Recent progress on emerging technologies for trace elements-contaminated soil remediation. Review. T. El. Rasafi, A. Haouas, A. Tallou, et al. // *Chemosphere*. 2023. Vol. 341. P. 140121. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37690564/> (дата обращения: 12.03.2024). doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.140121.
5. Role of rhizobacteria in phytoremediation of heavy metals. Review Article / N. Nadeem, R. Asif, S. Ayyub, et al. // *Biological and Clinical Sciences Research Journal*. 2020. e035. URL: <https://bcsrj.com/ojs/index.php/bcsrj/article/view/35> (дата обращения: 21.11.2023). doi: 10.47264/bcsrj0101035.
6. Recent developments in microbe-plant-based bioremediation for tackling heavy metal-polluted soils: Review Article / L. Saha, J. Tiwari, K. Baudh, et al. // *Frontiers in Microbiology*. 2021. Vol. 12. 723. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35002995/> (дата обращения: 14.02.2024). doi: 10.3389/fmicb.2021.731723.
7. Шабаев В. П., Бочарникова Е. А., Остроумов В. Е. Ремедиация загрязненной кадмием почвы при применении стимулирующих рост растений ризобактерий и природного цеолита // *Почвоведение*. 2020. № 6. С. 738–750. doi: 10.31857/S0032180X20060118.
8. Шабаев В. П., Остроумов В. Е. Почвенно-агрохимические аспекты ремедиации загрязненной никелем почвы при применении ростстимулирующих ризосферных бактерий // *Почвоведение*. 2023. № 2. С. 226–239. doi: 10.31857/S0032180X22600925.
9. Effects of plant growth-promoting bacteria (PGPB) inoculation on the growth, antioxidant activity, Cu uptake, and bacterial community structure of rape (*Brassica napus* L.) grown in Cu-contaminated agricultural soil / X. M. Ren, S. J. Guo, W. Tian, et al. // *Frontiers in Microbiology*. 2019. Vol. 10. 1–12. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.01455/full> (дата обращения: 12.12.2023). doi: 10.3389/fmicb.2019.01455.
10. Ладонин Д. В., Карпунин М. М. Фракционный состав соединений никеля, меди, цинка и свинца, загрязненных оксидами и растворимыми солями металлов // *Почвоведение*. 2011. № 8. С. 953–965.
11. Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: A review / A. Ullah, S. Heng, M. F. H. Munis, et al. // *Environmental and Experimental Botany*. 2015. Vol. 117. P. 28–40. doi: 10.1016/j.envexpbot.2015.05.001.
12. Mishra J., Singh R., Arora N. K. Alleviation of heavy metal stress in plants and remediation of soil by rhizosphere microorganisms. Mini review article. Sec. Microbial Symbioses // *Frontiers in Microbiology*. 2017. Vol. 8. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.01455/full> (дата обращения: 19.03.2023). doi: 10.3389/fmicb.2017.01706.2019.01455/full.
13. Srivastava R., Singh A. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture // *International Journal of Agricultural Science and Research*. 2017. Vol. 7. P. 505–510.
14. Antimicrobial properties of pyridine-2,6-dithiocarboxylic acid, metal chelator produced by *Pseudomonas* spp. / A. L. Sebat, A. J. Pasczynski, M. S. Cortese, et al. // *Applied and Environmental Microbiology*. 2001. Vol. 67. P. 3934–3942. doi: 10.1128/AEM.67.9.3934-3942.2001.
15. Ладонин Д. В. Формы соединений тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах. М.: Издательство Московского университета, 2019. 312 с.
16. Макро- и микроэлементы в почвах и кормовых травах при фермерских полях Барнаульского Приобья / А. И. Сысо, М. А. Лебедева, С. А. Худяев и др. // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета* 2017. № 3. С. 54–61.

Поступила в редакцию 27.02.2024

После доработки 18.03.2024

Принята к публикации 21.05.2024

Хранение и переработка

УДК 664.782+634.74:613.292+664.696

DOI 10.31857/S2500262724030135 EDN FUSMDX

ВЛИЯНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ НА РЕЖИМЫ ЭКСТРУЗИИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭКСТРУДАТОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ФЕРМЕНТОЛИЗАТА ЖМЫХА АРОНИИ ЧЕРНОПЛОДНОЙ

© 2024 г. А. Ю. Шариков, кандидат технических наук, В. В. Иванов, кандидат технических наук, М. В. Амелякина, кандидат технических наук, Е. Н. Соколова, кандидат биологических наук, В. В. Ионов, Е. М. Серба, член-корреспондент РАН

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии –
филиал Федерального исследовательского центра
питания, биотехнологии и безопасности пищи,
111033, Москва Самокатная ул., 4б
E-mail: anton.sharikov@gmail.com

