

Научно-теоретический журнал

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

www.vestnik-rsn.ru

DOI: 10.31857



$$Z_m^T(y, h) = P_m W(X_m(y, h))$$

$$F = -D \frac{dc}{dx} \approx -D \frac{c_2 - c_1}{l}$$

$$P = (m/n) \cdot x \cdot 100\%$$

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL
VESTNIK OF THE RUSSIAN AGRICULTURAL SCIENCE

№6 — Ноябрь-Декабрь — 2023
November-December

Издается с января 1992 года. Выходит 6 раз в год.
ISSN 2500-2082

© Российская академия наук, 2023
© «Вестник российской сельскохозяйственной науки», 2023

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
академик РАН Н.К. Долгушкин

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
академики РАН

Авидзба А.М. (Национальный НИИ винограда и вина «Магарач»), **Горлов И.Ф.** (Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции), **Иванов А.Л.** (Почвенный институт имени В.В. Докучаева), **Измайлов А.Ю.** (Федеральный научный агроинженерный центр РАН), **Каракотов С.Д.** (АО «Щелково Агрохим»), **Кашеваров Н.И.** (Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН), **Кулик К.Н.** (Федеральный научный центр агроэкологии РАН), **Ван Мансвелт Ян** (Нидерланды), **Петров А.Н.** (Всероссийский НИИ технологий консервирования), **Попов В.Д.** (Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства), **Савченко И.В.** (Всероссийский НИИ лекарственных и ароматических растений), **Синеговская В.Т.** (Всероссийский НИИ сои), **Фисинин В.И.** (Федеральный научный центр «ВНИТИП» РАН), **Якушев В.П.** (Агрофизический НИИ)

члены-корреспонденты РАН

Асеева Т.А. (Хабаровский ФИЦ ДВО РАН Дальневосточный НИИСХ), **Багиров В.А.** (Департамент координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Министерства науки и высшего образования РФ)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР – С.Л. Сенина

Журнал в виде отдельной базы данных Russian Science Citation Index (RSCI) размещен на платформе Web of Science. Зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) и в Международной информационной системе Agris, а также включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук, отнесен к первой категории (К1) журналов.

Полные тексты статей размещаются на сайте научной электронной библиотеки: elibrary.ru

Адрес: 119334, Москва, Ленинский проспект, д. 32 А,
Отделение сельскохозяйственных наук РАН, оф. 1023
Тел.: 8 (495) 938-17-51, 8 (916) 504-79-50
E-mail: vrsn@vestnik-rsn.ru
Website: www.vestnik-rsn.ru

Published January 1992. Published 6 times a year.
ISSN 2500-2082

EDITOR
Academician of the RAS N.K. Dolgushkin

EDITORIAL BOARD:
Academician of the RAS

Avidzba A.M. (National Institute of Vine and Wine “Magarach”), **Gorlov I.F.** (Povolzhskiy (Volga) Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products), **Ivanov A.L.** (Soil Institute named after V. V. Dokuchayev), **Izmajlov A.Ju.** (Federal Scientific Agroengineering center RAS), **Karakotov S.D.** (JSC “Shchelkovo Agrokhim”), **Kashevarov N.I.** (Siberian Federal Scientific center of Agrobiotechnology of RAS), **Kulik K.N.** (Federal Scientific center of Agroecology RAS), **J.D. van Mansvelt** (Netherlands), **Petrov A.N.** (All-Russian Research Institute of Canning Technology), **Popov V.D.** (Institute of Agroengineering and environmental problems of agricultural production), **Savchenko I.V.** (All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants), **Sinegovskaya V.T.** (All-Russian Research Institute of Soy), **Fisinin V.I.** (Federal Scientific Center “VNITIP” RAS), **Yakushev V.P.** (Agrophysical Research Institute)

Corresponding members of the RAS

Aseeva T.A. (Khabarovsk FRC FEB RAS Far Eastern Agricultural Institute), **Bagirov V.A.** (Department of coordination of organizations in the field of agricultural Sciences of the Ministry of science and higher education of the Russian Federation)

EXECUTIVE EDITOR – S.L. Senina

The journal is in a separate database of RSCI posted on the Web of Science platform. Registered in the Russian science citation index (RSCI) and the International information system Agris.

Full texts of articles are placed on the website of electronic library: elibrary.ru

Address: 119334, Moscow, Leninsky prospekt, 32 A,
Department of Agricultural Sciences of the RAS, of. 1023
Тел.: +7 (495) 938 17-51, +7 (916) 504-79-50
E-mail: vrsn@vestnik-rsn.ru
Website: www.vestnik-rsn.ru

Содержание / Contents

● ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ / ECONOMICS AND MANAGEMENT

- 4** Егоров Е.А., Шадрина Ж.А., Кочьян Г.А. / Egorov E.A., Shadrina Zh.A., Kochyan G.A.
Методические подходы к формированию структурно-параметрических моделей нормативного управления устойчивостью воспроизводственных процессов в многолетних агроценозах / Methodical approaches to the formation of structural-parametric models of regulatory management of reproduction processes sustainability resistance in perennial agrocenoses

● РАСТЕНИЕВОДСТВО И СЕЛЕКЦИЯ / CROP PRODUCTION AND SELECTION

- 9** Темирбекова С.К., Поливанова О.Б., Бастаубаева Ш.О. и др. / Temirbekova S.K., Polivanova O.B., Bastaubaeva Sh.O. et al.
Регуляторы роста растений как ингибирующий фактор фузариоза на культуре овса in vitro и in vivo / Plant growth regulators as an inhibitory factor of fusarium on oat culture in vitro and in vivo
- 18** Асеева Т.А., Зенкина К.В. / Aseeva T.A., Zenkina K.V.
Уровень урожайности селекционных линий тритикале и ее структурных элементов в Среднем Приамурье / Triticale selection lines yield's level and its structural elements in the Middle Amur River region
- 21** Таранова Т.Ю., Дёмина Е.А., Кинчаров А.И. / Taranova T.Yu., Demina E.A., Kincharov A.I.
Скрининг исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья / Screening of raw material for a spring soft wheat selection in the Middle Volga region conditions
- 26** Садиков А.Т., Темирбекова С.К. / Sadikov A.T., Temirbekova S.K.
Влияние окружающей среды на физиологические и продуктивные показатели генотипов хлопчатника в разных зонах Республики Таджикистан / Environment influence on the physiological and productive genotypes indicators in Tajikistan Republic different zones
- 31** Сергеев С.Н., Тараскин К.А., Касаикина О.Т. и др. / Sergeev S.N., Taraskin K.A., Kasaikina O.T. et al.
Разработка метода химической активации светонезависимых окислительных процессов в стадии проращивания семенного материала / Research development method of chemical activation of light-independent oxidative processes at the seed material germination stage
- 36** Гуреева Е.В. / Gureeva E.V.
Изучение изменчивости количественных признаков у сортов сои в условиях Центрального Нечерноземья / Study of the soybean varieties quantitative traits variability in the Central Non-Black Earth Region conditions
- 40** Банецкая Е.В., Синеговская В.Т., Наумченко Е.Т. / Banetskaya E.V., Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T.
Оценка влияния абиотических и антропогенных факторов на питание и урожайность сои / Assessment of the abiotic and anthropogenic factors influence on soybean nutrition and yield
- 46** Ерёмин Д.И., Любимова А.В., Ерёмин Д.В. / Eremin D.I., Lyubimova A.V., Eremina D.V.
Оценка засухоустойчивости и индексный скрининг сортов овса отечественной селекции / Drought resistance and index screening of domestic selection oat varieties
- 55** Бахмет О.Н., Евстратова Л.П., Николаева Е.В. и др. / Bakhmet O.N., Evstratova L.P., Nikolaeva E.V. et al.
Оценка растительного покрова при анализе бюджета углерода в агроландшафтах Карелии / Assessment of vegetation cover when analyzing the carbon budget in agricultural landscapes of Karelia
- 61** Евстратова Л.П., Кузнецова Л.А., Николаева Е.В. / Evstratova L.P., Kuznetsova L.A., Nikolaeva E.V.
Эффективность улучшающего отбора растений при получении миниклубней картофеля / The effectiveness of improving plant selection in obtaining potato minitubers
- 65** Ожерельева З.Е., Болгова А.О. / Ozhereleva Z.E., Bolgova A.O.
Выделение для селекционного использования устойчивых к весенним заморозкам сортов сливы из биоресурсной коллекции ВНИИСПК / Selection for breeding use of plum varieties resistant to spring frosts from the bioresource collection of VNIISPK
- 71** Ташманова Л.В., Мацнева О.В., Хромова Т.М. / Tashmanova L.V., Matsneva O.V., Khromova T.M.
Клональное микропомножение яблони / Clonal micropropagation of apple trees
- 77** Дахно Т.Г., Дахно О.А., Мурзина О.Г. / Dakhno T.G., Dakhno O.A., Murzina O.G.
Адаптивный потенциал сортов и гибридов земляники крупноплодной (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) в условиях Камчатского края / Adaptive potential large-fruited strawberry varieties and hybrids (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) in the conditions of the Kamchatka Territory

● ЗООТЕХНИЯ / ZOOTECHNICS

- 80** Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Федоров Ю.Н. и др. / Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Fedorov Yu.N. et al.
Оценка генетического разнообразия *калмыцкой* породы крупного рогатого скота Республики Калмыкия на основе полногеномного анализа / Assessment the *Kalmyk* cattle breed genetic diversity in the Kalmykia Republic based on genome-wide analysis
- 83** Забиякин В.А., Замятин С.А., Максуткин С.А. / Zabyakin V.A., Zamyatin S.A., Maksutkin S.A.
Племенные показатели фермерских цесарок / Breeding characteristics of farm guinea fowls
- 87** Рязанцева К.В., Сизова Е.А., Нечитайло К.С. / Ryazantseva K.V., Sizova E.A., Nechitailo K.S.
Продуктивность и жирно-кислотный состав сыворотки крови цыплят-бройлеров при скармливании желчи / Productivity and fatty acid composition of broiler chickens blood serum when fed bile
- 91** Ключникова Н.Ф., Ключников М.Т., Ключникова Е.М. / Klyuchnikova N.F., Klyuchnikov M.T., Klyuchnikova E.M.
Эффективность применения акантопанакса для профилактики яловости коров / The effectiveness of the acanthopanax application for the prevention of cow owl
- 95** Дерюгина А.В., Иващенко М.Н., Таламанова М.Н. и др. / Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Talamanova M.N. et al.
Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на показатели крови коров при технологическом стрессе / The influence of low-intensity laser radiation on the blood parameters of cows under technological stress

● ВЕТЕРИНАРНАЯ ЭНТОМОЛОГИЯ / VETERINARY ENTOMOLOGY

- 100** Роткин А.Т. / Rotkin A.T.
Экологические проблемы из-за применения инсектицидов в сельском хозяйстве для борьбы с кровососущими двукрылыми насекомыми / Environmental problems of insecticides application in agriculture to combat blood-sucking dipterous insects
- 104** Бурашова М.И. / Burashova M.I.
Анализ разнообразия и сезонной динамики фауны кровососущих комаров (*Diptera, Culicidae*) Тавдинского района Свердловской области / Diversity and seasonal dynamics analysis of the blood-sucking mosquitoes fauna (*Diptera, Culicidae*) of the Tavdinsky district of the Sverdlovsk region

● ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ / PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEER SYSTEMS

- 107** Присяжная И.М., Присяжная С.П. / Prisyazhnaya I.M., Prisyazhnaya S.P.
Разработка технологии уборки сои комбайном двухфазного обмолота для получения семян в условиях Амурской области / Development of technology for harvesting soybeans using a two-phase threshing combine to obtain seeds in the conditions of the Amur region

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-63276 от 06 октября 2015 г.,
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Подписано к печати 05.12.2023. Дата выхода в свет 15.12.2023. Формат 60×88 1/8.
Усл. печ. л. 13,69. Уч.-изд. л. 14. Заказ № 22. Тираж 200 экз., в том числе 21 экз. бесплатно.

Учредитель: Российская академия наук

16+

Издатель: Российская академия наук, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 14
Исполнитель по госконтракту № 4У-ЭА-130-22 ООО "Объединенная редакция",
109028, г. Москва, Подкопаевский пер., д. 5, каб. 6
Отпечатано ИП Ерхова И.М.
125267, Москва, Ленинградский пр-т, 47, тел. 8 495 799-48-85

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НОРМАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МНОГОЛЕТНИХ АГРОЦЕНОЗАХ

Евгений Алексеевич Егоров, доктор экономических наук, академик РАН, профессор
Жанна Александровна Шадрина, доктор экономических наук, профессор РАН
Гаянэ Агоповна Кочьян, кандидат экономических наук, доцент
ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»,
г. Краснодар, Россия
E-mail: gayanek@mail.ru

Аннотация. Обоснована необходимость формирования структурно-параметрических моделей нормативного управления устойчивостью воспроизводственных процессов в многолетних агроценозах. Рассмотрены современные методы в сложных природно-техногенных системах: когнитивный анализ и перспективные цифровые технологии. Показана модель функциональной устойчивости воспроизводственных процессов в многолетних агроценозах, представляющая иерархическую систему, которая определяет структуру связей функций и элементов, в том числе параметры этих связей. Разработан алгоритм создания структурной модели параметров устойчивости, включающий: выделение функциональных областей воздействий; формирование системы оценочных показателей; нахождение функциональных эколого-экономических, технолого-экономических взаимосвязей и определение их размерности; оценку общесистемной и функциональной устойчивости воспроизводственных процессов; выбор критериев устойчивости и системы ограничений; эконометрическое моделирование для выявления рациональных параметров устойчивости воспроизводственных процессов. Доказана роль биотехнологий в обеспечении потенциальной устойчивости агроценозов, нивелировании негативных последствий в результате климатических и химико-техногенных воздействий на элементы агроценоза. Предложены инструменты управления биотехнологическими процессами в элементах агроценоза по критериям адаптивности, биологизации и рациональности природопользования. Разработана нормативно-параметрическая модель обеспечения устойчивости воспроизводственных процессов, цель которой — обоснование регуляторов (инструментов) приведения системы к устойчивому состоянию. Установлена эффективность корректировки агротехнологических регламентов для приведения показателей состояния агроэкосистемы к нормативному уровню устойчивости.

Ключевые слова: агроценозы, воспроизводственные процессы, устойчивость, модели, алгоритм, эффективность

METHODICAL APPROACHES TO THE FORMATION OF STRUCTURAL-PARAMETRIC MODELS OF REGULATORY MANAGEMENT OF REPRODUCTION PROCESSES SUSTAINABILITY RESISTANCE IN PERENNIAL AGROCENOSSES

E.A. Egorov, *Grand PhD in Economic Sciences, Academician of the RAS, Professor*
Zh.A. Shadrina, *Grand PhD in Economic Sciences, Professor of the RAS*
G.A. Kochyan, *PhD in Economic Sciences, Associate Professor*
North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, Krasnodar, Russia
E-mail: gayanek@mail.ru

Abstract. The necessity of forming structural-parametric models of normative management of the stability of reproductive processes in perennial agroecosystems is substantiated. Modern methods of managing the sustainability of reproductive processes in complex natural and man-made systems are considered: cognitive analysis and promising digital technologies. A structural model of the functional stability of reproductive processes in perennial agroecosystems has been developed, representing a hierarchical system that determines the structure of the relationships of functions and elements of reproductive processes, including the parameters of these relationships. An algorithm for the formation of a structural model of stability parameters has been developed, including the identification of functional areas of impacts; the formation of a system of evaluation indicators; the identification of functional ecological-economic and technological-economic relationships and the determination of their dimension; assessment of system-wide and functional stability of reproduction processes; determination of stability criteria and a system of restrictions; econometric modeling in order to determine the rational parameters of the stability of reproduction processes. The role of biotechnologies in ensuring the potential stability of agroecosystems, leveling the negative consequences as a result of climatic and chemical-man-made impacts on the elements of agroecosystem is substantiated. The tools of management of biotechnological processes in the elements of agroecosystem according to the criteria of adaptability, biologization and rational nature management are proposed. The normative-parametric model of ensuring the stability of reproductive processes has been developed, the main purpose of which is to substantiate the regulators (tools) of bringing the system to a stable state. The effectiveness of the adjustment of agrotechnological regulations in order to bring the indicators of the state of the agroecosystem to the normative level of stability is substantiated.

Keywords: agroecosystems, reproduction processes, sustainability, models, algorithm, efficiency

Воспроизводственные процессы в многолетних агроценозах представляют собой сложную циклически организованную систему, которая включает ресурсы: биологические (почвенное плодородие, растения многолетних сельскохозяйственных культур, насаждения); производительные (финансовые, материально-технические, трудовые); товарно-экономические (продукция, прибавочная стоимость, фонды).

В результате негативного влияния макроэкономических процессов формируются функциональные диспропорции, которые воздействуют на развитие реального сектора экономики и организацию воспроизводственных процессов. Эффективность производства плодовой продукции в 2022 году существенно снизилась, по сравнению с 2018 годом. Себестоимость плодовой продукции в РФ увеличилась на 60,3% (в среднем за год на 12,5%), цена реализации – 33,5% (в среднем за год на 7,5%), что обусловило снижение рентабельности производства более, чем на 25 процентных пункта, а также возрастание дефицита собственных оборотных ресурсов сельхозтоваропроизводителей для осуществления закладки многолетних насаждений и основного производственного процесса.

С учетом ожидаемых макроэкономических диспропорций минимальный прирост себестоимости плодовой продукции (яблоки) в 2023 году может составить более 13%, что требует разработки мер по обеспечению устойчивости воспроизводственных процессов в субъектах отраслевого предпринимательства.

Устойчивость многолетних агроценозов, представляющих сложные природно-техногенные системы, может быть потенциальной, определяющей его конструктивными элементами и в вегетационном периоде, предусматривающая принятие оперативных агротехнологических мер по приведению тех или иных воспроизводственных процессов в соответствие с нормативными параметрами. [1, 4]

Динамический оптимум воспроизводственных процессов регламентируется критериями, технологико-экономические параметры которых расчетно обосновываются многофакторным моделированием.

Обобщающие критерии функциональной и общесистемной устойчивости воспроизводственных процессов: способность природно-техногенной системы противостоять отрицательным воздействиям природного и экономического характера; расширенное воспроизводство всех используемых видов технологических и экономических ресурсов; качественное изменение параметров системы; условия последующих улучшений и предотвращение спадов производства.

Достижение необходимого уровня устойчивости и эффективности воспроизводственных процессов осуществляется методами и способами разработки, реализацией управленческих решений.

К современным методам управления устойчивостью воспроизводственных процессов в сложных природно-техногенных системах отнесены когнитивный анализ и цифровое моделирование.

Когнитивные методы анализа выявляют системные причинно-следственные связи между структурными элементами сложных систем, опре-

деляют степени взаимовлияния факторных признаков и результирующих показателей с последующим отображением информации в форме когнитивной карты.

Когнитивные карты устойчивости воспроизводственных процессов в агроэкосистемах с участием плодовых агроценозов – основа для разработки механизма и размерности инструментов обеспечения устойчивости сложных природно-техногенных систем, включая платформенные решения, основанные на современных цифровых технологиях, и позволяют дать оценку последствий, происходящих под влиянием климатических и химико-техногенных воздействий на элементы агроэкосистем.

Цифровые технологии – автоматизация оперативной выработки оптимальных регламентов технологических процессов и операций с формированием и обработкой многофункциональных баз данных, когнитивного моделирования с использованием программного и аппаратного обеспечения.

Перспективные цифровые технологии в промышленном плодоводстве – создание и внедрение аналитических инструментов и специализированных баз данных для программно-аппаратного обеспечения управления устойчивостью воспроизводственных процессов с учетом формирующихся технологических сдвигов по критериям адаптивности, биологизации и рациональности природопользования при негативном влиянии техногенных, климатических и макроэкономических факторов.