Исследование проводили с целью изучения влияния фактора влагосодержания при экструдировании смеси рисовой крупы с ферментоллизатом жмыха аронии черноплодной на режимные параметры процесса, физико-химические, структурно-механические и технологические показатели полученных образцов продукта. Актуальность исследования обусловлена необходимостью экологизации технологических процессов переработки плодово-ягодного сырья и повышения эффективности использования вторичных сырьевых ресурсов. Ферментоллизаты жмыха аронии черноплодной получали с использованием комплекса ферментов, включающего пектиназу, целлюлазу, протеазу и липазу. Гидролизат высушивали, добавляли к рисовой крупе в количестве 5 % и экструдировали, изменяя влагосодержание в диапазоне 15...24 %. Повышение влагосодержания при экструдировании снижало температуру со 165 до 148 °С, давление в предматричной зоне – с 5,0 до 2,0 МПа и момент сдвиговых деформаций – с 88 до 48 %, то есть уменьшало интенсивность воздействия на биополимеры перерабатываемых смесей. Одновременно удельный расход механической энергии снижался с 0,17 до 0,09 кВт·ч/кг. Тенденции изменения термомеханических режимов переработки, определяемых количеством воды в системе, как фактора, снижающего трение, для контроля и экспериментальных смесей были идентичны. С ростом влагосодержания при экструдировании твердость образцов, содержащих ферментоллизат ягодного жмыха, возрастала с 11,1 до 43,5 Н, насыпная масса – с 97,0 до 278,8 г/дм³, квадратичный коэффициент расширения снижался с 8,5 до 3,0. Динамическая вязкость суспензий помолов экструдатов в условиях гидратации, имитирующих их заваривание горячей водой, с повышением влагосодержания в процессе переработки смесей значимо увеличивалась с 2,0 до 3,4...4,4 Па·с. Экструдирование значимо повышало содержание фенольных веществ в образцах с ферментоллизатом жмыха аронии черноплодной, максимальная в опыте величина этого показателя 631,5 мг/дм³ соответствовала влагосодержанию 15 %.

THE INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT ON EXTRUSION MODES AND PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF EXTRUDATES WITH THE ADDITION OF CHOKEBERRY POMACE HYDROLYSATE

A. Yu. Sharikov, V. V. Ivanov, M. V. Amelyakina, E. N. Sokolova, V. V. Ionov, E. M. Serba

The All-Russian Research Institute of Food Biotechnology –
a Branch of the Federal Research Center for Nutrition,
Biotechnology and Food Safety,
111033, Moskva, ul. Samokatnaya, 4b
E-mail: anton.sharikov@gmail.com

The influence of the moisture content during the extrusion of a mixture of rice with chokeberry pomace hydrolysate on the process parameters, physico-chemical, structural, textural and technological properties of the extrudates was studied. The relevance of the study is due to the need to increase the sustainability of technological processing of fruit and berry raw materials and increase the efficiency of using by-products of food industry. Hydrolysate of chokeberry pomace was obtained using a complex of enzymes, including pectinase, cellulase, protease and lipase. The hydrolysate was dried, added to rice in an amount of 5 % and extruded at various moisture content in the range of 15...24 %. An increase in moisture content during extrusion reduced the process temperature from 165 to 148 °C, the pressure from 5.0 to 2.0 MPa and the torque from 88 to 48 %. A decrease in moisture reduced the intensity of the impact of the treated mixtures on biopolymers. The specific mechanical energy decreased from 0.17 to 0.09 kW hour/kg. The trends in changes in thermomechanical treatment modes, determined by moisture as a factor reducing friction, were identical for the control and experimental mixtures without significant differences. With an increase in moisture content during extrusion, the hardness of samples containing berry pomace hydrolysate increased from 11.1 to 43.5 N, bulk density from 97.0 to 278.8 g/dm³, and the sectional expansion index decreased from 8.5 to 3.0. The dynamic viscosity of suspensions of ground extrudates under hydration conditions simulating instant steeping in domestic conditions increased significantly from 2.0 to 3.4...4.4 Pa s with an increase in moisture content during extrusion. Extrusion increased the content of phenolic substances in samples with chokeberry pomace hydrolysate. The maximum value of 631.5 mg/dm³ corresponded to 15 % moisture content.

Ключевые слова: экструзия, вторичные сырьевые ресурсы, пищевые концентраты, арония черноплодная (*Aronia melanocarpa*), фенольные соединения, структурно-механические свойства.

Keywords: extrusion, food by-products, food concentrates, chokeberry (*Aronia melanocarpa*), phenolic compounds, structural and mechanical properties.

Жмыхи или выжимки плодово-ягодного сырья, образующиеся в процессе его переработки, в основном, на соки – недостаточно используемый сырьевой ресурс пищевой промышленности, который при этом имеет значительный потенциал в аспекте химического состава по содержащимся биологически активным веществам [1, 2]. Отсутствие и несвоевременная утилизация и переработка отходов на предприятиях, работающих с плодово-ягодным сырьем, создают серьезные экологические риски для населения и окружающей среды [1]. Однако важность переработки вторичных сырьевых ресурсов не ограничивается решением задач по экологизации производства, актуальным аспектом выступает и повышение эффективности предприятий посредством комплексной, глубокой переработки отходов с получением продуктов и пищевых ингредиентов с высокой добавленной стоимостью [3]. Этому способствуют тенденции увеличения потребительского интереса к категориям продуктов с натуральными ингредиентами и функциональными пищевыми добавками [4]. В химическом составе плодово-ягодных жмыхов выделяют несколько категорий ценных биологически активных фитохимических соединений: пищевые волокна, фенольные соединения, пектины, каротиноиды, природные антиоксиданты, микроэлементы [1, 2]. Потенциал этих биоактивных соединений позволяет рассматривать их как источники антиоксидантной, противовоспалительной, антибактериальной и противовирусной активности. Отмечается возможность улучшения органолептических характеристик пищевых продуктов, а также замены пищевых аллергенов в их составе посредством использования в качестве ингредиентов жмыхов плодово-ягодного сырья [4].

Переработку жмыхов плодово-ягодного сырья, отличную от прямого скармливания сельскохозяйственным животным, можно вести по нескольким направлениям, к которым можно отнести использование в качестве ингредиентов, изготовление порошков или концентрирование и экстракция биологически активных веществ [1, 3]. Конкретное целевое использование и способ дальнейшей переработки жмыхов определяет их химический состав [4]. Помимо высушивания, наиболее простой способ утилизации жмыхов – переработка в качестве ингредиентов в смеси с другим сельскохозяйственным сырьем при производстве продуктов питания. При этом одна из оптимальных технологий – пищевое экструдирование, которое не наносит значимого ущерба органолептическим показателям, обеспечивает возможность инактивации антипитательных факторов и использования вторичных сырьевых ресурсов при производстве продуктов с высокой добавленной стоимостью, как сухие завтраки, снеки, крахмалсодержащие и белковые ингредиенты для различных отраслей пищевой промышленности [5]. Технология экструдирования востребована при переработке смесей продукции зерновых культур с различными жмыхами из плодово-ягодного сырья, например, ананаса [6], клюквы, черники, винограда, яблока [7, 8, 9], черной смородины [10]. Перед экструдированием жмыхи высушивают и вносят в смеси в основном в количестве до 30 %. Установлено значимое влияние дозировки жмыхов и режимов экструдирования на структурно-механические свойства полученных продуктов, их цвет, органолептические характеристики, содержание антоцианов, флавонолов и процианидинов. Высоким потенциалом в аспекте антиоксидантных свойств и содержания фенольных веществ обладают плоды аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*), используемой как лекарственное сырье и ингредиент в пищевой

промышленности [11]. Комплекс биологически активных соединений аронии представлен флавоноидами (1,5...2,2 %), антоцианами (1,0...3,7 %), катехинами, аскорбиновой кислотой (до 1,6 %), органическими кислотами (1,52...1,71 %), дубильными веществами (0,98...1,53 %), цианидином и его гликозидами. В зависимости от сорта в плодах отмечается высокое содержание железа, марганца, хрома, цинка, меди [12].

Известен ряд исследований по разработке экструдированных продуктов с пониженной гликемической нагрузкой, высоким содержанием пищевых волокон и полифенолов добавлением свежих, сушеных плодов аронии черноплодной [13, 14], ее жмыхов [15, 16], экстракта [17]. Содержание биологически активных веществ в экструдированных продуктах с *Aronia melanocarpa* прямо коррелирует с массовой долей ингредиента в рецептуре, при этом внесение ее в количестве более 9 % негативно отражается на органолептических характеристиках [14]. Для решения проблемы ухудшения потребительских свойств целесообразно использовать экстракты или другие продукты переработки жмыхов, что при незначительной дозировке позволит значимо повысить пищевую ценность экструдатов.

Различные технологии экстракции имеют как свои преимущества, так и недостатки, но развитие и разработка новых ферментных препаратов позволяют все шире использовать методы ферментативной экстракции на основе гидролитических процессов [18]. На примере переработки жмыхов черники [19], малины [20], винограда [21], аронии черноплодной [22] установлено, что использование целлюлолитических, пектолитических и гemicеллюлолитических ферментных препаратов позволяет повысить качество экстракции и отказаться от органических растворителей. При этом состав ферментативного комплекса и дозировка специфических ферментов служит определяющим фактором химического состава гидролизатов жмыхов и полученных экстрактов из них.

Анализ результатов научных исследований в области эффективной переработки аронии черноплодной с использованием процесса экструдирования [13, 15, 17] и биоконверсии жмыхов плодово-ягодного сырья [18, 20, 22] свидетельствует о перспективности совмещения указанных технических решений, то есть использования ферментализатов жмыхов в качестве ингредиента в технологии пищевого экструдирования. Работ по изучению влияния внесения гидролизатов жмыхов в экструдированные смеси, а также зависимостей физико-химических и органолептических показателей изготовленных продуктов от гидротермомеханических режимов ранее не проводили.

Цель исследования – изучить влияние влагосодержания как основного управляющего фактора на режимные параметры экструзии рисовой крупы с ферментализатом жмыха аронии черноплодной.

Методика. Объектом исследования служили экструдаты с гидролизатом жмыха аронии черноплодной, полученные при различном влагосодержании. В качестве модельной основы для продуктов использовали рисовую крупу по ГОСТ 6292-93. Ферментализат жмыха аронии черноплодной получали путем многоэтапной переработки замороженных плодов. После отжима сока жмых подвергали биокаталитической обработке при гидромодуле 1:2 ферментной системой следующего состава: пектиназа 0,25 ед. ПкС/г; целлюлаза 0,75 ед. ЦС/г; протеаза 0,05 ед. ПС/г; липаза 0,05 ед. ЛС/г при pH 5,2, температура 52 °С, время экспозиции 6 ч. Использовали следующие ферментные препараты: Пектиназа Г20Х

на основе микромицета *Aspergillus foetidus*, Целовиридин Г20Х на основе штамма *Trichoderma viride*, Нейтраза Г18Х на основе штамма *Bacillus subtilis*, Липаза Г20Х на основе штамма *Aspergillus niger*. Полученный гидролизат жмыха высушивали при температуре 65 °С и добавляли в количестве 5 % к рисовой крупе. Смесь экструдировали, изменяя влагосодержание в камере экструдера в диапазоне 15...24 %. В качестве контроля перерабатывали рисовую крупу при влагосодержании 15 и 21 %.