Устойчивость обеспечивается структурной организацией воспроизводства по комплексу специфических критериев, которые определяют условия организации процессов, либо устанавливают ограничения, соблюдение которых формирует устойчивость.

Выявление оптимальных параметров структурно-функциональных взаимосвязей в воспроизводственных процессах необходимо как для разработки инструментария управления устойчивостью и эффективности, так и для установления направлений в модификации технологий в целом и ее регламентов в частности.

Структурная модель функциональной устойчивости воспроизводственных процессов в многолетних агроценозах представляет собой иерархическую систему, которая создает структуру связей функций и элементов воспроизводственных процессов, в том числе параметры этих связей (рис. 1).

Необходимость представления структурной модели функциональной устойчивости воспроизводственных процессов в многолетних агроценозах в графической форме возникает при проведении количественной оптимизации параметров элементов системы в соответствии с критериями биологизации, экологизации и ресурсосбережения.

Структурная модель функциональной устойчивости – основа для формирования структурной модели параметров устойчивости воспроизводственных процессов. Она должна основываться на среднемноголетних эмпирических данных, установленных ограничений и локальных критериях по видам устойчивости (рис. 2).

Алгоритм разработки структурной модели параметров устойчивости включает: выделение функ-

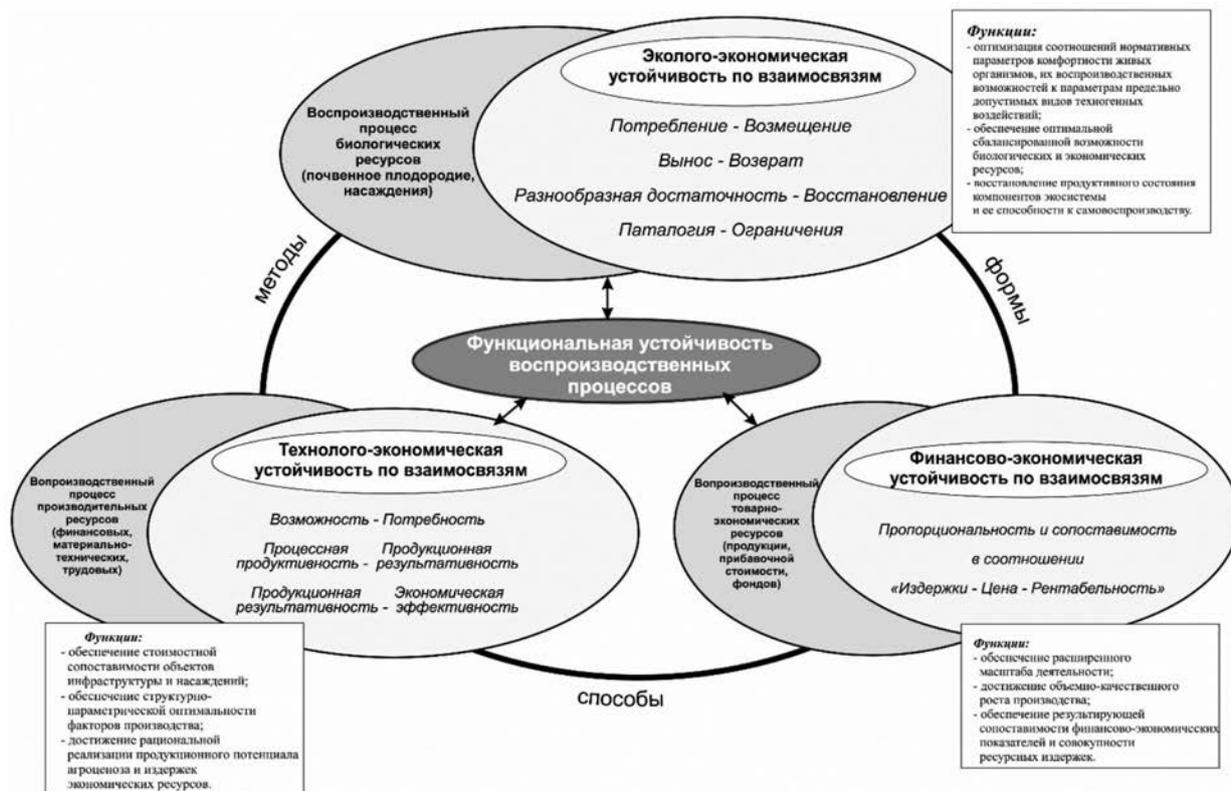


Рис. 1. Структурная модель функциональной устойчивости воспроизводственных процессов в многолетних агроценозах.

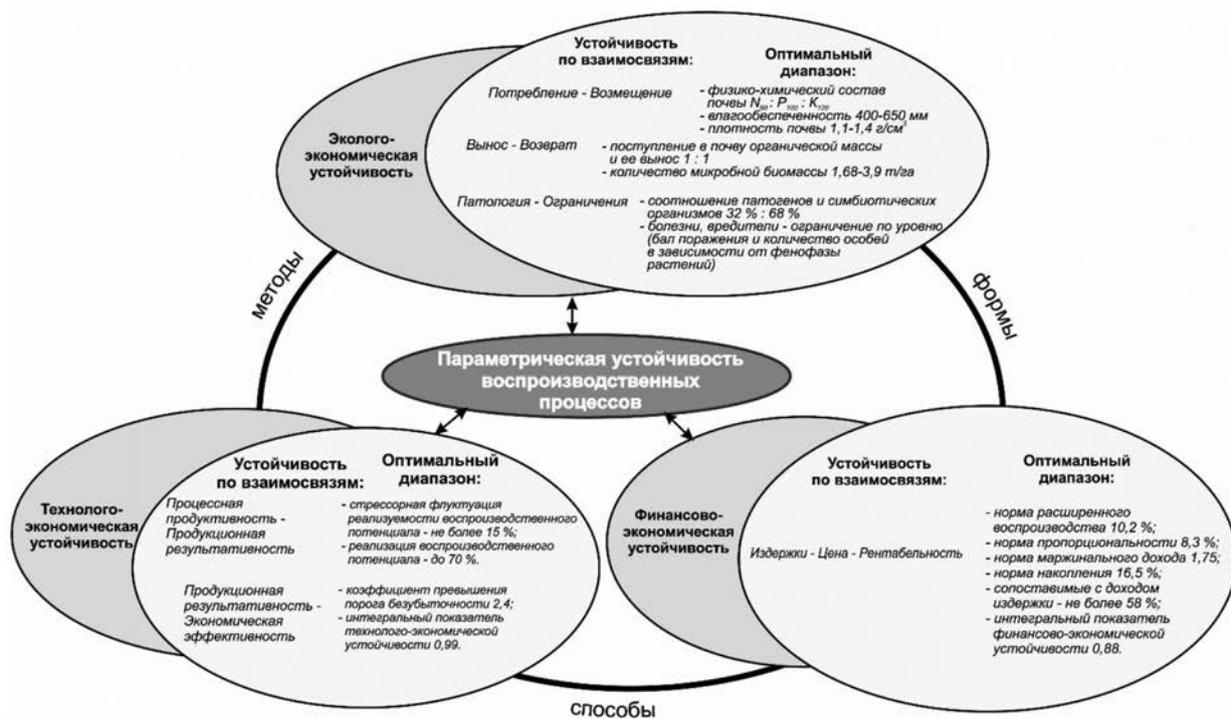


Рис. 2. Структурная модель параметров устойчивости воспроизводственных процессов.

циональных областей воздействия; формирование системы оценочных показателей; выявление функциональных эколого-экономических и технологическо-экономических взаимосвязей, определение их размерности; оценку общесистемной и функциональной устойчивости воспроизводственных процессов; выбор критериев устойчивости и системы ограни-

чений; эконометрическое моделирование для определения рациональных параметров устойчивости воспроизводственных процессов. [2, 3]

Эколого-экономическая устойчивость обуславливает потенциальное плодородие почв, почвенную микробиоту, состояние микробио-, акаро- и энто-

Технологическая-экономическая устойчивость воспроизводственных процессов характеризуется рациональностью конструкции агроценоза, агротехнологических приемов, управленческих решений.

Финансово-экономическая устойчивость состоит из компонентов (рыночные, структурные, элементные) по критериям конкурентоспособности, результативности, эффективности.

Приведение параметров устойчивости воспроизводственных процессов к их оптимальному уровню осуществляется нормативно-параметрической моделью (рис. 3).

Целеполагание нормативно-параметрической модели – обоснование регуляторов (инструменты) приведения системы к устойчивому состоянию.

При негативном влиянии техногенных, климатических и макроэкономических факторов особенно важны инструменты управления биотехнологическими процессами в промышленном плодородстве по критериям адаптивности, биологизации и рациональности природопользования.

В обеспечении потенциальной устойчивости агроценозов, нивелировании негативных последствий в результате климатических и химико-тех-

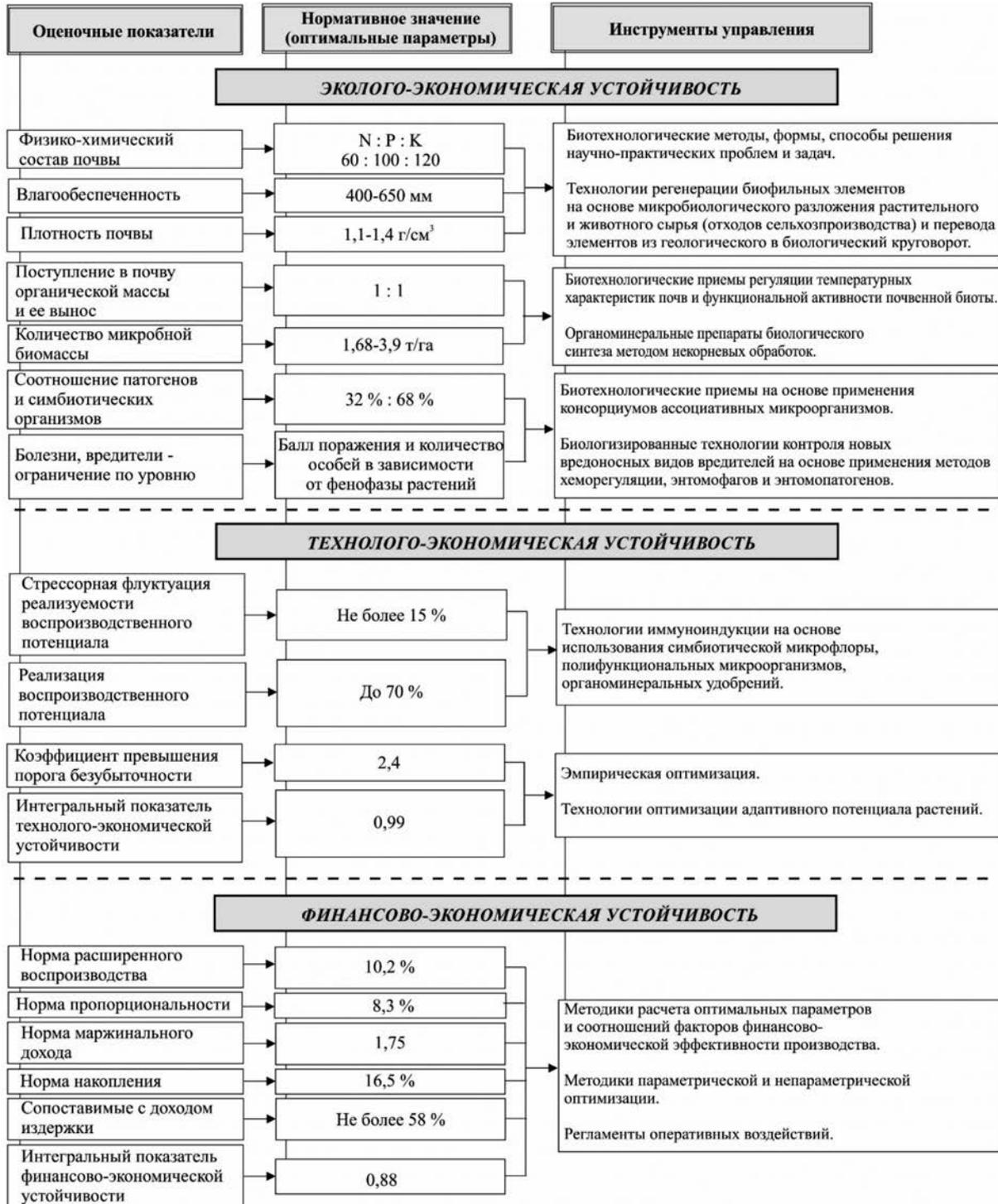


Рис. 3. Нормативно-параметрическая модель устойчивости воспроизводственных процессов.

ногенных воздействий на его элементы приоритет у биологизации, то есть наиболее полного вовлечения в воспроизводственные процессы естественных биологических ресурсов и повышения биологического потенциала самих растений посредством биотехнологий. [5]

Инструменты управления биотехнологическими процессами в элементах агроценоза: внедрение и широкое применение альтернативных химическим пестицидам современных биологических средств; применение биоагентов для сохранения и развития структур, механизмов саморегуляции; использование новых биологически активных препаратов для повышения эффективности в управлении экспрессивностью генотипа, расширения границ толерантности растений, их стрессоустойчивости; экологическое нормирование, повышение плодородия и биогенности почвы стимуляцией развития ризосферных микроорганизмов и возвратом в почву органической массы; биосинтез фунгистатичных соединений в растениях. [6]

Оптимизация параметров структурных элементов агроценоза на основе выбора варианта, соответствующего специфическим условиям и требованиям (критерии), из ряда эмпирически установленных параметров показателей, а также расчетное обоснование рациональных агротехнологических регламентов (нормирование) позволяет обеспечить устойчивость воспроизводственных процессов.

Важная роль в повышении устойчивости и эффективности воспроизводственных процессов в промышленном плодоводстве у цифровых технологий, которые основаны на автоматизации процессов оперативной выработки технологических регламентов с использованием многофункциональных баз данных, оптимизационного моделирования по критериям эффективности, биологизации и рациональности природопользования. [7, 8]

При корректировке агротехнологических регламентов для приведения показателей состояния агроэкосистемы к нормативному уровню устойчивости, существенно изменяются количественные и качественные показатели состояния воспроизводственных процессов – нормализуются физиолого-биохимические процессы, продуктивность соотносится с издержками, а эффективность производства ориентируется на оптимально возможную величину.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Егоров Е.А., Шадрина Ж.А., Кочьян Г.А. Экономические условия устойчивого развития промышленного садоводства юга России // Садоводство и виноградарство. 2012. № 1. С. 16–21.
2. Егоров Е.А., Шадрина Ж.А., Кочьян Г.А. Системная устойчивость производственно-технологических про-

цессов в промышленном плодоводстве // Наука Кубани. 2008. № 1. С. 39–42.

3. Егоров Е.А., Шадрина Ж.А., Кочьян Г.А. Методические подходы к биологизации интенсификационных процессов (на примере промышленного плодоводства) // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. № 71(5). С. 1–22. DOI: 10.30679/2219-5335-2021-5-71-1-22.
4. Егоров Е.А., Шадрина Ж.А., Кочьян Г.А., Путилина И.Н. Актуальные направления повышения эффективности промышленного плодоводства // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2018. Т. 5. № 1. С. 28–32.
5. Казаков А.Е., Борисов А.Ю., Чеботарь В.К. Биологизация АПК – путь к устойчивому развитию // Коммерческая биотехнология. 2004. URL: <http://cbio.ru/page/43/id/860/?ysclid=l5ql0gx28u447266360>. (дата обращения 01.04.2023).
6. Кошкин Е.И., Гусейнов Г.Г. Экологическая физиология сельскохозяйственных культур. М.: РГ-Пресс, 2020. 576 с.
7. Подгорная М.Е. Фитосанитарные проблемы сада и пути их решения // Защита и карантин растений. 2021. № 9. С. 3–8. DOI: 10.47528/1026-8634_2021_9_3.
8. Шумаев В.А. Теория и практика ресурсосбережения. М.: Русайнс, 2016. 234 с.

REFERENCES

1. Egorov E.A., Shadrina Zh.A., Koch'yan G.A. Ekonomicheskie usloviya ustojchivogo razvitiya promyshlennogo sadovodstva yuga Rossii // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2012. № 1. S. 16–21.
2. Egorov E.A., Shadrina Zh.A., Koch'yan G.A. Sistemnaya ustojchivost' proizvodstvenno-tekhnologicheskikh processov v promyshlennom plodovodstve // Nauka Kubani. 2008. № 1. S. 39–42.
3. Egorov E.A., Shadrina Zh.A., Koch'yan G.A. Metodicheskie podhody k biologizacii intensivnykh processov (na primere promyshlennogo plodovodstva) // Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii. 2021. № 71(5). S. 1–22. DOI: 10.30679/2219-5335-2021-5-71-1-22.
4. Egorov E.A., Shadrina Zh.A., Koch'yan G.A., Putilina I.N. Aktual'nye napravleniya povysheniya effektivnosti promyshlennogo plodovodstva // Selekcija i sortorazvedenie sadovykh kul'tur. 2018. T. 5. № 1. S. 28–32.
5. Kazakov A.E., Borisov A.Yu., Chebotar' V.K. Biologizaciya APK – put' k ustojchivomu razvitiyu // Kommercheskaya biotekhnologiya. 2004. URL: <http://cbio.ru/page/43/id/860/?ysclid=l5ql0gx28u447266360>. (data obrashcheniya 01.04.2023).
6. Koshkin E.I., Gusejnov G.G. Ekologicheskaya fiziologiya sel'skohozyajstvennykh kul'tur. M.: RG-Press, 2020. 576 s.
7. Podgornaya M.E. Fitosanitarnye problemy sada i puti ih resheniya // Zashchita i karantin rastenij. 2021. № 9. S. 3–8. DOI: 10.47528/1026-8634_2021_9_3.
8. Shumaev V.A. Teoriya i praktika resursosberezheniya. M.: Rusajns, 2016. 234 s.

*Поступила в редакцию 17.07.2023
Принята к публикации 31.07.2023*

РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ КАК ИНГИБИРУЮЩИЙ ФАКТОР ФУЗАРИОЗА НА КУЛЬТУРЕ ОВСА *IN VITRO* И *IN VIVO*

Сулухан Кудайбердиевна Темирбекова¹, доктор биологических наук, профессор

Оксана Борисовна Поливанова¹, кандидат биологических наук

Шолпан Оразовна Бастаубаева³, кандидат сельскохозяйственных наук

Елена Анатольевна Калашникова², доктор биологических наук

Марат Шагабанович Бегеулов², кандидат сельскохозяйственных наук

Николай Владимирович Меркурьев²

Роман Витальевич Сычев², кандидат сельскохозяйственных наук

Юлия Владимировна Афанасьева⁴, кандидат сельскохозяйственных наук

Наталья Эрнестовна Ионова⁵, кандидат биологических наук

Ирина Игоревна Сардарова¹

Дмитрий Алексеевич Захаров¹

¹ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Московская обл., Россия

²Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени Тимирязева, г. Москва, Россия

³Казахский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и растениеводства, с. Алмалыбак, Казахстан

⁴Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, г. Москва, Россия

⁵Институт фундаментальной медицины и биологии Казанского федерального университета, г. Казань, Россия

E-mail: sul20@yandex.ru

Аннотация. Систему антиоксидантной защиты растений, находящихся в состоянии стресса от воздействия патогенных микроорганизмов, могут стимулировать регуляторы роста. На рынке они представлены в большом количестве, но пока не было исследований по определению их эффективности. Изучили влияние российских регуляторов роста (Крезацин, Циркон) на антиоксидантную систему голозерного овса, искусственно зараженного *Fusarium culmorum*. Выявлено, что, по сравнению с контролем, растения, обработанные Крезацином, имели более высокое содержание низкомолекулярной фруктозы и неферментативных антиоксидантов (пролин, фенольные соединения, флавоноиды). При действии Циркона у растений содержание пролина, углеводов и общая антиоксидантная активность были меньше, чем в контроле. Комплексная обработка регуляторами роста и грибковой суспензией, проведенная в фазе цветения, оказала наилучшее влияние на биохимические показатели и продуктивность голозерного овса. Обработка растений патогеном привела к повышению продуктивности, а регуляторы роста увеличивали резистентность к инфекционному стрессу.