В экспериментальной работе использовали двухшнековый экструдер Werner&Phleiderer Continua 37 с соотношением диаметра к длине шнека 1:27. Формование стренга осуществляли через фильеру с двумя отверстиями круглого профиля Ø 3,5 мм. При экструдировании скорость вращения шнеков составляла 200 об/мин, производительность по смеси – 20 кг/ч.

Полученные образцы оценивали по комплексу структурно-механических и функциональных показателей, характеризующих снеки и продукты быстрого приготовления [9, 10, 14].

Удельный расход механической энергии рассчитывали по формуле:

$$SME = \frac{n}{n_{max}} \times Kg \times N \times M,$$

где SME – удельный расход механической энергии на экструдирование, кВт·ч/кг сырья; n и n_{max} – скорость вращения шнеков установленная и максимальная соответственно, об/мин; N – мощность двигателя экструдера, кВт; M – момент на валу редуктора; Kg – расход сырья, кг/ч.

Содержание влаги измеряли термогравиметрическим методом с использованием анализатора ML-50 (A&D, Япония). Коэффициент квадратичного расширения рассчитывали по соотношению площадей сечения экструдата и отверстия фильеры. Насыпную плотность определяли в мерном цилиндре диаметром 10 см.

Структурно-механические свойства, твердость и количество микроразломов определяли с использованием анализатора текстуры Brookfield CT3 Texture Analyser с металлическим цилиндрическим зондом диаметром 3 мм при глубине прокола 3 мм. Инструментальный показатель твердости характеризует максимальную нагрузку, имитирующую сжатие образца между зубами, количество микроразломов – пористость и хрупкость экструдатов [23].

Гидратирующие свойства определяли методом приготовления суспензий измельченных образцов в избыточном количестве воды. Готовили суспензию с 10 %-ным содержанием сухих веществ, проводили интенсивное перемешивание в течение 15 минут и далее 15 минут центрифугировали суспензию на лабораторной центрифуге ОПН-8 при 3000×g. Растворимость образца рассчитывали как отношение массы осадка после фугования к массе сухих веществ в каждом центрифужном стакане. Набухаемость измеряли методом осаждения 10 %-ной суспензии в течение 24 ч в мерном цилиндре и рассчитывали как отношение объема продукта после отстаивания к массе навески.

Для определения реологических свойств суспензий, имитирующих поведение инстант-продукта до готовности, в сосуд заливали 90 г воды температурой 95...98 °С и при постоянном перемешивании добавляли 30 г экс-

трудата. После интенсивного перемешивания температуру смеси снижали до 24 °С и измеряли динамическую вязкость вискозиметром SV-10 (AND, Япония) при частоте 30 Гц.

Цветовые характеристики образцов оценивали колориметрическим методом в системе CIE LAB с использованием анализатора CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай) [24], где L^* – светлота от 0 до 100, a^* – хроматическая составляющая в диапазоне от зеленого до красного, b^* – хроматическая составляющая в диапазоне от синего до желтого. Хроматические составляющие ограничивали диапазоном значений -100/+100. Инструментальные измерения проводили в 10-и повторностях [24].

Суммарное содержание фенольных соединений в экструдатах определяли спектрофотометрическим методом с использованием хлорида алюминия, 18-моллибдофосфата и реактива Фолин-Чокальтеу на спектрофотометре Specord 50 Analytic Yena при длине волны 720 нм [25].

Статистическую обработку проводили с использованием пакета программ Statistica 6.0. Достоверность различий средних определяли методом однофакторного дисперсионного анализа и тестом Тьюки при $p < 0,05$. Значения экспериментальных данных представлены в виде средних $\pm$ стандартное отклонение.

Результаты и обсуждение. Рост влагосодержания при экструдировании значимо снижает температуру, давление и момент сдвиговых деформаций как для рисовой крупы, так и для ее смеси с ферментолитом аронии черноплодной, то есть уменьшает интенсивность гидротермомеханического воздействия на биополимеры перерабатываемого сырья (табл. 1). Температура снижается со 165 до 148...150 °С, момент сдвиговых деформаций – с 88...90 до 48 %, давление – с 5,0 до 2,0 МПа. При этом различия между величинами параметров, соответствующих одному уровню влагосодержания, для контроля и экспериментальной смеси не значимы.

Табл. 1. Режимные параметры экструзии смеси рисовой крупы с ферментолитом жмыха аронии черноплодной*

Образец	Влагосодержание, %	Температура, °С	Момент сдвиговых деформаций, %	Давление, МПа	Удельный расход механической энергии, кВт·ч/кг
Рисовая крупа	15	165±2 ^a	90±2 ^a	5,0±0,2 ^a	0,1710
Рисовая крупа с 5%	21	150±2 ^b	54±1 ^b	2,6±0,1 ^b	0,1026
ферментолита аронии черноплодной	15	165±2 ^a	88±1 ^a	5,0±0,2 ^a	0,1672
	18	156±1	66±1	2,7±0,2 ^b	0,1254
	21	150±2 ^b	52±2 ^b	2,4±0,2 ^{bc}	0,0988
	24	148±1 ^b	48±1	2,0±0,1 ^c	0,0912

*различия между значениями в каждом столбце, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, статистически незначимы при $p < 0,05$.

Расчетный показатель удельного расхода механической энергии отражает количество поступающей в экструзионную систему в результате диссипации механической энергии работы двигателя на единицу массы сырья. Она в основном преобразуется в тепло в экструдере. Оценивая изменение величины этого показателя с варьированием уровня влагосодержания, для экспериментальной смеси можно отметить существенное снижение с 0,1672 до 0,0912 кВт·ч/кг, аналогичная тенденция сохраняется и в контроле.

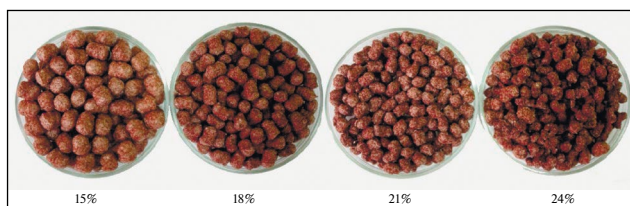


Рис. 1. Внешний вид экструдатов с ферментолитами жмыхов аронии черноплодной в зависимости от влагосодержания.

При экструдировании сырья с влагосодержанием 24 % резка стренгов усложнялась, происходило слипание экструдата, отмечено ухудшение формования (рис. 1).

С ростом влагосодержания с 15 до 24 % квадратичный коэффициент расширения значительно снижался с 8,5 до 3,0 (табл. 2). Причем для контрольных экструдатов из рисовой крупы величина этого показателя была значимо выше, чем для экспериментальных, только при низком влагосодержании. Насыпная масса контрольного и экспериментального экструдатов при влагосодержании 15 % значимо не различалась и составляла 94,7 и 97,5 г/дм³. С ростом влагосодержания экструдаты становились плотнее, при влажности 24 % насыпная масса увеличивалась практически в 3 раза, до 278,8 г/дм³. Изменение показателя твердости, характеризующегося максимальной нагрузкой, имитирующей сжатие экструдата между зубами, повторяло тенденции, отмеченные для насыпной плотности. При влагосодержании 15 % величина этого показателя была минимальной и составляла для экспериментального образца 11,1 Н, с увеличением влагосодержания до 21...24 % она росла до 43,2...43,5 Н. Количество микроразломов с увеличением влагосодержания снижалось, за исключением образца с ферментолитом аронии, полученного при 24 % влажности. В этом случае на рост количества микроразломов может влиять большее содержание воды в экструдированном сырье.

Табл. 2. Структурно-механические характеристики экструдатов в зависимости от влагосодержания в процессе экструзии*

Показатель, единица измерения	Влагосодержание экструзии, %					
	рисовая крупа			рисовая крупа с 5 % ферментолита аронии черноплодной		
	15	21	15	18	21	24
Квадратичный коэффициент расширения	8,9±1,4	5,1±1,2 ^a	8,5±0,6	4,2±0,6 ^a	4,1±0,5 ^a	3,0±0,7
Насыпная масса, г/дм ³	94,7±3,2 ^a	250,4±4,5	97±5,0 ^a	171,6±3,8	232,3±4,3	278,8±5,2
Твердость, Н	9,2±1,8 ^a	35,2±4,5 ^b	11,1±2,2 ^a	30,1±4,2 ^b	43,2±5,3 ^c	43,5±4,6 ^c
Количество микроразломов	9,8±2,2 ^a	4,6±1,5 ^b	7,8±0,9 ^{ac}	5,2±1,0 ^b	4,1±1,5 ^b	6,2±0,7 ^{bc}

*здесь и в таблицах 3 и 4 различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, статистически незначимы при $p < 0,05$.

Цвет экструдатов – важная характеристика для маркетинга, которую в основном определяет сырье, входящее в состав рецептуры. Добавление 5 % ферментолита жмыха аронии черноплодной значимо изменяло цветовые характеристики образцов (табл. 3). Величина пока-

зателя светлоты L снижалась с 74,6...81,4 для рисовой крупы до 29,3...36,0 для экспериментальной смеси. Количество влаги не оказывало значимого влияния на величину этого показателя. Индекс а с добавлением ферментолита значимо смещался в сторону красного цвета с 3,8...7,1 до 26,9...32,6, рост влагосодержания также повышал его величину. Для образцов, полученных при влагосодержании 15 %, оно было значимо меньше, чем для образцов, проэкструдированных при 18...24 %. Хроматическая составляющая b с ростом влагосодержания и добавления ферментолита имела тенденцию к снижению.

Табл. 3. Цветовые характеристики экструдатов в зависимости от влагосодержания в процессе экструзии

Показатель	Влагосодержание экструзии, %					
	рисовая крупа			рисовая крупа с 5 % ферментолита аронии черноплодной		
	15	21	15	18	21	24
L	74,6±2,1	81,4±0,8	36±3,4 ^a	30,5±3,3 ^a	29,3±4,7 ^a	31,4±2,0 ^a
a	7,1±0,6 ^a	3,8±0,1 ^a	26,9±2,8 ^b	31,2±3,2 ^{bc}	32,6±4,3 ^c	31,7±1,9 ^c
b	17,5±2,1	12,2±1,0 ^a	10,3±0,7 ^a	8,2±0,2 ^b	6,3±0,4 ^b	7,5±0,8 ^b

Исследование гидратационных и реологических характеристик помола экструдата показало (табл. 4), что увеличение влагосодержания и соответствующее смягчение режимов экструзии снижало растворимость экструдатов с 88 до 66 % и набухаемость – с 7,6 до 6,6...7,0 см³/г. Одновременно их влагоудерживающая способность возрастала с 2,3 до 3,8 г/г.