Ключевые слова: овес, регуляторы роста, биотический стресс, *in vitro*, *in vivo*, цветение, биохимические показатели, селекционные линии

PLANT GROWTH REGULATORS AS AN INHIBITORY FACTOR OF FUSARIUM ON OAT CULTURE *IN VITRO* AND *IN VIVO*

S.K. Temirbekova¹, *Grand PhD in Biological Sciences, Professor*

O.B. Polivanova¹, *PhD in Biological Sciences*

Sh.O. Bastaubaeva³, *PhD in Agricultural Sciences*

E.A. Kalashnikova², *Grand PhD in Biological Sciences*

M.Sh. Begeulov², *PhD in Agricultural Sciences*

N.V. Merkuriev²

R.V. Sychev², *PhD in Agricultural Sciences*

Yu.V. Afanasyeva⁴, *PhD in Agricultural Sciences*

N.E. Ionova⁵, *PhD in Biological Sciences*

I.I. Sardarova¹

D.A. Zaharov¹

¹Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow region, Russia

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

³Kazakh Scientific Research Institute of Agriculture and Plant Growing, Almalybak village, Kazakhstan

⁴Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

⁵Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan Federal University, Kazan, Russia

E-mail: sul20@yandex.ru

Abstract. The antioxidant defense system can be stimulated by growth regulators in plants when they are under stress, such as exposure to pathogens. There are a lot of natural growth regulators on the market, but no research has been carried out yet to determine how effective they are. This field and laboratory study examines the impact of two commonly used Russian growth regulators, Crezacin and Zircon, along with artificial infection with *Fusarium culmorum* on the antioxidant system of naked oat. The results show that, compared

to the control, Crezacin-treated plants had higher contents of low molecular weight fructose and nonenzymatic antioxidants like proline, phenolic compounds, and flavonoids. Zircon-treated plants had a lower content of proline, carbohydrates, and lower total antioxidant activity than the control plants. The obtained data show that Crezacin treatment mainly affected nonenzymatic systems of the antioxidant defense. This treatment was more successful than the Zircon application, which did not show any appreciable effectiveness and was typically associated with an improvement in oat productivity. The treatment with growth regulators and a fungal suspension performed at the flowering phase provided the best effect on the biochemical parameters and productivity of naked oats. Moreover, oat treatment with the pathogen promoted the reproductive capabilities of the plants, while growth regulators helped in avoiding infectious stress.

Keywords: oats, growth regulators, biotic stress, in vitro, in vivo, flowering, biochemical parameters, breeding lines

Генерация активных форм кислорода (АФК) связана с нормальным клеточным метаболизмом растений. К АФК относят пероксид водорода (H_2O_2), синглетный кислород (O_2) и свободные радикалы – супероксиданион и гидроксильный. [15] Однако химические особенности делают АФК потенциально вредными для клеточных компонентов. Их накопление может привести к инактивации белков, разрушению мембран и повреждению ДНК. Растения, как и другие аэробные организмы, используют эффективные механизмы удаления АФК, которые включают ферментные и неферментативные химические антиоксидантные системы. Ферменты, такие как супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза играют важную роль в поддержании окислительно-восстановительного баланса и защитной реакции у растений, подвергающихся абиотическим и биотическим стрессам. [25, 29, 36] Основные неферментативные растительные антиоксиданты – аскорбиновая кислота, токоферол, каротиноиды и многообразные фенольные соединения. [16]

Производство АФК – часть реакции растений на атаку патогенов. Активные формы кислорода укрепляют клетку хозяина за счет поперечного связывания гликопротеинов в мембране. [35]

В ответ на стресс и избыточное количество АФК увеличивается биосинтез фенольных соединений и других неферментативных антиоксидантов в организме растения. [24] Синтез специфических фенольных соединений может быть вызван контактом между патогеном и хозяином. Например, секреция синтезированной *de novo* т-коричной кислоты происходит при заражении корней ячменя фузариозом. [23] Антиоксидантные фенолы, присутствующие в зернах злаков, модулируют выработку микотоксинов у *F. graminearum*. Было обнаружено, что некоторые соединения увеличивают выработку токсинов, другие снижают ее с помощью структурно-зависимых сигналов. [32] Таким образом, фенольные соединения активно участвуют во взаимодействии между растениями и грибковыми патогенами в качестве сигнальных молекул. Хотя фенольные соединения чаще ассоциируются с реакцией растений на бактериальные инфекции и насекомых, они также обладают противогрибковой активностью. Коричная, бензойная, салициловая кислоты, тимол и дигидроксибензальдегид, взятые в концентрации 5 мМ, могут подавлять рост некоторых видов *Candida* и *C. neoformans* более чем на 90%. Клинические противогрибковые препараты были эффективны в меньших концентрациях. Однако лучший результат был получен при комбинации фенолов и противогрибковых средств. [33]

Под воздействием стресса растения также вырабатывают различные осмопротекторы, у высших

видов растений наблюдается агрегация пролина. Он участвует в стабилизации мембран и белков, удалении свободных радикалов и способен усиливать активность ферментов. [9, 11, 16]

Растворимые сахара играют ключевую роль в развитии и метаболизме растений, служат источником углерода для патогена в клетках растения-хозяина. [31] Согласно некоторым данным, сахароза индуцирует защитные механизмы в инфицированных растительных клетках. Гексоза увеличивает выработку пероксидазы и белков, непосредственно связанных с патогенезом, через сигнальный путь гексокиназы. Как соединения с более высоким осмотическим потенциалом, растворимые сахара ограничивают распространение инфекции в растении, изолируют здоровые клетки от инфицированных и защищают их от потери воды. [17]

Овес (*Avena sativa* L.) активно культивируется как зерновая и кормовая культура в мировом масштабе, особенно в Северной Европе. Он характеризуется высоким содержанием крахмала, белка, сбалансированным аминокислотным составом, содержит пищевые волокна, ненасыщенные жирные кислоты и фитонутриенты, что делает его полезным для поддержания здоровья человека. [26]

Овес крайне восприимчив к грибковым инфекциям, включая фузариозную гниль, которая поражает зерновые культуры в северных странах, приводит к значительным экономическим потерям, различным заболеваниям человека и животных. [3, 18] Чаще всего фузариозная гниль ассоциируется с такими патогенами, как *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* и *F. Poae*. Большинство исследований по заболеваниям зерновых культур, вызываемым фузариозом, проводили на ячмене и пшенице. Научный интерес к фузариозным заболеваниям овса возник из-за возросшего спроса на его высококачественное зерно. В связи с этим существует необходимость в безопасных и эффективных подходах в борьбе с распространением фузариозной гнили.

Регуляторы роста растений – важные компоненты сельскохозяйственной промышленности, так как обладают большим потенциалом для повышения продуктивности растений. Поскольку они не видоспецифичные, их можно использовать на различных культурах. [34] Многие регуляторы роста получены из природных источников (экстракт ламинарии, гуминовые вещества, белковые гидролизаты), что делает их безвредными для окружающей среды. Коммерческий регулятор роста Циркон представляет собой смесь гидроксикоричных кислот. Он повышает всхожесть семян, ускоряет цветение, рост и развитие растений, обеспечивает повышение урожайности на 35...50%.

Tris (2-hydroxyethyl) ammonium 2-methylphenylacetate (Крезацин, Трекрезан) был синтезирован в 90-е годы XX века в Фаворском институте химии (Иркутск). Согласно заявлению производителя, его соединение – доступный, эффективный, малотоксичный и экологически чистый стимулятор роста, способный повысить продуктивность сельскохозяйственных растений. [1]

С точки зрения экологической безопасности природные регуляторы роста имеют преимущество по сравнению с синтетическими. [4, 8] Их использование может повышать урожайность культур, а также активировать механизмы устойчивости к болезням. Крезацин и Циркон присутствуют в достаточном количестве на российском рынке, но доказательств их эффективности недостаточно.

Цель работы – изучение влияния регуляторов роста (Крезацин, Циркон) при искусственном заражении *F. culmorum* на системы антиоксидантной защиты и биохимические показатели голозерного и пленчатого овса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в 2019–2020 годах на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии. Объект изучения – сорта овса *Буланый* и *Улов* (ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., Россия) и линия овса голозерного № 7 (ФГБНУ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Московская обл., Россия). Тринадцать линий, полученных из коллекционных образцов голозерного овса, включая k-14987 Laurell, k-11594, k-15084 Lemont (США), k-14530 OA504-6 и k14919 ACGWEN (Канада), были выделены и улучшены благодаря исследованию, проведенному в 2008–2016 годах. [6] Полевые испытания в 2017–2019 годах в Казахстане (Казахский институт сельского хозяйства и растениеводства, КАЗиЗР) и России (ФГБНУ ВНИИ Фитопатологии, Московская обл.) показали наилучшие результаты для линий № 1, 4, 7 и 10. Они были выделены из североамериканской группы *Avena sativa* subsp. *nudisativa*, в которую входили разновидности *inermis* и *chinensis*: № 1 (*chinensis*) Vacha 1 тестируется доктором Ион Тонча (Институт растениеводства, Бухарест, Румыния) с 2016 года; № 4 и 7 (*inermis*) проходят испытания в ФГБНУ ВНИИФ и Федеральном научном селекционно-технологическом центре садоводства и питомниководства (Московская обл.). Образцы из Канады включали изолированные линии 10 и 13, *inermis* (испытания в полевых условиях продолжаются).

Почвы – плотные суглинистые дерново-подзолистые с хорошо выраженным подзолистым горизонтом, подстилающая порода – крупный суглинок. Содержание гумуса (по Тюрину) – 2,5...3,2%, подвижного P_2O_5 и обменного K_2O (по Кирсанову и Маслову) – 12...18 и 15...23 мг /100 г почвы соответственно, pH_{сол.} – 5,6...7,0. Климат – умеренно влажный и умеренно континентальный, со среднегодовым количеством осадков 450...800 мм. Гидротермический коэффициент – 1,1...1,3. Все полевые эксперименты проводили в трех повторностях. Обработка земель соответствовала принятой в регионе. Уровень вну-

тренней контаминации зерна овса *Fusarium culmorum* определяли в соответствии с Boulay et al. [12]

Общее количество осадков за вегетационный период 2019 года составило 212 мм (среднее многолетнее стандартное значение – 264 мм), средняя температура – 17,0°C (среднегодовая – 15,1°C), 2020 – 343 мм и 20,7°C соответственно.

Растения искусственно заражали штаммом *Fusarium culmorum* (W.G.Sm) Sacc. M-2-3, выделение и идентификация которого были проведены в 2005 году (Московская обл.) в микологической лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии. Чистую культуру возбудителя длительное время хранили при температуре 4°C. Для восстановления функциональной активности гриба культивировали на пяти вариантах питательных сред: картофельный агар, среда Чапека и других. Чистую культуру патогена воспроизводили с использованием агаровой среды Мурасиге и Скуга, не содержащей гормонов. Пересев культуры осуществляли после пяти-семидневной инкубации в стерильных условиях. Гриб был идентифицирован ключом, предложенным В.И. Билаем. [12] Микроскопическое исследование гриба проводили при увеличении в 400...600 раз методом «измельченной капли».

Обрабатывали растения грибковой суспензией и регуляторами роста в фазах колошения, раннего и полного цветения в сухую и безветренную погоду. Концентрации Крезацина и Циркона – 30 и 10 мг/л соответственно, согласно рекомендациям производителя. Контроль – необработанные растения. Эффект обработки оценивали по массе 1000 зерен и урожайности (г/м²). Также была произведена визуальная оценка зерна на инфицированность грибами рода *Fusarium spp.* ПЦР-диагностику не применяли.

Растения, выращенные в полевых условиях, обрабатывали трижды, размер участка для каждой повторности – 2 м². Посевы разделяли на полосы и обрабатывали суспензией возбудителя, а также Крезацином и Цирконом в соответствии со схемой, представленной в результатах исследований.

Зерно собирали комбайном Sampo-130. Эксперименты проводили в трех биологических и пяти аналитических повторностях.

Для оценки биохимических параметров трех образцов (контрольный и обработанные грибковой суспензией или регуляторами роста на стадии полного цветения) семена растений проращивали в чашках Петри на протяжении семи дней.

Растительный материал лиофильно высушивали (80°C) 24 часа, затем измельчали в ступке и экстрагировали 80% спиртом при соотношении с экстрагентом – 1:100. Вытяжки лиофильно высушивали и использовали для анализа, экстрагируя биологически активные вещества (БАВ) из лиофилизата подходящим растворителем.

Содержание свободного пролина определяли с применением кислого нингидринового реактива (1,25 г нингидрата + 30 мл ледяной уксусной кислоты + 20 мл 6 М H_3PO_4). [11] Навеску 200 мг заливали 5 мл дистиллированной воды и выдерживали в течение 10 мин. на водяной бане при температуре 100°C. Затем в чистую пробирку заливали 2 мл ледяной уксусной кислоты, 2 мл нингидринового

реактива и добавляли 2 мл приготовленного экстракта. Пробы инкубировали в течение 20 мин. на водяной бане при температуре 100°C, быстро охлаждали (холодная вода или лед) до комнатной температуры и измеряли оптическую плотность продуктов реакции при длине волны 520 нм на спектрофотометре. Контроль – 2 мл дистиллированной воды, 2 мл ледяной уксусной кислоты и 2 мл нингидринового реактива при тех же условиях. Значения содержания пролина рассчитывали с помощью калибровочной кривой (Sigma-Aldrich, Сент-Луис, Миссури, США).

Чтобы установить количество низкомолекулярной фруктозы к 99,5 мкл экстракта образца добавляли 0,5 мкл 25%-го NaOH и после 10-минутной инкубации центрифугировали при 3000 об/мин. в течение 3 мин. Супернатант (50 мкл) смешивали с 1 мл реагента резорцина (2 мг/мл резорцина, 96%-й этанол и концентрированная HCl, соотношение – 1:1), инкубировали на водяной бане при 80°C в течение 30 мин. и добавляли воду до объема по 10 мл. Оптическую плотность раствора измеряли при 480 нм.

Для определения содержания фенольных соединений 200 мкл реактива Фолина-Чокалтеу (10%) перемешивали со 100 мкл пробы. Затем добавляли 800 мкл 700-миллиметрового раствора Na₂CO₃ и инкубировали 2 ч при комнатной температуре. Измеряли оптическую плотность (765 нм). Калибровочная кривая (зависимость поглощения от концентрации) построена с использованием стандартных растворов галловой кислоты. [10]

Общее количество флавоноидов устанавливали с помощью реакции комплексообразования с хлоридом алюминия. Образец экстракта (0,1 мл) доводили до 1 мл этанолом (96%), добавляли 0,5 мл этанольного раствора хлорида алюминия (1,2%) и 0,5 мл 120 мм водного раствора ацетата калия. После инкубации (30 мин.) спектрофотометрически измеряли оптическую плотность смеси при 425 нм. Чистый раствор содержал 100 мкл этанола (80%) + 900 мкл этанола (96%) + 0,5 мл этанольного раствора хлорида алюминия (1,2%) + 0,5 мл 120 мм водного раствора ацетата калия. [19]

Антиоксидантную активность образцов экстрактов определяли в соответствии с Oyaizu. [30] Различные концентрации экстрактов (200...1200 ppm) растворяли в 1 мл дистиллированной воды, добавляли 2,5 мл фосфатного буфера (0,2 М, pH – 6,6) и 2,5 мл 1% K₃[Fe(CN)₆]. Смесь инкубировали на водяной бане 20 мин. при температуре 50°C, добавляли 2,5 мл 10% трихлоруксусной кислоты и центрифугировали 10 мин. при 3000 об. Верхний слой центрифугата (2,5 мл) смешивали с 2,5 мл воды и 0,5 мл 0,1% хлорида железа, оптическую плотность измеряли при 700 нм на спектрофотометре. Антиоксидантную активность различных концентраций 2,5 мг/мл аскорбиновой кислоты (200...1200 ppm) измеряли по той же методике и использовали для расчета суммы антиоксидантов в экстрактах.

Активность каталазы оценивали, применяя раствор: 1 мл 65 мКМоль H₂O₂ в 60 ммоль-Na-фосфатном буфере (субстрат). Экстракт (200 мкл) добавляли к раствору H₂O₂, после 60 с инкубации реакцию прекращали 1 мл 32,4 мм молибдата ам-

мония ((NH₄)₆ Mo₇O₂₄ × 4H₂O) и определяли оптическую плотность образца при 410 нм (образец А). Чтобы рассчитать активность фермента, следующие смеси измеряли при одинаковой длине волны: 1 мл субстрата + 1 мл молибдата аммония + 200 мкл ферментной вытяжки и получали значение адсорбции первой смеси (А1); 1 мл субстрата + 1 мл молибдата аммония + 200 мкл 60 mM K-Na-фосфатного буфера (А2); 1,2 мл 60 mM K-Na-фосфатного буфера + 1 мл молибдата аммония (А3).

Дополнительно измеряли содержание белка в ферментном препарате с помощью качественной реакции с красителем Coomassie Brilliant Blue G250. [22] Полученные значения переводили в нКат/г белка.

Для определения активности аскорбатпероксидазы оптическую плотность рабочего раствора (1,5 мл 50 мм K-Na-фосфатного буфера (pH – 7,0), 500 мкл 2,5 мм аскорбиновой кислоты, 500 мкл 1 мм H₂O₂ и 100 мкл 0,0 мм ЭДТА) измеряли по три раза каждые 10 с при 290 нм в течение 2...3 мин. после добавления образца экстракта (400 мкл). [29] Чистый раствор содержал 1,5 мл 50 мм K-Na-фосфатного буфера (pH – 7,0), 1 мл дистиллированной воды, 400 мкл экстракта образца и 300 мкл 0,5 мм ЭДТА. Содержание белка в пробоподготовке находили количественно с помощью качественной реакции с Coomassie Brilliant Blue G250. Активность пероксидазы оценивали по методике Попова и Нейковской. [5] Рабочий раствор включал 1 мл 0,2 М Na-ацетатного буфера (pH – 4,9), 500 мкл 4 мкм индигокармина и 500 мкл 0,03 м H₂O₂. После добавления образца экстракта (500 мкл) оптическую плотность при 610 нм измеряли 2 мин. каждые 15 с. Чистый раствор содержал равный объем дистиллированной воды вместо экстракта образца. Содержание белка в пробоподготовке определяли вышеописанным способом. Все измерения были проведены в трех повторениях.

Содержание белка/азота устанавливали методом Кьельдаля с некоторыми модификациями (коэффициент пересчета для белка – 5,7). Вес образца муки – 0,3 г. Анализ проводили на анализаторе Kjeltec 2200 (FOSS, Хиллероед, Дания), оснащенном автоматической дистилляционной установкой. Содержание масла определяли по массе сухого обезжиренного остатка в аппарате Сокслета с использованием петролейного эфира в качестве растворителя, крахмала – поляриметрическим методом по Эверсу (образец муки – 0,2 г). [2]

Данные выражены в виде среднего значения ± доверительного интервала для трех повторов, обработаны в Microsoft Excel и статистических программах. Достоверную разницу (p<0,05) определяли методом дисперсионного анализа (ANOVA).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка урожайности и массы 1000 зерен после искусственного заражения фузариозом и обработки регуляторами роста.

Фузариозные грибы – патогены зерновых культур, вызывающие множество заболеваний на всех стадиях развития растений. Самое распространенное – фузариозная гниль, при которой получают

щуплые семена и замедляется скорость появления всходов. Загрязнение пищевых продуктов и кормов фузариотоксинами может представлять серьезную опасность для здоровья человека и животных. [37]

Согласно рассчитанным данным наименее значимой разницы, несколько вариантов существенно отличались от контрольного (без обработки). В них были растения овса, обработанные в фазе цветения (Циркон + фузариоз и Крезацин + фузариоз), имевшие значительно большую массу 1000 зерен и урожайность обоих сортов.

Искусственное заражение растений не повлияло на урожайность сорта пленчатого *Буланный*, но нанесло значительный вред голозерному овсу (табл. 1).

Фузариозная гниль быстро распространялась в вариантах (контрольный, контроль + заражение), демонстрируя важность продолжения исследований и необходимость выбора наилучших стратегий предотвращения распространения инфекции. Циркон и Крезацин останавливали болезнь на 10...20% каждый, но в сочетании с *F. culmorum* их биологическая эффективность повышалась до 40...55% (45% – Циркон + *F. culmorum* и 30% – Крезацин + *F. culmorum*) (табл. 2).

Экспериментально показано, что обработка посевов овса пленчатого сорта *Буланный* и голозерного (линия № 7) препаратами Крезацин и Циркон способствует улучшению адаптации растений к действию стрессового фактора – патогена, что приводит к снижению инфицированности зерна и получению достаточного урожая для региона с хорошим качеством. Наиболее эффективна обработка растений в фазе цветения препаратом Крезацин, что подтверждается ранее полученными данными. [7]

Определение содержания пролина.

Накопление свободного пролина в листьях растений – проявление неспецифической реакции растений на стресс, вызванный абиотическими факторами (вода, температура, сильное засоление, загрязнение воздуха) и заражением грибковыми патогенами.

Результаты определения содержания свободного пролина в проростках овса, выращенных из семян, обработанных регуляторами роста, показаны на рисунке 1. Эксперименты проводили в трех биологических и пяти аналитических повторностях. Здесь и на других рисунках средние арифметические значения и их доверительные интервалы. В качестве контроля использовали необработанные незараженные растения.

Содержание пролина в проростках, выращенных из семян, обработанных Крезацином, увеличилось до 0,16 мкг/мг, Цирконом – 0,08, контроль – 0,11 мкг/мг. Имеются данные, свидетельствующие о повышении накопления свободных аминокислот в злаках, зараженных грибковыми патогенами, на 30...50% по сравнению с контролем. При действии биостимуляторов уровень пролина и других аминокислот также повышался, но в меньшей степени – на 3...33%. [20]

Определение содержания низкомолекулярной фруктозы.

Содержание низкомолекулярной фруктозы у проростков, выращенных из семян, обработанных Крезацином + фузариозом, было на 66,3% выше,

Таблица 1.

Масса 1000 зерен и общая урожайность сорта овса *Буланный* и линии голого овса №7 после искусственного заражения фузариозом с последующей обработкой растений исследуемыми препаратами, средние значения за 2019–2020 годы

Вариант опыта	Овес			
	<i>Буланный</i> , пленчатый		Линия № 7, голозерный	
	Масса 1000 зерен, г	Урожай, г/м ²	Масса 1000 зерен, г	Урожай, г/м ²
Контроль	40,7	350	21,1	110
Крезацин	42,1	450	20,7	135
Циркон	40,0	440	19,8	115
<i>Fusarium. spp.</i> (патоген)	38,9	350	17,3	85
	цветение			
Циркон + <i>Fusarium</i>	38,7	370	23,4	130
Крезацин + <i>Fusarium</i>	39,2	320	20,8	140
	колошение и цветение			
Циркон + <i>Fusarium</i>	37,0	300	21,5	100
Крезацин + <i>Fusarium</i>	38,0	280	21,9	120
	колошение			
Циркон + <i>Fusarium</i>	43,8	500	22,4	170
Крезацин + <i>Fusarium</i>	49,3	520	21,4	210
НСР ₀₅	0,8	20	0,4	11

Таблица 2.

Внутренняя зараженность зерна *F. culmorum* после уборки урожая (%), средняя за 2019–2020 годы

Вариант опыта	Овес	
	<i>Буланный</i> (пленчатый)	Линия № 7 (голозерный)
	заселенность зерна <i>F. culmorum</i>	
Контроль	88,0	95,0
Крезацин	65,0	77,0
Циркон	77,0	85,0
<i>F. Culmorum</i> (патоген)	90,0	97,0
	цветение	
Циркон + <i>Fusarium</i>	45,0	55,0
Крезацин + <i>Fusarium</i>	30,0	41,0
	колошение и цветение	
Циркон + <i>Fusarium</i>	63,0	79,0
Крезацин + <i>Fusarium</i>	51,0	69,0
	колошение	
Циркон + <i>Fusarium</i>	63,79	79,0
Крезацин + <i>Fusarium</i>	51,69	69,0

чем в контроле, Цирконом+ фузариозом – на 61,6% ниже (рис. 2).

Некоторые исследования показали, что сахара участвуют в инициации защитного ответа на абиотические и биотические факторы. [14] Сахара – источники энергии для внутриклеточных защитных реакций против патогенов и обеспечивают углеродную основу для синтеза вторичных метаболитов (флавоноиды, стильбены, лигнины). [21] Сахароза, глюкоза, фруктоза и трегалоза представляют собой метаболические сигнальные молекулы, индуцирующие экспрессию многих защитных генов в клетках растений-хозяев. [27] Высокое содержание сахаров в растительных тканях усиливает иммунный

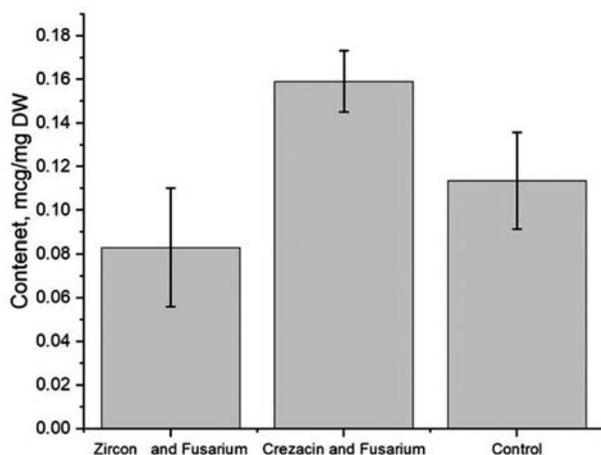


Рис. 1. Содержание пролина (мкг/мг сухого веса (DW)) в проростках овса, выращенных из семян, обработанных регуляторами роста и искусственно зараженных фузариозом.

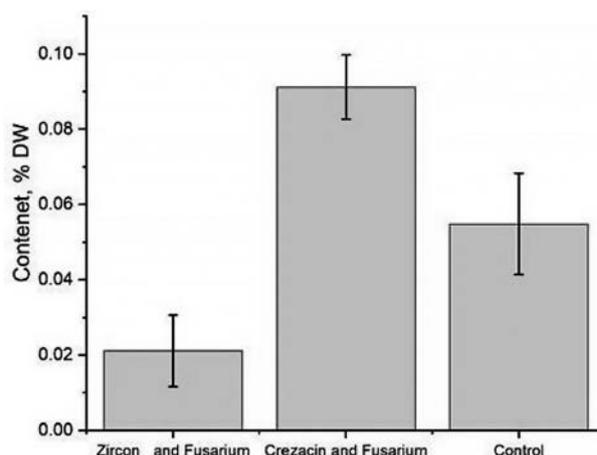


Рис. 2. Содержание низкомолекулярной фруктозы (% сухого веса (DW)) в растениях овса, выращенных из семян, обработанных регуляторами роста и искусственно зараженных фузариозом.

ответ растений на действие грибковых патогенов. Сахара функционируют как праймерные молекулы, участвующие в иммунитете, запускаемом ассоциированным с патогеном молекулярным паттерном (РАМР), и эффекторном иммунитете (ЕТИ) у растений. [13, 28]

Увеличение содержания сахара при искусственном заражении фузариозом в сочетании с обработкой растений Крезацином может указывать на стимулирующий эффект этого регулятора роста, включая усиление иммунного ответа, опосредованного сахаром.

Определение содержания фенольных соединений и флавоноидов.

Содержание фенольных соединений и флавоноидов в проростках овса, выращенных из семян, обработанных Крезацином и Цирконом и искусственно зараженных грибами *Fusarium*, показано на рисунке 3, 2-я стр. обл. Обработка Крезацином привела к увеличению содержания фенольных соединений и флавоноидов, по сравнению с контролем. Существенных различий между контрольными образцами и обработанными Цирконом, обнаружено не было.

Определение антиоксидантной активности.

Наименьшая антиоксидантная активность была проявлена при комбинированной обработке Цирконом и фузариозом. В этом случае среднее общее содержание антиоксидантов (в пересчете на аскорбиновую кислоту) снизилось на 50,6%, по сравнению с контролем. Независимо от концентрации биологически активных веществ форма кривой оставалась неизменной, что свидетельствовало о достоверности данных, усредненный коэффициент внутренней корреляции составил 0,99. Не наблюдали существенной разницы между контрольными растениями и обработанными Крезацином (рис. 4, 2-я стр. обл.).

Активность ферментов антиоксидантной защиты.

Взаимодействие между растением и патогеном усиливает активность САТ, АРС, АРЕХ и некоторых других растительных ферментов. Повышение активности каталазы наблюдали у проростков, получен-

ных из семян, обработанных Цирконом. Не было обнаружено существенной разницы между контрольными проростками и полученными из семян, обработанных Крезацином (рис. 5, 2-я стр. обл.).

Активность аскорбатпероксидазы в экспериментальных вариантах находилась почти на одном уровне. Снижение активности пероксидазы, по сравнению с контрольными значениями, наблюдали у проростков, полученных из семян, обработанных Крезацином.

Биохимический состав зерна.

Белки, полисахариды и липиды — основные компоненты, от которых зависят пищевая ценность и технологические свойства овсяного зерна. Поэтому было важно изучить биохимические особенности не только линии 7, задействованной в полевых исследованиях, но и других перспективных линий голозерного овса, выделенных из популяции американского и канадского происхождения. Чтобы оценить перспективы дальнейшего использования в селекции, их биохимические особенности были изучены вместе с лучшей линией № 7 и сравнены с пленчатым овсом (табл. 3). Мы доказали, что все линии характеризовались высоким содержанием белка (до 19,7%), минимальное (12,8%) наблюдали у пленчатого овса.

Все линии голозерного овса имели положительную корреляцию между содержанием белка и незаменимой аминокислоты лизина на 100 г зерна ($R = 0,85$; $T_{\text{факт.}} = 3,18$; $T_{\text{теорет.}} = 2,44$).

Углеводный комплекс обладает своими важными характеристиками. Из таблицы 3 видно, что максимальное содержание крахмала, белка и лизина для различных исследованных линий голозерного овса достигло: 57,5, 14,7 и 7,4% соответственно для линии № 1 (Bacha); 58,1, 16,5, 9,9% — № 4; 61,0, 16,9 и 6,5% — № 7; 63,5, 18,3 и 8,1% — № 10; и 64,0, 19,7 и 9,4% — № 13. У сорта пленчатого овса содержание вышеуказанных веществ составляло 51,3, 12,8 и 3,8% соответственно. Овес линии № 1 (Bacha), принадлежащей *Avena sativa var. chinensis*, превосходил пленчатый по этим биохимическим показателям.

Таблица 3.
Биохимический состав зерна овса

Линия, сорт	Содержание, %			
	белка	крахмала	лизина	жиров
1, Vacha	14,7	57,5	7,4	8,8
4	16,5	58,1	8,5	9,9
7	16,9	61,0	6,5	7,0
10	18,3	63,5	8,1	8,5
13	19,7	64,0	9,4	9,0
Сорт Улов (овес пленчатый)	12,8	51,3	3,8	4,5...5,2

Важная особенность, определяющая питательную ценность овса, – содержание липидов. Наиболее эффективный способ повышения калорийности зерна – выведение новых линий с повышенным их содержанием. Все линии голозерного овса характеризовались высоким содержанием липидов (7,0...9,9%), при среднем стандартном в овсе – 4,8%.

Голозерные формы овса имеют преимущество перед пленчатыми сортами по содержанию белка, масла и незаменимых аминокислот, а также у них выявлена высокая устойчивость к фузариозным грибам. Таким образом, эти формы могут служить селекционным резервом для повышения качества зерна у пленчатых сортов, выращиваемых в Центральной России.

Выводы. Продемонстрировано положительное действие регуляторов роста Крезацина и Циркона в сочетании с искусственным заражением *F. culmorum* на системы антиоксидантной защиты овса, рост мицелия грибов рода *Fusarium* в условиях *in vitro*. Эффект усиливался при совместном культивировании патогена и растения.

Впервые выявили, что общее содержание антиоксидантов в проростках и растениях, культивируемых в стрессовых условиях *in vitro* и *in vivo* и обработанных как Крезацином, так и Цирконом, увеличивается в ответ на биотический (инфекционный) стресс. Наиболее эффективным периодом обработки была фаза цветения.

Влияние регуляторов роста растений на подавление фузариоза при определенных условиях культивирования *in vivo* и *in vitro* может быть использовано для профилактической обработки посевов овса от инфекции с одновременным снижением фунгицидной нагрузки на окружающую среду.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Боронков М.Г., Горбалински В.А., Дьяков В.М. Крезацин – новый биостимулятор микробиологического синтеза. Докл. Акад. Наук. 1999. № 369. С. 831–832.
2. ГОСТ 29033-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения содержания жира. Издательство стандартов ИПС: Москва, Россия, 1992.
3. Кононенко Г.П., Малиновская Л.С., Пирязева Е.А. и др. Рекомендации по микотоксикологической борьбе с фузариозом фуражного зерна // Ветеринарный консультант. 2005. № 23. С. 3–10.
4. Осокина Н.В., Калашникова Е.А., Князев А.Н., Корсунская Н.П. Влияние условий культивирования на особенности развития грибов рода *Fusarium Triticale* *in vitro* // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 26–35.

5. Попов Т., Нейковская Л. Способ определения активности пероксидазы крови. Нуг // Санитария. 1971. № 10. С. 89–91.
6. Сардарова И.И., Калашникова Е.А., Темирбекова С.К. и др. Влияние регуляторов роста на фитопатогенные грибы рода *Fusarium* L. // Аграрная наука. 2019. № 2. С. 107–109.
7. Темирбекова С.К., Калашникова Е.А., Сардарова И.И. и др. Влияние регуляторов роста на развитие грибов рода *Fusarium* spp. в органическом (экологическом) сельском хозяйстве // Аграрная Наука. 2019. № 1. С. 123–126.
8. Темирбекова С.К., Молчан Дж.М., Ван Мансвелт Дж.Д. и др. Органическое сельское хозяйство: адаптивность, иммунитет, селекция растений: «Курс по сельскому хозяйству» Рудольфа Штайнера – к 80-летию. Москва-Астана: Астана, Казахстан, 2005. 149 с.
9. Aggarwal M., Sharma S., Kaur N. et al. Exogenous proline application reduces phytotoxic effects of selenium by minimizing oxidative stress and improves growth in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. Biol. Trace Elem. Res. 2011. V. 140. PP. 354–367.
10. Ainsworth E.A., Gillespie K.M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent // Nat. Protoc. 2007. V. 2. PP. 875–877.
11. Ben Ahmed C., Ben Rouina B., Sensoy S. et al. Exogenous proline effects on photosynthetic performance and antioxidant defense system of young olive tree // J. Agric. Food Chem. 2010. V. 58. PP. 4216–4222.
12. Bilay V.I., Kurbatskaya Z.A. Determinant of Toxin-Forming Micromycetes. Naukova Dumka. Kyiv, Ukraine, 1990. 236 p.
13. Bolouri Moghaddam, M.R., Van den Ende W. Sugars and plant innate immunity // J. Exp. Bot. 2012. V. 63. PP. 3989–3998.
14. Chen L.-Q., Hou B.-H., Lalonde, S. et al. Sugar transporters for intercellular exchange and nutrition of pathogens // Nature 2010. V. 468. PP. 527–532.
15. Das K., Roychoudhury A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants // Front. Environ. Sci. 2014. V. 2. 53 p.
16. Dumanović J., Nepovimova E., Natić M. et al. The Significance of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense System in Plants: A Concise Overview. Front. Plant Sci. 2021, 11, 552969.
17. Eveland A., Jackson D.P. Sugars, signalling and plant development // J. Exp. Bot. 2012. V. 63. PP. 3367–3377.
18. Havrlentová M., Šliková S., Gregusová V. et al. The Influence of Artificial Fusarium Infection on Oat Grain Quality // Microorganisms. 2021. 9. 2108.
19. Horszward A., Andlauer W. Characterisation of bioactive compounds in berry juices by traditional photometric and modern microplate methods // J. Berry Res. 2011. V. 1. PP. 189–199.
20. Iwaniuk P., Lozowicka B., Kaczynski P., Konecki R. Multifactorial wheat response under *Fusarium culmorum*, herbicidal, fungicidal and biostimulator treatments on the biochemical and mycotoxins status of wheat // J. Saudi Soc. Agric. Sci. 2021. V. 20. PP. 443–453.
21. Jeandet P., Vannozzi A., Sobarzo-Sanchez E. et al. Phyto-stilbenes as agrochemicals: Biosynthesis, bioactivity, metabolic engineering and biotechnology // Nat. Prod. Rep. 2021. V. 28. PP. 1282–1329.