Табл. 4. Гидратационные и реологические характеристики экструдатов в зависимости от влагосодержания в процессе экструдирования

Показатель, единица измерения	Влагосодержание, %					
	рисовая крупа			рисовая крупа с 5 % ферментолита аронии черноплодной		
	15	21	15	18	21	24
Растворимость, %	89±2 ^a	78±3 ^{bc}	88±2 ^a	82±1 ^b	74±3 ^c	66±2
Влагоудерживающая способность, г/г	2,1±0,1 ^a	3,6±0,2 ^b	2,3±0,2 ^a	2,1±0,1 ^a	3,2±0,1	3,8±0,2 ^b
Набухаемость, см ³ /г	7,6±0,3 ^a	7,0±0,2 ^b	7,6±0,1 ^a	6,8±0,2 ^b	6,6±0,1 ^b	7,0±0,3 ^b
Динамическая вязкость суспензии, Па·с	2,5±0,1 ^a	3,4±0,1 ^b	2,0±0,1	2,7±0,2 ^a	3,4±0,2 ^b	4,4±0,2

Необходимо отметить, что для этих трех показателей значимые различия между контрольным и экспериментальными образцами, полученными на соответствующих уровнях влажности, отсутствуют. Существенные различия отмечены в изменении динамической вязкости гидратированных помолов экструдатов, имитирующих их заваривание в бытовых условиях горячей водой. При влагосодержании 15 % вязкость экструдата рисовой крупы составила 2,5 Па·с, экструдата с ферментолитом жмыха – 2,0 Па·с. Рост влагосодержания значимо повышал вязкость суспензии до 3,4...4,4 Па·с.

Экструдирование существенно увеличивало содержание фенольных веществ в экструдатах с ферментолитом жмыха аронии черноплодной, максимальное в опыте повышение отмечали при режимах с низким влагосодержанием (рис. 2). При наименьшей влажности оно составляло 631,5 мг/дм³, при наибольшей – 241,1 мг/дм³, в смеси без экструдирования – 108,2 мг/дм³.

В экструдатах с гидролизатом жмыхов аронии концентрация фенольных веществ в результате экструдирования выросла в 6,4 раза. При этом ранее в исследованиях, проведенных с добавлением экстракта аронии черноплодной [17], было показано отсутствие значимого изменения общего содержания фенольных веществ

после экструдирования относительно исходной смеси. Изменение режимов экструдирования не повлияло на концентрацию процианидинов и гидроксикоричных кислот, более высокая скорость вращения шнеков увеличивала удельный расход механической энергии и приводила к потере антоцианов. Аналогичные результаты получены другими исследователями [16], однако в этой работе отмечено снижение количества антоцианов, а содержание фенольных кислот и флавонолов не изменялось. Эффект значимого роста количества фенольных веществ в экструдатах с гидролизатами жмыхов, наблюдаемый в нашем исследовании, может быть объяснен синергизмом действия ферментных систем на клеточные стенки жмыха и последующей их деструкцией в процессе комплексного гидротермомеханического воздействия при экструдировании.

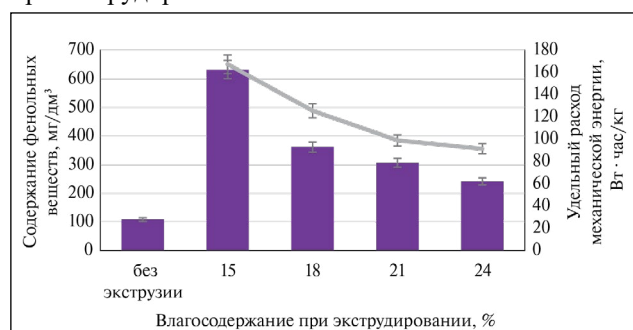


Рис. 2. Содержание фенольных веществ в экструдатах с ферментализатами жмыхов аронии черноплодной: —■— содержание фенольных веществ, мг/дм³, —— удельный расход механической энергии, Вт·ч/кг.

Степень такого воздействия определяется уровнем удельных затрат механической энергии, которая в свою очередь изменяется варьированием влагосодержания при переработке смесей. Коэффициент корреляции между содержанием фенольных веществ и значением удельной механической энергии составил 0,98, что указывает на сильную положительную связь. То есть, уровень влагосодержания выступает не только фактором управления структурно-механическими и гидратационными свойствами экструдатов, но и позволяет изменять содержание фенольных веществ.

Выводы. Влагосодержание в процессе экструдирования смеси рисовой крупы с 5 % ферментализата аронии черноплодной выступает ключевым фактором управления структурно-механическими и технологическими свойствами, а также содержанием фенольных веществ. Его снижение позволяет получать продукты правильной формы с более развитой пористой структурой и меньшей твердостью. Насыпная масса, квадратичный коэффициент расширения и твердость образцов, полученных при влагосодержании 15 %, составили соответственно 97 г/дм³, 8,5 и 11,1 Н, при влагосодержании 24 % – 278,8 г/дм³, 3,0 и 43,5 Н. Режимы переработки смесей с низкой влажностью можно рекомендовать для производства хлебцев и снековой продукции, для которых важны структурно-механические характеристики. При разработке и производстве инстант-продуктов, ингредиентов для каш быстрого приготовления более предпочтительны режимы с высоким влагосодержанием при экструдировании. Это обеспечивает повышение влагоудерживающей способности с 2,3 до 3,8 г/г и динамической вязкости суспензий, имитирующих заваривание каш в бытовых условиях с 2,0 до 4,4 Па·с.

Ферментализаты жмыха аронии черноплодной служат источником фенольных соединений, их включение в состав рецептур экструдированных продуктов позволяет повысить пищевую ценность. Содержание фенольных соединений в экструдатах также зависит от гидротермомеханических условий переработки, максимальное увеличение отмечено для режима с низким влагосодержанием 15 % – 631,5 мг/дм³. Максимальной влажности смеси 24 % соответствует содержание фенольных соединений 241,1 мг/дм³.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств гранта РНФ № 22-16-00100, <https://rscf.ru/project/22-16-00100/>. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство этим конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Iqbal A.S., Shulz P., Rizvi S. Valorization of bioactive compounds in fruit pomace from agro-fruit industries: Present Insights and future challenges // *Food Bioscience*. 2021. Vol. 44. P. 101384. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429221005095> (дата обращения: 01.03.2024). doi: 10.1016/j.fbio.2021.101384.
2. Saini A., Panesar P. S., Bera M. B. Valorization of fruits and vegetables waste through green extraction of bioactive compounds and their nanoemulsions-based delivery system // *Bioresour. Bioprocess*. 2019. Vol. 6. P. 26. URL: <https://bioresources.bioprocessing.springeropen.com/articles/10.1186/s40643-019-0261-9>. (дата обращения: 01.03.2024). doi: 10.1186/s40643-019-0261-9.
3. Santos D., Lopes S., Pintado J. Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients. A review on production process, health benefits and technological functionalities // *LWT*. 2021. Vol. 154. P. 112707. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821018600> (дата обращения: 01.03.2024). doi: 10.1016/j.lwt.2021.112707.
4. Michalska-Ciechanowska A. A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 88. P. 207–219. doi: 10.1016/j.tifs.2019.03.021.
5. Extrusion Processing of Biomass By-Products for Sustainable Food Production / J. Pennells, I. Bless, P. Juliano, et al. // *From Biomass to Biobased Products* / Eds E. Jacob-Lopes, L. Q. Zepka, R. R. Dias. 2023. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.111943> (дата обращения: 01.03.2024).
6. Kothakota A., Jindal N. A study on evaluation and characterization of extruded product by using various by-products // *African Journal of Food Science*. 2013. Vol. 7. P. 485–497. doi: 10.5897/AJFS2013.1065.
7. White B. L., Howard L. R., Prior R. L. Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2010. Vol. 58. No. 7. P. 4037–4042. doi: 10.1021/jf902838b.
8. Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates / E. Höglund, L. Eliasson, G. Oliveira, et al. // *LWT- Food Science and Technology*. 2018. Vol. 92. P. 422–428. doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.042.