22. Kruger N.J. The Bradford method for protein quantitation. In *The Protein Protocols Handbook*. Humana Press: Totowa, NJ, USA, 2009. PP. 17–24.
23. Lanoue A., Burlat V., Henkes G.J. et al. De novo biosynthesis of defense root exudates in response to *Fusarium* attack in barley. *New Phytol.* 2010. V. 185. PP. 577–588.
24. Lehmann S., Serrano M., L'Haridon F. et al. Reactive oxygen species and plant resistance to fungal pathogens // *Phytochemistry*. 2015. V. 112. PP. 54–62.
25. Madadkhah E., Lotfi M., Nabipour A. et al. Enzymatic activities in roots of melon genotypes infected with *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1. *Sci. Hortic.* 2012. V. 135. PP. 171–176.
26. Marshall A., Cowan S., Edwards S. et al. Crops That Feed the World 9. Oats—A Cereal Crop for Human and Livestock Feed with Industrial Applications // *Food Secur.* 2013. V. 5. PP. 13–33.
27. Morkunas I., Naroz'na D., Nowak W. et al. Cross-talk interactions of sucrose and *Fusarium oxysporum* in the phenylpropanoid pathway and the accumulation and localization of flavonoids in embryo axes of yellow lupine // *J. Plant Physiol.* 2011. V. 168. PP. 424–433.
28. Morkunas I., Ratajczak L. The role of sugar signaling in plant defense responses against fungal pathogens // *Acta Physiol. Plant.* 2014. V. 36. PP. 1607–1619.
29. Nakano Y., Asada K. Hydrogen Peroxide Is Scavenged by Ascorbate specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts // *Plant Cell Physiol.* 1981. V. 22. PP. 867–880.
30. Oyaizu M. Studies on Products of Browning Reactions: Antioxidative Activities of Product of Browning Reaction Prepared from Glucosamine // *Jpn. J. Nutr.* 1986. V. 44. PP. 307–315.
31. Pocięcha E., Płaz'ek A., Janowiak F. et al. Factors contributing to enhanced pink snowmould resistance of winter rye (*Secale cereale* L.) – Pivotal role of crowns // *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 2013. V. 81. PP. 54–63.
32. Ponts N., Pinson-Gadais L., Boutigny A.L. et al. Cinnamic-derived acids significantly affect *Fusarium graminearum* growth and in vitro synthesis of type B trichothecenes // *Phytopathology*. 2011. V. 101. PP. 929–934.
33. Shalaby S., Horwitz B.A. Plant phenolic compounds and oxidative stress: Integrated signals in fungal–plant interactions. *Curr. Genet.* 2014. V. 61. PP. 347–357.
34. Steenackers W., El Houari I., Baekelandt A. et al. Cis-Cinnamic acid is a natural plant growth-promoting compound // *J. Exp. Bot.* 2019. V. 70. PP. 6293–6304.
35. Torres M.A., Jones J.D., Dangi J.L. Reactive oxygen species signaling in response to pathogens // *Plant Physiol.* 2006. V. 141. PP. 373–378.
36. Wang W., Xia M.X., Chen J. et al. Gene expression characteristics and regulation mechanisms of superoxide dismutase and its physiological roles in plants under stress // *Biochemistry*. 2016. V. 81. PP. 465–480.
37. Yli-Mattila T. Ecology and evolution of toxigenic *Fusarium* species in cereals in northern Europe and Asia // *J. Plant Pathol.* 2010. V. 92. PP. 7–18.
38. ozom furazhnogo zerna // *Veterinarnyj konsul'tant*. 2005. № 23. S. 3–10.
4. Osokina N.V., Kalashnikova E.A., Knyazev A.N., Korsunskaya N.P. Vliyanie uslovij kul'tivirovaniya na osobennosti razvitiya gribov roda *Fusarium Triticale* in vitro // *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skhozozhaystvennoj akademii*. 2015. № 4. S. 26–35.
5. Popov T., Nejkovskaya L. Sposob opredeleniya aktivnosti peroksidazy krovi. *Hyg // Sanitariya*. 1971. № 10. S. 89–91.
6. Sardarova I.I., Kalashnikova E.A., Temirbekova S.K. i dr. Vliyanie regulatorov rosta na fitopatogennye griby roda *Fusarium* L. // *Agrarnaya nauka*. 2019. № 2. S. 107–109.
7. Temirbekova S.K., Kalashnikova E.A., Sardarova I.I. i dr. Vliyanie regulatorov rosta na razvitie gribov roda *Fusarium* spp. v organicheskom (ekologicheskom) sel'skom hozyajstve // *Agrarnaya Nauka*. 2019. № 1. S. 123–126.
8. Temirbekova S.K., Molchan Dzh.M., Van Mansvel't Dzh.D. i dr. Organicheskoe sel'skoe hozyajstvo: adaptivnost', immunitet, selekciya rastenij: "Kurs po sel'skomu hozyajstvu" Rudol'fa Shtajnera – k 80-letiyu. Moskva-Astana: Astana, Kazahstan, 2005. 149 s.
9. Aggarwal M., Sharma S., Kaur N. et al. Exogenous proline application reduces phytotoxic effects of selenium by minimizing oxidative stress and improves growth in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Biol. Trace Elem. Res.* 2011. V. 140. PP. 354–367.
10. Ainsworth E.A., Gillespie K.M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent // *Nat. Protoc.* 2007. V. 2. PP. 875–877.
11. Ben Ahmed C., Ben Rouina B., Sensoy S. et al. Exogenous proline effects on photosynthetic performance and antioxidant defense system of young olive tree // *J. Agric. Food Chem.* 2010. V. 58. PP. 4216–4222.
12. Bilay V.I., Kurbatskaya Z.A. Determinant of Toxin-Forming Micromycetes. *Naukova Dumka*. Kyiv, Ukraine, 1990. 236 p.
13. Bolouri Moghaddam, M.R., Van den Ende W. Sugars and plant innate immunity // *J. Exp. Bot.* 2012. V. 63. PP. 3989–3998.
14. Chen L.-Q., Hou B.-H., Lalonde, S. et al. Sugar transporters for intercellular exchange and nutrition of pathogens // *Nature* 2010. V. 468. PP. 527–532.
15. Das K., Roychoudhury A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants // *Front. Environ. Sci.* 2014. V. 2. 53 p.
16. Dumanović J., Nepovimova E., Natić M. et al. The Significance of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense System in Plants: A Concise Overview. *Front. Plant Sci.* 2021, 11, 552969.
17. Eveland A., Jackson D.P. Sugars, signalling and plant development // *J. Exp. Bot.* 2012. V. 63. PP. 3367–3377.
18. Havrlentová M., Šlíková S., Gregusová V. et al. The Influence of Artificial *Fusarium* Infection on Oat Grain Quality // *Microorganisms*. 2021. 9. 2108.
19. Horszwald A., Andlauer W. Characterisation of bioactive compounds in berry juices by traditional photometric and modern microplate methods // *J. Berry Res.* 2011. V. 1. PP. 189–199.
20. Iwaniuk P., Lozowicka B., Kaczynski P., Konecki R. Multifactorial wheat response under *Fusarium culmorum*, herbicidal, fungicidal and biostimulator treatments on the biochemical and mycotoxins status of wheat // *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 2021. V. 20. PP. 443–453.
21. Jeandet P., Vannozzi A., Sobarzo-Sanchez E. et al. Phyto-stilbenes as agrochemicals: Biosynthesis, bioactivity, metabolic engineering and biotechnology // *Nat. Prod. Rep.* 2021. V. 28. PP. 1282–1329.

REFERENCES

1. Boronkov M.G., Gorbalsinski V.A., D'yakov V.M. Krezacin – novyj biostimulyator mikrobiologicheskogo sinteza. *Dokl. Akad. Nauk.* 1999. № 369. S. 831–832.
2. GOST 29033-91. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya sodержaniya zhira. Izdatel'stvo standartov IPC: Moskva, Rossiya, 1992.
3. Kononenko G.P., Malinovskaya L.S., Piryazeva E.A. i dr. Rekomendacii po mikotoksikologicheskoy bor'be s fuzari-

22. Kruger N.J. The Bradford method for protein quantitation. In *The Protein Protocols Handbook*. Humana Press: Totowa, NJ, USA, 2009. PP. 17–24.
23. Lanoue A., Burlat V., Henkes G.J. et al. De novo biosynthesis of defense root exudates in response to *Fusarium* attack in barley. *New Phytol.* 2010, V. 185. PP. 577–588.
24. Lehmann S., Serrano M., L'Haridon F. et al. Reactive oxygen species and plant resistance to fungal pathogens // *Phytochemistry*. 2015. V. 112. PP. 54–62.
25. Madadkhah E., Lotfi M., Nabipour A. et al. Enzymatic activities in roots of melon genotypes infected with *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1. *Sci. Hortic.* 2012. V. 135. PP. 171–176.
26. Marshall A., Cowan S., Edwards S. et al. Crops That Feed the World 9. Oats—A Cereal Crop for Human and Livestock Feed with Industrial Applications // *Food Secur.* 2013. V. 5. PP. 13–33.
27. Morkunas I., Naroz'na D., Nowak W. et al. Cross-talk interactions of sucrose and *Fusarium oxysporum* in the phenylpropanoid pathway and the accumulation and localization of flavonoids in embryo axes of yellow lupine // *J. Plant Physiol.* 2011. V. 168. PP. 424–433.
28. Morkunas I., Ratajczak L. The role of sugar signaling in plant defense responses against fungal pathogens // *Acta Physiol. Plant.* 2014. V. 36. PP. 1607–1619.
29. Nakano Y., Asada K. Hydrogen Peroxide Is Scavenged by Ascorbate specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts // *Plant Cell Physiol.* 1981. V. 22. PP. 867–880.
30. Oyaizu M. Studies on Products of Browning Reactions: Antioxidative Activities of Product of Browning Reaction Prepared from Glucosamine // *Jpn. J. Nutr.* 1986. V. 44. PP. 307–315.
31. Pocięcha E., Płaz'ek A., Janowiak F. et al. Factors contributing to enhanced pink snow mould resistance of winter rye (*Secale cereale* L.) – Pivotal role of crowns // *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 2013. V. 81. PP. 54–63.
32. Pons N., Pinson-Gadais L., Boutigny A.L. et al. Cinnamic-derived acids significantly affect *Fusarium graminearum* growth and in vitro synthesis of type B trichothecenes // *Phytopathology*. 2011. V. 101. PP. 929–934.
33. Shalaby S., Horwitz B.A. Plant phenolic compounds and oxidative stress: Integrated signals in fungal–plant interactions. *Curr. Genet.* 2014. V. 61. PP. 347–357.
34. Steenackers W., El Houari I., Baekelandt A. et al. Cis-Cinnamic acid is a natural plant growth-promoting compound // *J. Exp. Bot.* 2019. V. 70. PP. 6293–6304.
35. Torres M.A., Jones J.D., Dangl J.L. Reactive oxygen species signaling in response to pathogens // *Plant Physiol.* 2006. V. 141. PP. 373–378.
36. Wang W., Xia M.X., Chen J. et al. Gene expression characteristics and regulation mechanisms of superoxide dismutase and its physiological roles in plants under stress // *Biochemistry*. 2016. V. 81. PP. 465–480.
37. Yli-Mattila T. Ecology and evolution of toxigenic *Fusarium* species in cereals in northern Europe and Asia // *J. Plant Pathol.* 2010. V. 92. PP. 7–18.

Поступила в редакцию 14.11.2023

Принята к публикации 22.11.2023

УРОВЕНЬ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ ТРИТИКАЛЕ И ЕЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СРЕДНЕМ ПРИАМУРЬЕ

Татьяна Александровна Асеева, член-корреспондент РАН

Кристина Владимировна Зенкина, кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБУН Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, с. Восточное, Хабаровский край, Россия
E-mail: aseeva59@mail.ru

Аннотация. Исследования проводили в 2020–2022 годах в Дальневосточном научно-исследовательском институте сельского хозяйства (Хабаровский край). Объект изучения – селекционные линии ярового тритикале. Агротематологические условия отличались по годам: 2020 – в пределах среднемноголетних значений, 2021 – высокие температуры приземного слоя воздуха и недостаток влаги, 2022 – избыточное переувлажнение. В результате выделены селекционные линии ярового тритикале по урожайности зерна (38,0–45,4 ц/га) – 102-20, 103-20, 104-20, 105-20, 106-20, 107-20, 109-20, 116-20, 178-20, 184-20, 185-20, 190-20, 196-20, 208-20, 212-20, 217-20, 218-20. В почвенно-климатических условиях Среднего Приамурья образцы 102-20, 103-20, 105-20, 116-20, 117-20, 118-20, 119-20, 122-20, 123-20, 134-20, 178-20, 257-20, 258-20 формировали стабильную продуктивность по годам ($V < 10\%$). Показатель продуктивной кустистости колебался от 1,6 до 3,4 растений по образцам. Отмечены селекционные линии ярового тритикале 125-20, 184-20 с максимальным количеством зерен в колосе (52–53 шт.). В среднем за годы исследований все образцы (кроме линии 105-20) превысили стандартный сорт Укро по массе зерна с колоса (1,58–2,27 г). Масса 1000 зерен у 73% образцов превысила стандартный сорт Укро на 0,4–9,8 г. Установлен высокий коэффициент корреляции между формированием урожайности и продуктивной кустистостью растений тритикале ($r = 0,89$). Количество и масса семян генотипов тритикале в регионе коррелируют в средней степени ($r = 0,63$). Количество зерна с главного колоса и его масса слабо взаимосвязаны с массой 1000 зерен ($r = -0,41$ и $r = 0,43$ соответственно).

Ключевые слова: яровое тритикале, селекционные линии, урожайность, структурные элементы, Среднее Приамурье

TRITICALE SELECTION LINES YIELD'S LEVEL AND ITS STRUCTURAL ELEMENTS IN THE MIDDLE AMUR RIVER REGION

T.A. Aseeva, Corresponding Member of the RAS

K.V. Zenkina, PhD in Agricultural Sciences

Federal State Budgetary Institution of Science Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences Far Eastern Agricultural Research Institute, Vostochnoye village, Khabarovsk Territory, Russia
E-mail: aseeva59@mail.ru

Abstract. The studies were carried out in 2020–2022 at the Far Eastern Research Institute of Agriculture (Khabarovsk Territory). The object of study is breeding lines of spring triticale. Agrometeorological conditions differed by years: 2020 – within the average multi-year values, 2021 – high temperatures of the surface air layer and lack of moisture, 2022 – excessive waterlogging. As a result of the research, breeding lines of spring triticale were identified according to grain yield (38.0–45.4 c/ha) – 102-20, 103-20, 104-20, 105-20, 106-20, 107-20, 109-20, 116-20, 178-20, 184-20, 185-20, 190-20, 196-20, 208-20, 212-20, 217-20, 218-20. In the soil and climatic conditions of the Middle Amur region, samples 102-20, 103-20, 105-20, 116-20, 117-20, 118-20, 119-20, 122-20, 123-20, 134-20, 178-20, 257-20, 258-20 formed a stable productivity over the years ($V < 10\%$). The indicator of productive tillering ranged from 1.6 to 3.4 plants according to the samples. Breeding lines of spring triticale 125-20, 184-20 with the maximum number of grains per ear (52–53 pieces) were marked. On average, over the years of research, all samples (except line 105-20) exceeded the standard variety Uкро in terms of grain weight per ear (1.58–2.27 g). In terms of the weight of 1000 grains, 73% of the samples exceeded the standard variety Uкро by 0.4–9.8 g. A high correlation coefficient was established between the formation of yield and the productive tillering of triticale plants ($r = 0.89$). The number and weight of seeds of triticale genotypes in the conditions of the region correlate to an average degree ($r = 0.63$). The amount of grain from the main ear and its weight are weakly correlated with the weight of 1000 grains ($r = -0.41$ and $r = 0.43$, respectively).

Keywords: spring triticale, breeding lines, productivity, structural elements, Middle Amur region

Совершенствование культивируемых сортов направлено в первую очередь на прогрессивное повышение урожайности сельскохозяйственных растений и минимизацию использования при их возделывании химических препаратов, гербицидов и пестицидов. [2] В современном мировом земледелии в решении вопроса стабилизации и наращивания производства зеленых кормов, фуражного и продовольственного зерна тритикале играет важную роль. [3] Тритикале как сравнительно молодая

культура, созданная человеком в результате объединения геномов представителей двух ботанических родов – пшеницы (*Triticum*) и ржи (*Secale*), требует дальнейшего улучшения. [9] Короткий период филогенеза не позволил тритикале сформировать наследственно закрепленный отклик на погодные изменения, способствующий адаптации к ним. [10]

Тритикале успешно возделывают в странах Европы (Польша, Германия, Беларусь, Франция), где производство зерна в 2016 году достигло 12,26 млн т,

урожайность – 5,0...7,0 т/га. [1] Посевные площади тритикале в Российской Федерации из-за слабо развитого животноводства, отсутствия рекламы и должной цены на мировом рынке за последние 10 лет сократились почти вдвое. [4] Вначале тритикале в основном выращивали для приготовления фуража или зеленой массы из-за легкого усвоения ее крахмала и использовали как кормовую культуру. Затем выяснили, что содержание белка и аминокислоты лизина у тритикале выше, чем у пшеницы, в связи с этим культура стала более востребованной и ее начали применять в приготовлении высококачественного хлеба и других хлебобулочных и кондитерских изделий. [7]

Генофонд возделываемых сортов ярового тритикале постоянно расширяется, а потребность в создании качественно нового исходного материала с высокой зерновой продуктивностью, приспособленного к местным агроклиматическим и почвенным условиям, возрастает. [5] Для зерновых культур, в том числе и для тритикале, основными элементами структуры урожая служат такие показатели, как длина колоса, количество зерен в колосе, масса зерна с колоса, масса 1000 зерен. [8]

Цель работы – определить уровень урожайности селекционных линий ярового тритикале и ее структурных элементов в агрометеорологических условиях Среднего Приамурья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Опыты проводили на полях Дальневосточного НИИСХ (Хабаровский край) в 2020–2022 годах. Объект исследований – селекционные линии ярового тритикале. Стандартный сорт – *Укро*. Почва – тяжелосуглинистая, содержание гумуса до 4%, гидrolитическая кислотность – 8...12 мг-экв./100 г почвы, $pH_{\text{сол.}} < 4,5$. Посев осуществляли сеялкой ССФК-7М. Норма высева – 5,5 млн всх. зер./га. Площадь делянок – 12 м². Убирали комбайном ХЕГЕ-125. Учеты и наблюдения проведены по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. [6] Полученные данные обрабатывали в программе Statistica.

Агрометеорологические условия в годы исследований были разнообразными (рис. 1, 4-я стр. обл.). В 2020 отмечали недостаток тепла и избыточное количество осадков в июне и августе, 2021 – высокие температуры приземного слоя воздуха и недостаток влаги, 2022 – засуха в июле, ливневые дожди в августе, количество выпавших осадков больше средне-многолетних значений в два раза.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе исследований выделены селекционные линии ярового тритикале 102-20, 103-20, 104-20, 105-20, 106-20, 107-20, 109-20, 116-20, 178-20, 184-20, 185-20, 190-20, 196-20, 208-20, 212-20, 217-20, 218-20 по урожайности зерна, существенно превышающие стандартный сорт *Укро* на 0,6...8,0 ц/га (см. таблицу). Установлено, что при благоприятных гидротермических условиях в период вегетации урожайность образцов 196-20, 212-20, 217-20, 218-20 была выше 50 ц/га, но при их ухудшении данный показатель снижался на 49...65%. Независимо от среды возделывания, селекционные линии 102-20, 103-20, 105-20, 116-20, 117-20, 118-20, 119-20, 122-20, 123-20, 134-20, 178-20, 257-20, 258-20 отличались наиболее стабильным формированием продуктивности ($V < 10\%$).

Основными структурными элементами урожайности складываются из продуктивной кустистости, количества и массы зерен в колосе и массы 1000 зерен. В среднем за годы исследований продуктивная кустистость селекционных линий тритикале колебалась от 1,6 до 3,4 шт. и 62% изученных образцов превысили стандартный сорт по количеству зерен в колосе (рис. 2, 4-я стр. обл.). Выделены линии 125-20, 184-20, которые сформировали максимальное количество зерен в колосе – 52...53 шт. В агрометеорологических условиях Среднего Приамурья все генотипы (кроме линии 105-20) по массе зерна с колоса превысили стандарт (1,54 г) на 0,04...0,73 г, крупность зерна у 73% образцов была выше *Укро* (39,6 г) на 0,4...9,8 г.

Рассчитаны коэффициенты корреляции и уравнения регрессии между урожайностью и ее основными структурными элементами (рис. 3). Установлено, что формирование высокой урожайности селекционных линий тритикале в почвенно-климатических условиях Среднего Приамурья в большей степени зависело от продуктивной кустистости растений ($r = 0,89$). Выявлено, что количество семян в колосе тритикале положительно взаимосвязано с его массой ($r = 0,63$). Количество зерна с главного колоса и его масса слабо коррелировали с массой 1000 зерен ($r = -0,41$ и $r = 0,43$ соответственно).

Урожайность селекционных линий тритикале, 2020–2022 годы

Сорт/линия	Урожайность, ц/га			Линия	Урожайность, ц/га		
	min	X	max		min	X	max
<i>Укро</i>	27,1	37,4	44,1	185-20	38,6	43,7	48,4
102-20	37,7	39,5	40,9	186-20	26,3	32,5	39,6
103-20	38,9	41,8	44,6	187-20	30,0	36,1	44,6
104-20	38,7	45,4	49,3	188-20	35,0	38,9	45,0
105-20	37,0	40,9	43,9	189-20	26,7	37,2	49,2
106-20	29,9	38,8	48,1	190-20	27,8	39,8	47,5
107-20	24,9	38,0	47,3	196-20	26,5	39,6	54,0
109-20	36,8	42,7	49,3	199-20	20,3	34,5	44,2
110-20	26,0	36,5	44,5	200-20	22,3	33,9	30,5
115-20	30,7	35,2	37,9	208-20	27,5	38,0	44,8
116-20	36,6	38,7	41,5	209-20	26,1	36,9	48,4
117-20	35,5	37,4	41,1	212-20	33,2	41,2	51,0
118-20	29,0	32,0	34,6	217-20	32,1	44,7	52,9
119-20	34,1	35,8	37,8	218-20	31,2	43,3	53,5
120-20	30,7	35,4	40,7	219-20	23,1	28,7	35,9
122-20	32,4	36,0	38,3	220-20	23,8	34,6	44,1
123-20	33,4	34,1	34,7	224-20	30,8	37,8	45,0
125-20	29,8	35,8	41,5	228-20	26,2	35,4	41,9
128-20	20,0	27,7	31,7	229-20	30,0	33,7	37,4
134-20	30,4	32,2	34,3	230-20	31,5	35,9	39,6
146-20	20,7	31,7	37,6	232-20	27,2	32,4	40,2
166-20	26,2	31,9	37,7	233-20	21,6	29,0	25,2
174-20	29,9	37,4	44,1	237-20	30,9	37,9	45,8
178-20	37,7	39,6	43,2	239-20	19,4	26,2	35,9
182-20	32,7	37,4	42,4	257-20	34,0	37,1	39,2
184-20	37,9	42,9	46,3	258-20	33,3	36,1	39,0

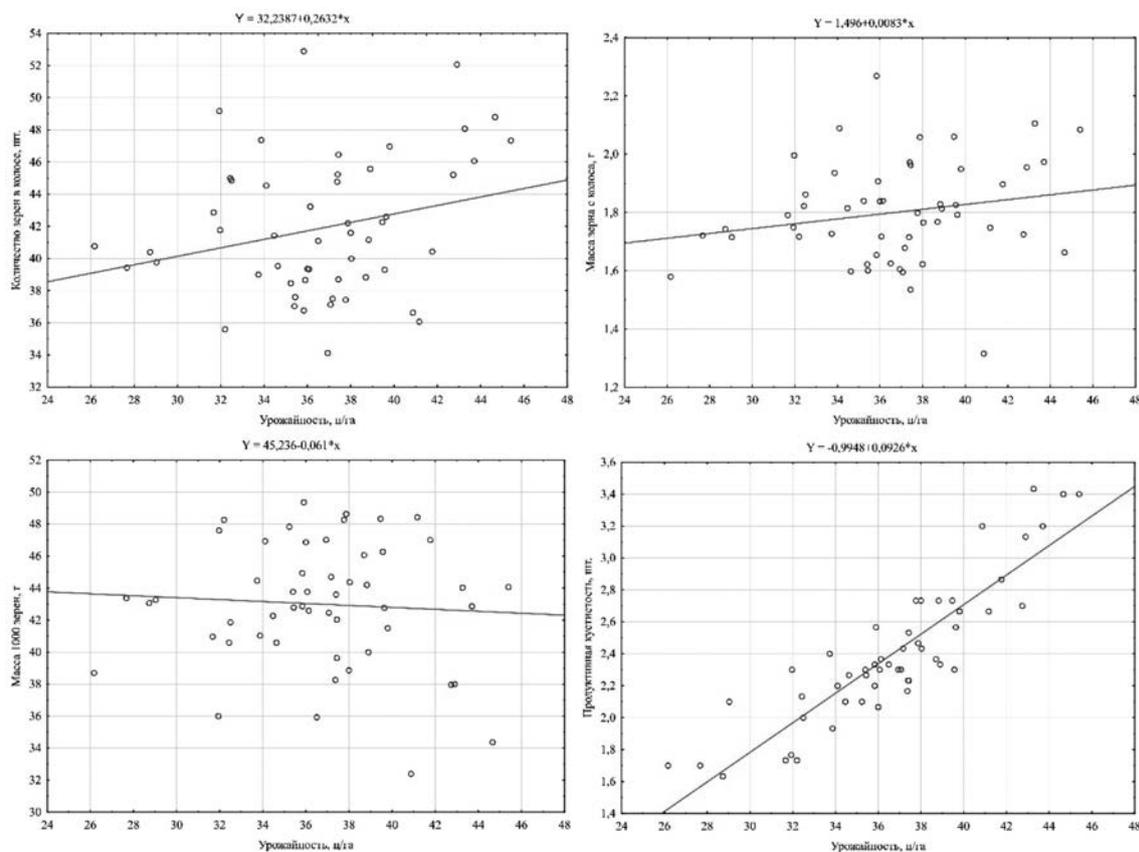


Рис. 3. Взаимосвязь урожайности и ее структурных элементов.

Таким образом, в почвенно-климатических условиях Среднего Приамурья выделены генотипы тритикале по основным хозяйственно ценным признакам продуктивности и установлена взаимосвязь между урожайностью селекционных линий и ее структурных элементов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Акимова О.И., Кадычегова В.И., Грудинин А.С. Яровая тритикале в степной зоне республики Хакасия // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филлипова. 2020. № 1. С. 6–12.
2. Гаджимагомедова М.Х. Анализ морфобиологических и продуктивных признаков тритикале различного происхождения // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 3. С. 40–43.
3. Ковтуненко В.Я., Беспалова Л.А., Панченко В.В. и др. Роль тритикале в повышении продуктивности кормопроизводства // Кормопроизводство. 2019. № 2. С. 14–17.
4. Крохмаль А.В., Грабовец А.И., Гординская Е.А. Особенности трансгессивной изменчивости и формообразования при селекции тритикале на продуктивность // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 4. С. 17–22.
5. Лапшин Ю.А., Новоселов С.И., Данилов А.В., Золоторева Р.И. Отзывчивость сортов ярового тритикале на внесение минеральных удобрений // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 5. С. 571–579.
6. Методика государственного сортоиспытания с.-х. культур. М., 1985. Вып. 2. 267 с.
7. Мефодьев Г.А., Александрова А.Н., Яковлева М.И. Корреляция количественных признаков у яровой три-

тикале // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 36–40.

8. Муратов А.А., Тихончук П.В., Туаева Е.В. Влияние густоты стояния растений на структуру урожая яровой тритикале // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 3. С. 60–66.
9. Пилипенко Ж.С., Углик Т.В., Полякова Е.Л., Гончарова В.А. Оценка коллекционных образцов ярового тритикале по хозяйственно ценным признакам // Земледелие и селекция в Беларуси. 2021. № 57. С. 275–281.
10. Скатова С.Е., Тысленко А.М., Зуев Д.В., Лачин А.Г. Сельцо – новый перспективный сорт ярового тритикале // Владимирский земледелец. 2022. № 4. С. 58–64.

REFERENCES

11. Akimova O.I., Kadychegova V.I., Grudinina A.S. Yarovaya tritikale v stepnoj zone respubliky Hakasiya // Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii im. V.R. Fillipova. 2020 (1): 6–12.
12. Gadzhimagomedova M.H. Analiz morfobiologicheskix i produktivnyx priznakov tritikale razlichnogo proiskhozhdeniya // Problemy razvitiya APK regiona. 2021 (3): 40–43.
13. Kovtunenkov V.Ya., Bepalova L.A., Panchenko V.V. i dr. Rol' tritikale v povyshenii produktivnosti kormoproizvodstva // Kormoproizvodstvo. 2019 (2): 14–17.
14. Krohmal' A.V., Grabovec A.I., Gordinskaya E.A. Osobennosti transgessivnoj izmenchivosti i formoobrazovaniya pri selekcii tritikale na produktivnost' // Rossijskaya sel'skoxozyajstvennaya nauka. 2021 (4): 17–22.
15. Lapshin Yu.A., Novoselov S.I., Danilov A.V., Zolotorova R.I. Otzyvchivost' sortov yarovogo tritikale na vnesenie mineral'nyh udobrenij // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2020; 21 (5): 571–579.

16. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya s.-h. kul'tur. M., 1985 (2). 267 p.
17. Mefod'ev G.A., Aleksandrova A.N., Yakovleva M.I. Korrelyatsiya kolichestvennykh priznakov u yarovoj tritikale // Vestnik Chuvashskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2020 (2): 36–40.
18. Muratov A.A., Tihonchuk P.V., Tuaeva E.V. Vliyanie gusoty stoyaniya rastenij na strukturu urozhaya yarovoj tritikale // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022 (3): 60–66.
19. Pilipenko Zh.S., Ugluk T.V., Polyakova E.L., Goncharova V.A. Ocenka kollekcionnykh obrazcov yarovogo tritikale po hozyajstvenno cennym priznakam // Zemledelie i selekciya v Belarusi. 2021 (57): 275–281.
20. Skatova S.E., Tyslenko A.M., Zuev D.V., Lachin A.G. Sel'co – novyj perspektivnyj sort yarovogo tritikale // Vladimirskej zemledelec. 2022 (4): 58–64.

Поступила в редакцию 17.07.2023
Принята к публикации 31.07.2023

УДК 633.111.1«321»:631.527

DOI: 10.31857/2500-2082/2023/6/21-26, EDN: XHFTSY

СКРИНИНГ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Татьяна Юрьевна Таранова, младший научный сотрудник

Елена Анатольевна Дёмина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
Александр Иванович Кинчаров, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,

Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П.Н. Константинова,
г. Кинель, Самарская обл., Россия
E-mail: elena_pniiss@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты изучения 300 образцов яровой мягкой пшеницы коллекционного питомника с различным эколого-географическим происхождением по выделению генетических источников с признаками скороспелости, короткостебельности, крупнозерности в условиях Среднего Поволжья. Исследования проводили в 2019–2021 годах в лесостепной зоне Самарской области. Вегетационные периоды были засушливыми: гидротермический коэффициент 2019 года составил 0,48, 2020 – 0,52, 2021 – 0,39, при среднемноголетнем значении – 0,73. Изучали исходный материал согласно методике государственного сортоиспытания и методическим рекомендациям ВИР. Выделены генетические источники скороспелости: Уральская кукушка, Челябинская ранняя (Челябинская обл.), Рифор 1, Рифор 6 (Ленинградская обл.), Odeta, Libertina (Чехия), Chi Mai 1 (Китай); короткостебельности: KWS Jetstream (Германия), Eleganza, Florens (Франция), Odeta, Libertina, Septima (Чехия), KWS Torridon (Великобритания), VZ-602 (Мексика), Iona (США), Boett (Швеция), Long Fu 13 (Китай); крупнозерности: Лютесценс 6074/6-23 (г. Кинель), Экада 214, Ульяновская 101, Бурлак (г. Ульяновск), Саратовская 70 (г. Саратов), Chi Mai 1 (Китай). Образцы Лютесценс 6074/6-23, Экада 214, Бурлак имели высокие значения массы 1000 зерен и урожайности в годы исследований. Наибольшая продуктивность зерна отмечена у образцов местной селекции, созданных за последние годы – Кинельская юбилейная, Кинельская заря, Кинельская звезда, Кинельская 2020, Кинельская волна, Лютесценс 6074/6-23, Эритроспермум 6517/24-1, беззучукской селекции – Тулайковская 108, Тулайковская 116, саратовской – Саратовская 73, Саратовская 74, Альбидум 33 и ульяновской – Бурлак, Ульяновская 100. Выделенные генетические источники ценных признаков рекомендуется использовать в качестве родительских форм в селекционных программах скрещивания в условиях Среднего Поволжья.

Ключевые слова: пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.), Среднее Поволжье, селекция, исходный материал, скороспелость, короткостебельность, крупнозерность, продуктивность, образец

SCREENING OF RAW MATERIAL FOR A SPRING SOFT WHEAT SELECTION IN THE MIDDLE VOLGA REGION CONDITIONS

T.Yu. Taranova, Junior Researcher

E.A. Demina, PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher

A.I. Kincharov, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher

Samara Federal Research Center of the RAS, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing
named after P.N. Konstantinov, Kinel, Samara region, Russia

E-mail: elena_pniiss@mail.ru

Abstract. The results of the study of 300 samples of spring soft wheat from a collection nursery with different ecological and geographical origin by identifying genetic sources with signs – precocity, short stemmed, coarse grained in the conditions of the Middle Volga region are presented. The research was carried out in 2019–2021 in the forest-steppe zone of the Samara region. The growing seasons during the years of research were quite arid: the hydrothermal coefficient in 2019 was 0.48, in 2020 – 0.52, in 2021 – 0.39 with an average annual value of 0.73. The study of the source material was carried out according to the methodology of the state variety testing and the method-

ological recommendations of the VIR. According to the results of the study, genetic sources of precocity were identified: Ural'skaya Kukushka, Chelyaba Rannyaya (Chelyabinsk region), Rifor 1, Rifor 6 (Leningrad region), Odeta, Libertina (Czech Republic), Chi Mai 1 (China); short stemmed: KWS Jetstream (Germany), Eleganza, Florens (France), Odeta, Libertina, Septima (Czech Republic), KWS Torridon (Great Britain), VZ-602 (Mexico), Iona (USA), Boett (Sweden), Long Fu 13 (China); coarse grains: Lutescens 6074/6-23 (Kinel), Ekhada 214, Ulyanovskaya 101, Burlak (Ulyanovsk), Saratovskaya 70 (Saratov), Chi Mai 1 (China). In turn, the samples Lutescens 6074/6-23, Ekhada 214, Burlak, in addition to high values of the mass of 1000 grains, had high yields during the years of research. The highest grain productivity was distinguished by samples of local breeding created in recent years — Kinelskaya Yubiley-naya, Kinelskaya Zarya, Kinelskaya Zvezda, Kinelskaya 2020, Kinelskaya Volna, Lutescens 6074/6-23, Erythrospermum 6517/24-1, varieties of Bezenchik selection — Tulaykovskaya 108, Tulaykovskaya 116, as well as Saratov selection — Saratovskaya 73, Saratovskaya 74, Albidum 33 and Ulyanovsk selection — Burlak, Ulyanovskaya 100. The selected genetic sources of valuable traits are recommended to be used as parental forms in breeding programs of crossing in the conditions of the Middle Volga region.

Keywords: soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.), Middle Volga region, breeding, source material, precocity, short stem, coarse grain, productivity, sample

Актуальная задача для большинства регионов Российской Федерации — выделение в различных погодных условиях ценных генетических форм для создания нового высокопродуктивного и высококачественного селекционного материала пшеницы. [1, 4, 13] В лесостепных условиях Среднего Поволжья, отличающихся в последние десятилетия недостаточной влагообеспеченностью и повышенными температурами на разных этапах вегетационного периода, помимо подбора засухоустойчивых и жаростойких родительских форм яровой мягкой пшеницы, важен исходный материал и с другими хозяйственно ценными признаками (скороспелость, устойчивость к полеганию, короткостебельность, крупнозерность, продуктивность, качество зерна). [3, 5, 12]

Коллекционный материал служит одним из главных источников и доноров хозяйственно ценных признаков, свойств культурных растений, а его изучение — ответственный и важный этап селекционной работы в каждом регионе. Поддержание и сохранение в «живом» состоянии, а также периодическое пополнение новыми образцами коллекции ВИР — стратегически важная задача страны. [14] В настоящее время общий генетический фонд сельскохозяйственных культур в Российской Федерации представлен более 370 тыс. образцами, из них 325 тыс. находятся в ВИР, около 50 тыс. — других учреждениях. [11] Национальная коллекция пшеницы ВИР по объему и генетическому разнообразию входит в число ведущих генетических банков мира. [9]

В Среднем Поволжье востребованы сорта яровой мягкой пшеницы, обладающие комплексом адаптивно значимых признаков (скороспелость, устойчивость к полеганию, толерантность и/или иммунитет к заболеваниям, высокая засухоустойчивость и качество зерна). [2] Сложность решения данной задачи в том, что необходимо эти признаки, порой с отрицательными корреляционными связями, сочетать с максимальным увеличением продуктивности пшеницы. [1] Поэтому желательно иметь разнообразный исходный материал, содержащий генетические источники с высокой выраженностью селекционно ценных признаков и разнообразием откликов на изменение агроклиматических условий. [10, 16] В селекционном процессе разнообразие сортов в ответах на критические погодные явления может повысить устойчивость растений к изменению климата. [15] Требуется более глубо-

кое и всестороннее изучение сортообразцов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР.

Цель работы — оценить исходный материал яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения и выделить источники хозяйственно ценных признаков для дальнейшего использования их в селекционных программах создания сортов, адаптированных к меняющимся климатическим условиям лесостепи Среднего Поволжья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Научные исследования проводили в 2019–2021 годах на базе лаборатории селекции и семеноводства яровой пшеницы Поволжского НИИСС — филиала СамНЦ РАН (Самарская обл.). Почва опытного участка — чернозем типичный среднечерноземный легкоглинистый, содержание гумуса — 5...6%, легкогидролизуемого азота — 28...49 мг/кг почвы, подвижного фосфора — 61...77, обменного калия — 374...423 мг/кг, рН — 5,4. Опыты закладывали на полях первого селекционного севооборота по предшественнику чистый пар. Площадь делянок коллекционного питомника — 1 м², повторность однократная, с частыми (через 10...12 номеров) стандартами. Норма высева — 450 всх. сем./м².

Объект изучения — 300 коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения отечественной и зарубежной селекции из Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) и научно-исследовательских учреждений РФ, включая образцы собственной селекции. Посев делянок осуществляли сеялкой ССФК-7М. Убирали образцы вручную, обмолачивали на сноповой молотилке МПСУ-500. Закладку опытов, изучение, фенологические наблюдения за прохождением фаз развития растений пшеницы и анализ исходного материала по хозяйственно ценным признакам проводили согласно методическим рекомендациям ВИР и методике государственного испытания РФ. [7,8] Оценивали устойчивость к полеганию коллекционных образцов по пятибалльной шкале: 5 — растения не полегают, 4 — слабое полегание, 3 — среднее, 2 — сильное, 1 — очень сильное. Массу 1000 зерен определяли по ГОСТ 12042-80. [6]

Погодные условия Среднего Поволжья сильно изменялись по годам и в течение вегетационного периода. Гидротермический коэффициент (ГТК) 2019 года — 0,48, 2020 — 0,52, 2021 — 0,39, при

среднегодовом значении – 0,73. Среднесуточная температура воздуха за вегетацию составила в 2019 году – 19,1°C, 2020 – 19,3, 2021 – 23,0, норма – 18,1°C. Количество осадков, выпавших за вегетацию: 2019 – 110,6 мм, 2020 – 130,5, 2021 – 111,4, среднегодовое – 163 мм.

Данные статистически обрабатывали с использованием пакета анализа компьютерной программы Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В лесостепных условиях Средневолжского региона продолжительность вегетационного периода яровой мягкой пшеницы определяется, прежде всего, длительностью периода всходы–колошение (ПВК), это позволяет судить о скороспелости сорта. [5] В производстве более адаптированными считаются среднеспелые сорта яровой мягкой пшеницы. В селекционных программах, при конструировании новых генотипов, часто выделяется гибридный материал с комплексом ценных признаков, отличающийся позднеспелостью. Для корректировки ПВК высокопродуктивных позднеспелых линий и сортов яровой пшеницы необходимо использовать в скрещиваниях скороспелые образцы.