9. Wang S., Gu B. J., Ganjyal G. M. Impacts of the Inclusion of Various Fruit Pomace Types on the Expansion of Corn Starch Extrudates // *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 2019. Vol. 110. P. 223–230. doi: 10.1016/j.lwt.2019.03.094.
10. Exploiting blackcurrant juice press residue in extruded snacks / L. Mäkilä, O. Laaksonen, J. M. Ramos-Diaz, et al. // *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 2014. Vol. 57. P. 1–10. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643814000668> (дата обращения: 01.03.2024). doi: 10.1016/j.lwt.2014.02.005.
11. Разработка средства на основе плодов аронии черноплодной, повышающего эффективность химиотерапии опухолей / В. Ю. Андреева, В. В. Шейкин, Г. И. Калинкина и др. // *Химия растительного сырья*. 2020. № 4. С. 219–226. doi: 10.14258/jcprm.2020046339.
12. Химический состав плодов аронии различных сортов / Е. Е. Логвинова, Т. А. Брежнева, И. А. Самылина и др. // *Фармация*. 2015. Т. 64. № 6. С. 22–26.
13. Fresh Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) Fruits as Valuable Additive in Extruded Snack Pellets Selected Nutritional and Physiochemical Properties / A. Wójtowicz, M. Combrzyński, B. Biernacka, et al. // *Plants* (Basel, Switzerland). 2023. Vol. 12 (18). P. 3276. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/18/3276> (дата обращения: 01.03.2024). doi: 10.3390/plants12183276.
14. Hwang E. S. Quality characteristics and antioxidant activity of rice porridge supplemented with aronia (*Aronia melanocarpa*) powder // *Korean Journal of Food Preserv.* 2021. Vol. 28 (1). P. 63–71. doi: 10.11002/kjfp.2021.28.1.63.
15. Extrusion processing of pure chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace: Impact on dietary fibre profile and bioactive compounds / V. Schmid, J. Sieck, E. Mayer-Miebach, et al. // *Foods*. 2021. Vol. 10 (3). P. 518. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/3/518> (дата обращения: 01.03.2024). doi: 10.3390/foods10030518.
16. Enrichment of starch-based extruded cereals with chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace: Influence of processing conditions on techno-functional and sensory related properties, dietary fibre and polyphenol content as well as in vitro digestibility / V. Schmid, E. Mayer-miebach, D. Behsnilian, et al. // *LWT-Food Science and Technology*. 2021. Vol. 154 (4). P. 112610. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821017631> (дата обращения: 01.03.2024). doi: 10.1016/j.lwt.2021.112610.
17. Influence of HTST extrusion cooking process parameters on the stability of anthocyanins, procyanidins and hydroxycinnamic acids as the main bioactive chokeberry polyphenols / M. Hirth, R. Preiß, E. Mayer-Miebach, et al. // *LWT-Food Science and Technology*. 2015. Vol. 62 (1). P. 511–516. doi: 10.1016/j.lwt.2014.08.032.
18. Перспективные направления переработки ягодного жмыха в пищевые ингредиенты / Г. С. Волкова, Е. Н. Соколова, В. В. Ионов и др. // *Пищевая промышленность*. 2023. № 11. С. 35–39. doi: 10.52653/PPI.2023.11.11.008.
19. Valorization of Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Pomace by Enzyme-Assisted Extraction: Process Optimization and Comparison with Conventional Solid-Liquid Extraction / M. Syrpas, E. Valanciene, E. Augustiniene, et al. // *Antioxidants*. 2021. Vol. 10 (5). P. 773. doi: 10.3390/antiox10050773.
20. Enzyme-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Raspberry (*Rubus idaeus* L.) Pomace / N. Saad, F. Louvet, S. Tarrade, et al. // *Journal of Food Science*. 2019. V.84. P. 1371–1381. doi: 10.1111/1750-3841.14625.
21. Enzyme-assisted extraction and ultrafiltration of value-added compounds from sour cherry wine pomace / M. C. Roda-Serrat, C. Lundsfryd, S. Rasmussen, et al. // *Chemical Engineering Transactions*. 2019. Vol. 74. P. 811–816. doi: 10.3303/CET1974136.
22. Chokeberry pomace valorization into food ingredients by enzyme-assisted extraction: Process optimization and product characterization / V. Kitryte, V. Kraujalienė, V. Šulniūtė, et al. // *Food and Bioprocess Processing*. 2017. Vol. 105. P. 36–50. doi: 10.1016/j.fbp.2017.06.001.
23. Шариков А. Ю., Степанов, В. И. Инструментальные методы исследования текстуры экструдированных продуктов // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2015. Т. 5. №. 34. С. 3–9.
24. An explorative study on the relationships between the quality traits of peanut varieties and their peanut butters / H. Yu, H. Liu, S. W. Erasmus, et al. // *LWT*. 2021. Vol. 151. P. 112068. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643821012214> (дата обращения: 01.03.2024). doi: 10.1016/j.lwt.2021.112068.
25. Денисенко Т. А., Вишник А. Б., Цыганок Л. П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу // *Аналитика и контроль*. 2015. Т. 19. № 4. С. 373–380. doi: 10.15826/analitika.2015.19.4.012.

Поступила в редакцию 31.03.2024

После доработки 20.04.2024

Принята к публикации 07.05.2024

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Редакция помещает не более двух статей одного автора в год. Это правило не распространяется на академиков и членов-корреспондентов РАН и других академий.
2. Объем статьи не менее 12 стр., включая таблицы (не более 4), рисунки (не более 4), библиографию (до 25 названий). Статья, набранная крупным шрифтом через 1,5 интервала, пересылается по E-mail: nsm2308@yandex.ru. В ней должны быть указаны УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, степени, полное название учреждения с адресом, E-mail, реферат (объемом 200–250 слов с указанием цели опытов, объекта исследований, анализа полученных данных), ключевые слова, и все продублировано на английском языке. Таблицы и рисунки в одном файле с текстом. В тексте выделить «Методика» и «Результаты и обсуждение». Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах, графиках недопустимо. В конце статьи указать номер телефона (служебный, домашний, мобильный) каждого соавтора.
3. Рисунки (графический материал) должны быть выполнены четко, представлены на отдельном листе в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей, и/или на электронном носителе (программы «Adobe PhotoShop», «Adobe Illustrator»).
4. Статья с большим количеством формул (не более 10) представляется на электронном носителе – (программа «MS Equation» или подобная).
5. При описании методики исследования следует ограничиваться оригинальной ее частью, при элементном анализе приводить только усредненные данные.
6. Используемая литература приводится в порядке очередности упоминания, в тексте – цифровые ссылки в квадратных скобках. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008. Доля ссылок на источники старше 10 лет не должна превышать 30 % списка литературы, доля ссылок на публикации в журналах из ядра РИНЦ за последние 8 лет должна составлять не менее 50 % списка литературы. Желательны ссылки на журналы, входящие в базы данных Scopus и Web of Science. Цитируемость своих работ не более 15 %.
7. При получении статьи редакция рассматривает ее соответствие тематике журнала и посылает на рецензию ведущим специалистам. Возвращение рукописи автору на доработку с копией рецензии не означает, что статья принята к печати. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.
8. Редакция посылает авторам на визу подготовленный к печати экземпляр статьи, который должен быть выслан обратно в течение суток с момента его получения.

Авторам высылается журнал в электронном виде.

С аспирантов плата за публикацию не взимается.

Для получения гонорара за публикацию в англоязычном издании авторы могут обратиться в Российское авторское общество по адресу:

123995, Москва,

ул. Бронная, д. 6, стр. 1,

тел.: +7 (495) 697–33–35;

и на сайте РАО: www.rao.ru (подвести курсор на «Правообладатели», далее на «Авторам научных статей»). Здесь находятся документы для получения авторского гонорара.

Журнал рассылается только по подписке, в розничную продажу не поступает.