Период всходы–колошение за годы исследований коллекционного материала максимально варьировал от 31 до 52 сут. В 2019 году значения показателя ПВК находились в интервале 35...50 сут. (среднее значение – 40,8±0,3), а коэффициент вариации признака исследуемого набора сортов (V) – 6,00%. В 2020 году ПВК – от 37 до 52 сут., в среднем 44,4±0,4, V – 7,27%, 2021 – от 31 до 42 сут. (37,2±0,3 сут.), V – 6,01% (табл. 1).

Коллекционные образцы по средней продолжительности ПВК разделили на группы: раннеспелые (ПВК до 38 дн.), среднеспелые (39...42 дня), позднеспелые (более 43 дн.). Сорта *Уральская кукушка*, *Челяба ранняя* (Челябинская обл.), *Рифор 1*, *Рифор 6* (Ленинградская обл.), *Odetta*, *Libertina* (Чехия), *Chi Mai 1* (Китай), со средним ПВК 34,3...36,0 дн., выделились как генетические источники скороспелости, но в условиях засушливого Средневолжского региона в годы исследований показали сравнительно невысокую урожайность зерна. Наибольшая скороспелость была у *Челябы ранней* (ПВК – 34,3 дн.), *Рифора 1* (34,5 дн.), *Рифора 6* (34,5 дн.). В таблице 2 представлены образцы яровой мягкой пшеницы с высокой продуктивностью разных групп скороспелости.

Средняя продолжительность периода всходы–колошение по годам исследования у раннеспелых сортов – 37,1±0,49 сут., урожайность – 290,6±17,71 г/м²; среднеспелых – 40,9±0,20 сут.

Таблица 1.
Продолжительность ПВК яровой мягкой пшеницы, 2019–2021 годы

Год	Продолжительность ПВК, сут.			Коэффициент вариации (V), %
	min	max	средняя ($x_{cp} \pm t_{05} S_{xcp}$)	
2019	35	50	40,8±0,32	6,00
2020	37	52	44,4±0,39	7,27
2021	31	42	37,2±0,26	6,01

Таблица 2.
Выделившиеся сорта разных групп скороспелости с высокой продуктивностью зерна, среднее за 2019–2021 годы

Сорт	Происхождение	Период всходы–колошение, сут.	Урожайность, г/м ²
Раннеспелые			
<i>Альбидум 28</i>	Саратов	35,7	335,9
<i>Альбидум 32</i>	Саратов	36,0	333,5
<i>Альбидум 33</i>	Саратов	35,7	397,0
<i>Линия 666</i>	Саратов	35,0	334,4
<i>Тюменская 25</i>	Тюмень	37,7	344,2
Среднее ($x_{cp} \pm t_{05} S_{xcp}$)		37,1±0,49	290,6±17,71
Среднеспелые			
<i>Кинельская зоря</i>	Кинель	40,0	402,7
<i>Кинельская 2020</i>	Кинель	42,0	418,7
<i>Кинельская звезда</i>	Кинель	40,3	426,7
<i>Эритроспермум 6517/24-1</i>	Кинель	39,7	428,3
<i>Лютесценс 6073</i>	Кинель	39,7	419,7
<i>Лютесценс 6029</i>	Кинель	42,0	431,5
<i>Саратовская 74</i>	Саратов	39,7	403,3
Среднее ($x_{cp} \pm t_{05} S_{xcp}$)		40,9±0,20	303,4±8,73
Позднеспелые			
<i>Грекум 4445</i>	Кинель	44,3	355,7
<i>Экада 113</i>	Ульяновск	44,3	354,9
<i>Саратовская 73</i>	Саратов	43,0	385,5
Среднее ($x_{cp} \pm t_{05} S_{xcp}$)		44,3±0,56	270,9±15,54

и 303,4±8,73 г/м²; позднеспелых – 44,3±0,56 дн. и 270,9±15,54 г/м². Наибольшая средняя урожайность сформирована в группе среднеспелых сортов-образцов с продолжительностью ПВК 39...42 дня, при варьировании продуктивности – 203,6...431,5 г/м². Поэтому, в зависимости от поставленных задач программы скрещиваний и величины корректировки продолжительности периода всходы–колошение в контрастных условиях Среднего Поволжья, необходимо использовать только выделившиеся в ходе

Таблица 3.
Высота растений и продуктивность коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы, 2019–2021 годы

Год	Высота растений, см			Коэффициент вариации (V), %	Продуктивность, г/м ²			Коэффициент вариации (V), %
	min	max	средняя ($x_{cp} \pm t_{05} S_{xcp}$)		min	max	средняя ($x_{cp} \pm t_{05} S_{xcp}$)	
2019	40	95	68,5±1,17	13,7	116	554	293,6±10,37	28,4
2020	60	124	94,1±1,40	11,9	213	619	389,9±8,82	18,1
2021	50	95	74,4±1,12	11,2	27	365	190,6±8,66	34,0

исследований сорта из группы ранне- и среднеспелых форм.

Высота растений – селекционный показатель, который тесно связан с продуктивностью. Уменьшение высоты растений – одно из основных направлений в современной селекции, связанной с интенсификацией производства. Коллекционные образцы пшеницы разделили на группы: менее 60 см – карлики, 60...84 – полукарлики, 85...104 – низкорослые, 105...120 – среднерослые, более 120 см – высокорослые. Градацию материала провели по условиям наиболее благоприятного 2020 года. В группу карлики из общего количества образцов вошло 3,2%, полукарлики – 9,6, низкорослые – 73,8, среднерослые – 12,8, высокорослые – 0,6%.

Высота растений у изучаемых образцов к концу вегетации 2019 года варьировала от 40 до 95 см, 2020 – 60...124, 2021 – 50...95 см. Коэффициент вариации признака (V) имел средние значения – 11,9...13,7% (табл. 3).

Следует отметить, что в группе карлики устойчивость к полеганию составила 5 баллов, полукарлики – 4,8, низкорослые – 4,6, среднерослые – 4,5, высокорослые – 4,0 балла. Наибольшую продуктивность показали образцы из групп средне- и низкорослые. Средняя урожайность зерна за три года изучения в группе среднерослые – 307,2 г/м², низкорослые – 296,1 г/м², полукарлики – 253,6 г/м².

Короткостебельные образцы устойчивы к полеганию, в благоприятные по увлажнению годы формируют среднюю высоту стеблестоя и не склонны к полеганию. В условиях Среднего Поволжья они более подвержены поражению болезнями и/или быстро теряют генетическую устойчивость из-за формирования плотного фитоценоза в благоприятные годы, а также имеют слабую засухоустойчивость и продуктивность, по сравнению со средне- и высокорослыми образцами в годы с различными типами засух второй половины вегетации.

Наибольшая селекционная ценность у короткостебельных непелегающих образцов, сочетающих высокий продуктивный потенциал в благоприятные по увлажнению годы. Были выделены генетические источники короткостебельности: *KWS Jetstream* (Германия), *Eleganza*, *Florens* (Франция), *Odeta*, *Libertina*, *Septima* (Чехия), *KWS Torridon* (Великобритания), *VZ-602* (Мексика), *Iona* (США), *Boett* (Швеция), *Long Fu 13* (Китай) со средней высотой растений – 50,0...57,7 см, урожайностью зерна – 226,0...331,1 г/м², устойчивостью к полеганию – 4,8...5,0 баллов. Наибольшей высокорослостью за годы исследований отличались сорта омской селекции *Сигма* (95,0 см), *Серебристая* (93,7) и казахстанской *Актюбе 10* (95,7 см), *Байтерек* (92,7).

Урожайность во многом зависела от погодных условий года. В засушливом (2019) и острозасушливом (2021) годах яровая мягкая пшеница демонстрировала в среднем невысокую продуктивность. В 2019 году урожайность в питомнике варьировала от 116,0 до 554,0 г/м², показав высокую вариабельность признака V = 28,4%, при средней урожайности образцов 293,6±10,37 г/м². В 2020 году она была в широких пределах (219,0...619,0 г/м²), но хорошая влагообеспеченность в момент образова-

Таблица 4.
Масса 1000 зерен образцов яровой мягкой пшеницы, 2019–2021 годы

Год	Масса 1000 зерен, г			Коэффициент вариации (V), %
	min	max	средняя ($x_{\text{ср}} \pm t_{05} S_{\text{ср}}$)	
2019	26,1	43,4	34,7±0,41	9,53
2020	26,1	43,2	33,9±0,35	7,92
2021	23,6	37,5	30,3±0,41	9,66

Таблица 5.
Сорта яровой мягкой пшеницы, выделенные по крупнозерности и высокой продуктивности зерна, среднее за 2019–2021 годы

Сорт	Происхождение	Масса 1000 зерен, г	Урожайность зерна, г/м ²
<i>Лютесценс 6074/6-23</i>	Кинель	39,1	424,9
<i>Ульяновская 100</i>	Ульяновск	37,9	374,1
<i>Бурлак</i>	Ульяновск	41,8	395,2
<i>Экада 214</i>	Ульяновск	39,5	398,0
<i>Саратовская 72</i>	Саратов	37,9	384,9
<i>Саратовская 74</i>	Саратов	37,6	403,3
<i>Альбидум 33</i>	Саратов	37,3	397,0
Среднее		33,6±0,35	298,6±6,71
НСР ₀₅		1,8	18,0

ния элементов продуктивности помогла многим образцам реализовать свой потенциал продуктивности. Коэффициент вариации (V) в условиях более благоприятного года составил 18,1%, средняя урожайность – 389,9±8,82 г/м². Формирование урожайности в 2021 году во многом определялось недостаточной влагообеспеченностью посевов при высоких среднесуточных температурах воздуха, она была в пределах 27,0...365,0 г/м² (средняя – 190,6±8,66 г/м², V – 34,0%), но находилась на самом низком уровне за годы исследований. Высокую вариабельность признака при острозасушливом и жарком вегетационном периоде 2021 года необходимо использовать для оценки разнообразия отклика генотипов на меняющиеся в тренде глобального потепления условия среды в регионе.

Один из способов роста продуктивности яровой мягкой пшеницы – повышение массы 1000 зерен селекционными методами. В Среднем Поволжье данному показателю уделяют большое внимание, так как он характеризует еще и товарность зерна, из-за его крупности и выравненности. Величина показателя масса 1000 зерен образцов за годы исследований изменялась от 23,6 до 43,4 г (V = 8,38%), в 2019 году – 34,7 г (V = 9,53%), 2020 – 33,9 г (V = 7,92%), 2021 – 30,3 г (V = 9,66%) (табл. 4).

Максимальные значения по крупнозерности имели сорта: *Лютесценс 6074/6-23* – 39,1 г (г. Кинель), *Экада 214* – 39,5 г, *Ульяновская 101* – 39,6 г, *Бурлак* – 41,8 г (г. Ульяновск), *Саратовская 70* – 39,6 г (г. Саратов), *Chi Mai 1* – 39,1 г (Китай). Сорта *Лютесценс 6074/6-23*, *Экада 214*, *Бурлак*, помимо высоких значений массы 1000 зерен, сочетали высокую продуктивность по годам исследования: средняя масса 1000 зерен – 33,6±0,35 г, урожайность – 298,6±6,71 г/м². Сорта, которые отличались по крупнозерности и высокой продуктивности представлены в таблице 5. Их мы рекомендуем использовать в качестве родитель-

ских форм в селекционных программах скрещивания на увеличение крупности зерна и урожайности.

Наиболее высокоурожайными были сорта и линии яровой мягкой пшеницы отечественной селекции: *Кинельская юбилейная*, *Кинельская заря*, *Кинельская звезда*, *Кинельская 2020*, *Кинельская волна*, *Лютесценс 6074/6-23*, *Эритроспермум 6517/24-1* (г. Кинель) — 369,3...428,3 г/м²; *Саратовская 73*, *Саратовская 4*, *Альбидум 33* (г. Саратов) — 385,5...403,3 г/м²; *Бурлак*, *Ульяновская 100* (г. Ульяновск) — 374,1...395,2; *Тулайковская 108*, *Тулайковская 116* (п.г.т. Безенчук) — 391,9...419,3 г/м².

В результате изучения коллекционных образцов найдены генетические источники скороспелости, короткостебельности, крупнозерности и высокой продуктивности, которые можно применять в селекционных программах Среднего Поволжья и мест со сходными агроклиматическими условиями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Амунова О.С., Волкова Л.В., Зуев Е.В. и др. Исходный материал для селекции мягкой яровой пшеницы в условиях Кировской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. Т. 22. № 5. С. 661–675. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675.
- Дёмина Е.А., Кинчаров А.И., Таранова Т.Ю. и др. Источники ценных признаков для селекции яровой мягкой пшеницы в Среднем Поволжье // *Вестник Казанского ГАУ*. 2020. № 4 (60). С. 21–26. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-21-26.
- Дёмина И.Ф. Результаты изучения коллекционных образцов пшеницы мягкой яровой в условиях Среднего Поволжья // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. Т. 21. № 6. С. 653–659. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.653-659.
- Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Кирьякова М.Н. и др. Перспективные генетические источники для селекции яровой твердой пшеницы в Западной Сибири // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022. Т. 26. № 7. С. 609–621. DOI: 10.18699/VJGB-22-75.
- Кинчаров А.И., Дёмина Е.А., Таранова Т.Ю. и др. Продолжительность периода всходы — колосение в селекции яровой мягкой пшеницы на продуктивность // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2022. № 5. С. 42–46. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/5/42-46.
- Межгосударственный стандарт. ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян. М.: Стандартинформ, 2011. С. 116–118.
- Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев Е.В. и др. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале (методические указания). СПб: ВИР, 1999. 81 с.
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. Вып. 1. 329 с.
- Митрофанова О.П. Генетические ресурсы пшеницы в России: состояние и предселекционное изучение // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012. Т. 16. № 1. С. 10–20.
- Пискарев В.В., Зуев Е.В., Брыкова А.Н. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Новосибирской области // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22. № 7. С. 784–794. DOI: 10.18699/VJ18.422.
- Савченко И.В. Генетические ресурсы — основа продовольственной безопасности России // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 9. С. 5–8.
- Таранова Т.Ю., Дёмина Е.А., Кинчаров А.И. и др. Варибельность высоты растений яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2021. № 6. С. 45–49. DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/45-49.
- Темирбекова С.К., Зуев Е.В., Аbugалиева А.И. и др. Источники крупнозерности и устойчивости к болезням яровой мягкой пшеницы из мирового генофонда ВИР для использования в селекции // *Аграрная наука*. 2019. Т. 1. С. 43–47. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-43-47.
- Темирбекова С.К., Зуев Е.В., Медведева Л.М. и др. Генофонд яровой мягкой пшеницы из коллекции генетических ресурсов растений ВИР для использования в селекции // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018. № 4. С. 35–38. DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/35.
- Kahiluoto H., Kaseva J., Hakala K. et al. Cultivating resilience by empirically revealing response diversity. *Global Environmental Change*. 2014. Vol. 25. P. 186–193. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.02.002.
- Randhawa H.S., Graf R.J., Pozniak C. et al. Application of molecular markers to wheat breeding in Canada. *Plant Breed*. 2013. Vol. 132. No 5. P. 458–471. DOI: 10.1111/pbr.12057.

REFERENCES

- Amunova O.S., Volkova L.V., Zuev E.V. i dr. Iskhodnyi material dlya seleksii myagkoi yarovoi pshenitsy v usloviyakh Kirovskoi oblasti // *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka*. 2021. T. 22. № 5. S. 661–675. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675.
- Demina E.A., Kincharov A.I., Taranova T.Yu. i dr. Istochniki tsennykh priznakov dlya seleksii yarovoi myagkoi pshenitsy v Srednem Povolzh'e // *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2020. № 4 (60). S. 21–26. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-21-26.
- Demina I.F. Rezul'taty izucheniya kolleksiionnykh obraztsov pshenitsy myagkoi yarovoi v usloviyakh Srednego Povolzh'ya // *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka*. 2020. T. 21. № 6. S. 653–659. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.653-659.
- Evdokimov M.G., Yusov V.S., Kir'yakova M.N. i dr. Perspektivnye geneticheskie istochniki dlya seleksii yarovoi tverdoi pshenitsy v Zapadnoi Sibiri // *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. 2022. T. 26. № 7. S. 609–621. DOI: 10.18699/VJGB-22-75.
- Kincharov A.I., Demina E.A., Taranova T.Yu. i dr. Prodolzhitel'nost' perioda vskhody — koloshenie v seleksii yarovoi myagkoi pshenitsy na produktivnost' // *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2022. № 5. S. 42–46. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/5/42-46.
- Mezhgosudarstvennyi standart. GOST 12042-80. Semena sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniya massy 1000 semyan. M.: Standartinform, 2011. S. 116–118.
- Merezhko A.F., Udachin R.A., Zuev E.V. i dr. Popolnenie, sokhranenie v zhivom vide i izuchenie mirovoi kolleksii pshenitsy, ehgilopsa i tritikale (metodicheskie ukazaniya). SPb: VIR, 1999. 81 s.
- Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. M., 2019. Vyp. 1. 329 s.
- Mitrofanova O.P. Geneticheskie resursy pshenitsy v Rossii: sostoyanie i predseleksionnoe izuchenie // *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. 2012. T. 16. № 1. S. 10–20.
- Piskarev V.V., Zuev E.V., Brykova A.N. Iskhodnyi material dlya seleksii yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh Novosibirskoi oblasti // *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. 2018. T. 22. № 7. S. 784–794. DOI: 10.18699/VJ18.422.
- Savchenko I.V. Geneticheskie resursy — osnova prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossii // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2016. T. 30. № 9. S. 5–8.
- Taranova T.Yu., Demina E.A., Kincharov A.I. i dr. Variabel'nost' vysoty rasteniy yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzh'ya // *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2021. № 6. S. 45–49. DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/45-49.
- Temirbekova S.K., Zuev E.V., Abugaliyeva A.I. i dr. Istochniki krupnozernosti i ustoychivosti k boleznyam yarovoi myagkoi pshenitsy iz mirovogo genofonda VIR dlya ispol'zovaniya v seleksii // *Agrarnaya nauka*. 2019. T. 1. S. 43–47. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-43-47.
- Temirbekova S.K., Zuev E.V., Medvedeva L.M. i dr. Genofond yarovoi myagkoi pshenitsy iz kolleksii geneticheskikh resursov rasteniy VIR dlya ispol'zovaniya v seleksii // *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2018. № 4. S. 35–38. DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/35.
- Kahiluoto H., Kaseva J., Hakala K. et al. Cultivating resilience by empirically revealing response diversity. *Global Environmental Change*. 2014. Vol. 25. P. 186–193. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.02.002.
- Randhawa H.S., Graf R.J., Pozniak C. et al. Application of molecular markers to wheat breeding in Canada. *Plant Breed*. 2013. Vol. 132. No 5. P. 458–471. DOI: 10.1111/pbr.12057.

10. Piskarev V.V., Zuev E.V., Brykova A.N. Iskhodnyi material dlya seleksii yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh Novosibirskoi oblasti // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2018. T. 22. № 7. S. 784–794. DOI: 10.18699/VJ18.422.
11. Savchenko I.V. Geneticheskie resursy — osnova prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossii // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. T. 30. № 9. S. 5–8.
12. Taranova T.Yu., Demina E.A., Kincharov A.I. i dr. Variabel'nost' vysoty rastenii yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzh'ya // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2021. № 6. S. 45–49. DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/45-49.
13. Temirbekova S.K., Zuev E.V., Abugalieva A.I. i dr. Istochniki krupnozernosti i ustoychivosti k bolezniam yarovoi myagkoi pshenitsy iz mirovogo genofonda VIR dlya ispol'zovaniya v seleksii // Agrarnaya nauka. 2019. T. 1. S. 43–47. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-43-47.
14. Temirbekova S.K., Zuev E.V., Medvedeva L.M. i dr. Genofond yarovoi myagkoi pshenitsy iz kolleksii geneticheskikh resursov rastenii VIR dlya ispol'zovaniya v seleksii // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2018. № 4. S. 35–38. DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/35.
15. Kahiluoto H., Kaseva J., Hakala K. et al. Cultivating resilience by empirically revealing response diversity. *Global Environmental Change*. 2014. Vol. 25. P. 186–193. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.02.002.
16. Randhawa H.S., Graf R.J., Pozniak C. et al. Application of molecular markers to wheat breeding in Canada. *Plant Breed.* 2013. Vol. 132. No 5. P. 458–471. DOI: 10.1111/pbr.12057.

Поступила в редакцию 17.07.2023

Принята к публикации 31.07.2023

УДК633.511

DOI: 10.31857/2500-2082/2023/6/26-30, EDN: WRLHXZ

ВЛИЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕНОТИПОВ ХЛОПЧАТНИКА В РАЗНЫХ ЗОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Аслиддин Тождинович Садиков¹, кандидат сельскохозяйственных наук
Сулухан Кудайбердиевна Темирбекова², доктор биологических наук, профессор

¹Институт земледелия Таджикской Академии сельскохозяйственных наук,
г. Гиссар, Республика Таджикистан

²ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Московская обл., Россия
E-mail: dat.tj@mail.ru

Аннотация. Успех селекции во многом зависит от генетически разнообразного исходного материала с широкой реакцией на изменяющиеся условия окружающей среды, его изучения и правильного скрининга, а также выявления новых источников ценных признаков и свойств среди экологически удаленных агроэкоципов, обогащающих генетический потенциал отечественных сортов. При создании более совершенных сортов, способных повысить эффективность сельского хозяйства, важно сочетать традиционные методы селекции с использованием генетических и физиологических систем растений, приводящих к выведению высокоурожайных генотипов хлопчатника. В статье представлены результаты исследований физиологических особенностей как приоритетного направления повышения продуктивности хлопководства. Показана роль элементов структуры урожая в процессе создания новых сортов и линий средневолокнистого хлопчатника для возделывания в различных агроклиматических зонах Республики Таджикистан.

Ключевые слова: Республика Таджикистан, хлопчатник, сорт, линии, физиологические показатели, количество листьев, адаптивность, продуктивность, выход волокна

ENVIRONMENT INFLUENCE ON THE PHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE GENOTYPES INDICATORS IN TAJIKISTAN REPUBLIC DIFFERENT ZONES

A.T. Sadikov¹, PhD in Agricultural Sciences

S.K. Temirbekova², Grand PhD in Biological Sciences, Professor

¹Institute of Farming of the Tajik Academy Agricultural Sciences, Hissar city, Republic of Tajikistan

²Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow region, Russia
E-mail: dat.tj@mail.ru

Abstract. The success of breeding largely depends on the availability of a genetically diverse source material with a broad response to changing environmental conditions, its study and proper screening, as well as the identification of new sources of valuable traits and properties among ecologically remote agroecotypes that enrich the genetic potential of domestic varieties. When creating more advanced varieties that can increase the efficiency of agriculture, a special place is given to the combination of traditional breeding methods using the genetic and physiological systems of plants that contribute to the creation of high-yielding genotypes of cotton. This is due to the fact that the genotype is realized at the physiological level, and the possibilities of selection based on empirical experience and intuition are

exhausted — along with huge achievements (the contribution of the variety to the formation of the crop in many countries of the world has become 30...60%), its development has recently been marked by pronounced negative trends, characterized, in particular, by a decrease in the resistance of plants to environmental stress and a deterioration in the quality of the products obtained. The article presents the results physiological characteristics of studies as a priority direction for increasing the productivity of cotton growing. The role of the growth of number of leaves per plant as photosynthetic activity and compensatory mechanisms, elements of the crop structure in the process of breeding new varieties and lines of medium-fiber cotton during their cultivation in various ecological zones of the Republic of Tajikistan is shown.

Keywords: Republic of Tajikistan, cotton, variety, lines, physiological parameters, number of leaves, adaptability, productivity, fiber yield

В настоящее время при высокой интенсификации растениеводства и специализации сельскохозяйственного производства важно создавать сорта с максимальным уровнем адаптации к условиям внешней среды, позволяющие стабильно получать урожаи хорошего качества. Поэтому в селекции все большее значение приобретает адаптивность растений к стрессовым ситуациям, погодным изменениям и выявление оптимального сочетания внешних факторов.

Адаптивность — способность растения приспособиться к определенной среде. Структурные или функциональные изменения организма, которые увеличивают его жизнеспособность, выживаемость, темпы размножения, называют адаптивными. Адаптация может быть генотипической, при которой развитие генотипа обеспечивает образование новой нормы реакции организма и гармоничное приспособление индивида или популяции к экологическим условиям, и модификационной, позволяющей организму в пределах сложившейся нормы реакции оставаться жизнеспособным и давать потомство.

Адаптивная селекция — это управление адаптивным потенциалом растений и его использование в создании новых норм реакций у сортов и гибридов из-за рекомбинационной изменчивости отбора. Ее основная цель — изучение потенциально пригодного селекционного материала в разнообразных почвенно-климатических условиях выращивания, отбор экологически пластичных генотипов и выведение высокоурожайных сортов и гибридов растений, адаптированных и устойчивых к экстремальным факторам внешней среды.

По мнению А.А. Жученко, теоретическая основа адаптивной селекции и растениеводства — экологическая генетика растений. [6]

Чтобы на прочной научной основе организовать селекционную работу и обеспечить надежный подбор родительских пар для гибридизации, необходимо исследовать не только закономерности продукционного процесса, но и понимать причины изменчивости генетических параметров его компонентов в разных экологических средах, научиться прогнозировать сдвиги этих параметров в других средах. [1, 2, 9]

Такую информацию дает эколого-генетическая модель контроля количественных признаков растений, предложенная В.А. Драгавцевым с соавторами. [4, 5] Они показали, что механизм эффекта взаимодействия «генотип-среда» есть переопределение генетических формул при смене лимитирующего экологического фактора. Следовательно, проведение отбора генотипов на высокую продуктивность и адаптивность с флуктуацией экологических факторов по годам и зонам — высокоэффективный подход в селекции новых урожайных сортов и гибридов, устойчивых к экстремальным факторам

внешней среды. Эколого-генетический анализ начинают с инвентаризации динамики метеофакторов в экологических точках выращивания исходного селекционного материала. Проведение тщательного генетического анализа признаков продуктивности в один год и в одной географической точке нецелесообразно, так как в другой год генетическая детерминация признаков может измениться. Поэтому селекционеры считают, что даже однолетняя оценка сортов и гибридов в разных почвенно-климатических зонах по своей эффективности аналогична многолетней их проверке в одном пункте. [3]

В отличие от методов «генетического анализа» признаков В.А. Драгавцев с сотрудниками [5], обосновывая эколого-генетическую модель, предлагают методы генетической инвентаризации генотипов, с их помощью изучают генетико-физиологические системы, с использованием которых селекционеры улучшают или создают сорта по сложным количественным признакам продуктивности: 1. Атракция, обеспечивающая перекачку пластических веществ (фотосинтаты) в запас — из листьев в плодовые и запасающие органы (attr.); 2. Микрораспределение аттрагированных пластических веществ (фотоассимиляты) между структурными компонентами урожая (mic); 3. Адаптивность (морозо-, холодо-, засухо-, жаро-, солеустойчивости и другое) и полигенный иммунитет (ad.); 4. Оплата корма (eff.); 5. Толерантность к загущению (td.); 6. Вариабельность периодов онтогенеза (ont.). Комплексные изучения этих систем по данному вопросу не проводили.

М.И. Исмаиловым [8] показано, что для каждой зоны Таджикистана необходимо организовать свой отдельный селекционный процесс, так как донорские качества сортов по количественным признакам сильно меняются при смене лимитирующих факторов внешней среды.

В селекции широко используется географическая сеть испытания новых сортов и гибридов растений, основные принципы создания которой разработаны и реализованы Н.И. Вавиловым в 30-х годах прошлого столетия. Экологически разнообразная географическая селекционная и сортоиспытательная сети позволяют значительно ускорить процесс получения сортов, приспособленных к широкой вариабельности факторов внешней среды, обеспечить выращивание нескольких поколений растений в год, сократить период оценки нового сорта или гибрида и более точно указать ареал их целесообразного районирования.

Цель работы — определить влияние условий выращивания на физиологические и продуктивные показатели новых перспективных линий и сортов средневолокнистого хлопчатника в разных зонах Республики Таджикистан.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Опыты закладывали с 2019 по 2021 год в двух агроклиматических зонах Республики Таджикистан на полях семеноводческого хозяйства «Авесто» Кабадиянского района Хатлонской области и на опытном участке хозяйства «Зироаткор» Института земледелия Академии сельскохозяйственных наук Республики Таджикистан по методике ВНИИСХ Г.С. Зайцева. Посев проводили в зависимости от года и метеорологических условий в соответствующих районах: Кабадиянском – 5, 10 и 12 апреля, Гиссарском – 23...30 апреля рандомизированным способом, повторность – трехкратная. Площадь делянки для каждого сорта и линии – 4×3,6 м, между-рядье – 0,6 м, схема посева – 60×20×1 м. Данные статистически обрабатывали по методике Б.А. Доспехова. [3] Агротехника общепринятая.

Для исходного материала взяли новые перспективные образцы (Л-1 и Л-2) средневолокнистого хлопчатника, полученные методом отдаленной внутривидовой гибридизации местных (*Сорбон, Зироаткор-64*) и турецких интродукционных сортов *Nazilli-84-S* и *Nazilli-84(92-1)*. Районированный сорт *Хисор* – стандарт.

Кабадиянский район характеризуется большим количеством солнечной радиации и продолжительностью солнечного сияния. Сумма эффективных температур выше 10°C – 5200...6000°C, осадки – 150...300 мм. Холодный период очень короткий 55...60 дн. Влагообеспеченность посевов хлопчатника удовлетворительная и дефицит проявляется к моменту бутонизации. Почва – типичные сероземы с содержанием гумуса 2,0%, общего азота – 0,11%, подвижного фосфора – 31,0 мг/кг почвы, калия – 280 мг/кг почвы.

Гиссарский район расположен в юго-западной части Центрального Таджикистана, абсолютная отметка над уровнем моря – 746 м. Климат резко континентальный, со значительными колебаниями температуры воздуха в летние и зимние месяцы, а также в течение дня и ночи. Самый холодный месяц – январь (средняя температура воздуха – минус 2...1°C), но низкие температуры кратковременно могут достигать минус 10...минус 15°C, самый жаркий месяц – июль (среднемесячная температура воздуха – 28°C), в отдельные дни до 42°C. Про-

должительность безморозного срока более 235 дн. Годовое количество осадков – около 600 мм. Главным образом, они выпадают в осенне-зимний и весенний периоды, максимум – в марте-апреле. Летом осадков почти нет. Потребность растений во влаге в земледельческих зонах республики обеспечивается только поливами.

Сравнительный анализ климатических условий вегетационного периода хлопчатника по годам исследований выявил их отличие (табл. 1).

Селекционная работа в двух разных зонах направлена на создание высокопродуктивных сортов хлопчатника, обладающих комплексом хозяйственно ценных признаков, экологической устойчивостью и хорошими продуктивными качествами. Изучая местные формы, совершенствуя методы и имея зональный приоритет селекции, нам удалось создать сорта и гибриды для Гиссарского района и других хлопкосеющих зон Республики Таджикистан.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для селекции сельскохозяйственных культур важна генетическая изменчивость растений и их способность противостоять негативным факторам окружающей среды. Генетическое обновление сортифта культуры приводит к качественно новым сортам, формам и даже типам растений. В исследованиях по использованию количества листьев, как тест-признака для скрининга скороспелых и высокопродуктивных форм и линий средневолокнистого хлопчатника в разных экологических условиях и географических пунктах были получены результаты: в фазе бутонизации – 29,7...49,9 шт./раст., массового цветения – 43,1...62,6, массового плодоношения – 68,8...107,4 шт./раст. При этом каждый генотип в динамике своего развития неодинаково реализовывал генетически обусловленный потенциал по этому признаку. В фазе бутонизации наибольшее количество листьев наблюдали у линии Л-1 (49,9 шт./раст.), при массовом цветении – Л-2 (62,6 шт./раст.), плодоношении – Л-1 (107,4 шт./раст.), созревании – Л-2 (87,7) Л-1 (80,9 шт./раст.) (табл. 2).

В Гиссарском районе в фазе бутонизации рассматриваемый показатель – 22,9...39,6 шт./раст., цветения – 34,1...69,8 шт./раст. Количество листьев на растении при плодоношении Л-2 (104,9 шт./

Таблица 1. Среднемесячная температура воздуха и количество атмосферных осадков в период вегетации растений хлопчатника по годам

Месяц	Среднемесячная температура воздуха, °C						Осадки, мм					
	2019		2020		2021		2019		2020		2021	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Март	10,2	9,4	10,5	9,7	10,3	7,2	40,0	110,8	45,0	100,9	42,0	116,0
Апрель	18,7	14,8	17,6	15,0	19,3	15,2	35,0	146,5	40,0	100,4	40,0	109,0
Май	29,0	20,0	21,5	20,7	24,9	21,0	15,0	32,5	10,0	38,2	12,0	37,4
Июнь	26,4	23,0	26,4	23,7	27,5	24,0	2,0	22,4	1,6	7,7	1,0	6,5
Июль	28,0	26,0	28,5	25,8	29,2	26,2	0,0	16,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Август	27,2	25,0	28,1	24,5	27,9	25,1	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	0,3
Сентябрь	21,2	19,2	23,2	20,1	22,9	19,7	3,0	0,0	3,0	0,0	3,8	0,8
Октябрь	15,2	13,0	17,4	14,5	16,2	14,3	5,0	11,0	5,0	9,8	6,0	19,1
Среднее значение за восемь месяцев	21,9	18,8	21,6	19,2	22,2	19,0	100	345,2	104,6	257,0	104,8	289,1

Примечание. 1 – Кабадиянский район; 2 – Гиссарский район.

Таблица 2.
Формирование количества листьев (шт./раст.)
у генотипов средневолокнистого хлопчатника
как фотосинтетического признака при выращивании их
в различных экологических зонах Республики Таджикистан,
2019–2021 годы

Сорт, линия	Фаза развития растений, М±m			
	бутонизация	цветение	плодоношение	созревание
Кабадианский район				
<i>Хисор (st.)</i>	27,4±1,2	34,7±2,1	60,7±3,1	46,5±3,9
<i>Nazilli-84-S</i>	37,6±0,8	44,9±1,8	86,5±2,9	58,7±4,8
<i>Nazilli-84 (92-1)</i>	32,1±1,1	47,6±1,7	70,7±4,0	51,4±3,5
<i>Сорбон</i>	29,7±2,0	43,1±2,4	69,7±2,8	47,8±2,9
<i>Зироаткор-64</i>	39,7±1,0	45,6±2,8	68,8±3,4	55,8±4,5
Л-1	49,9±2,1	59,8±2,4	107,4±2,9	80,9±3,7
Л-2	49,6±1,7	62,6±2,8	97,9±3,8	87,7±2,9
Гиссарский район				
<i>Хисор (st.)</i>	20,3±1,8	25,2±3,2	48,8±3,6	41,4±2,2
<i>Nazilli-84-S</i>	27,8±2,0	34,1±2,0	76,5±1,1	48,7±2,1
<i>Nazilli-84 (92-1)</i>	22,9±1,9	37,2±1,8	60,7±3,2	56,5±2,0
<i>Сорбон</i>	30,7±1,7	36,1±2,1	59,7±2,2	47,1±3,0
<i>Зироаткор-64</i>	29,7±2,1	34,6±2,2	67,7±2,1	45,2±3,7
Л-1	35,9±2,7	57,6±3,1	89,4±1,7	60,9±2,4
Л-2	39,6±1,1	69,8±2,7	104,9±5,4	71,8±3,8

раст.), Л-1 (89,4), *Nazilli-84-S* (76,5), *Зироаткор-64* (67,7 шт./раст.). Общее количество листьев при созревании растений хлопчатника у всех образцов – 45,2...71,8 шт./раст.

По общепринятым методикам учитывали основные компоненты, структуру урожая (количество коробочек на растении, сырая масса одной коробочки, выход волокна, масса 1000 семян) и продолжительность вегетационного периода для генотипов хлопчатника.

Технологические свойства хлопкового волокна определяли стандартными методами [7], разработанными в Центральном научно-исследовательском институте хлопчатобумажной промышленности (ЦИНИХБИ, г. Москва).

В Кабадианском районе вегетационный период растений хлопчатника по всем изученным нами генотипам находился в пределах 115...127 дн., линии Л-1, Л-2 и сорт *Сорбон* – 115...124 дн. с отклонением в сторону сокращения от стандарта *Хисор* (130 дн.) на 14...25 дн. (табл. 2). При выращивании одних и тех же генотипов в Гиссарском регионе признак несколько снижается – 102...129 дн. Наиболее скороспелые: Л-1 (102 дн.), Л-2 (110), *Nazilli-84-S* (125), *Зироаткор-64* (125 дн.).

Полноценных коробочек у всех образцов, выращенных в Кабадианском районе, – 9,9...16,9 шт./раст., большее количество у Л-1 (16,9 шт./раст.), Л-2 (15,5), *Зироаткор-64* (14,2 шт./раст.), у стандарта *Хисор* – 8,5 шт./раст. В Гиссарском районе рассматриваемый показатель для всех изученных форм – 9,2...17,7 шт./раст., у Л-2 – 17,7 шт./раст., Л-1 – 14,0 шт./раст. (см. рисунок и табл. 3).

Во всех образцах наблюдали разную изменчивость, значительное количество полноценных коробочек было в Кабадианском районе Республики Таджикистан.

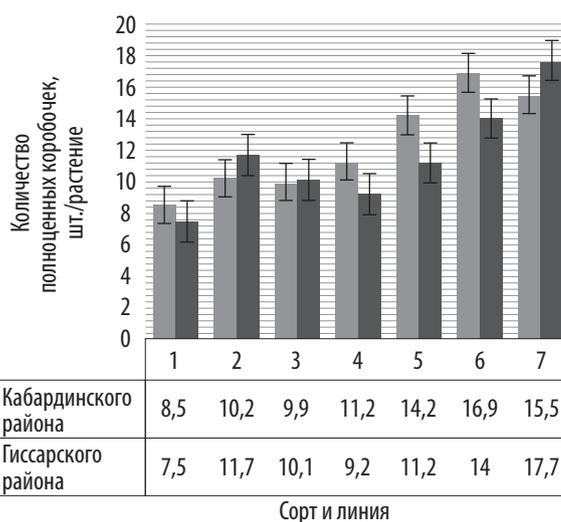


Рис. 1. Изменчивость признака количества полноценных коробочек на одно растение различных образцов средневолокнистого хлопчатника при их выращивании в различных экологических зонах Республики Таджикистан, 2019–2021 годы.

Таблица 3.
Характеристика продуктивности эколого-географически
отдаленных сортов и полученных интрогрессивных линий
средневолокнистого хлопчатника при их выращивании
в различных экологических зонах Республики Таджикистан,
2019–2021 годы

Сорт, линия	Продолжительность вегетации, дни	Количество коробочек, шт./раст.	Вес сырья одной коробочки, г	Продуктивность одного куста, г	Масса 1000 семян, г	Выход волокна, %
Кабадианский район						
<i>Хисор (st.)</i>	130	8,5	5,0	42,5	114,8	35,4
<i>Nazilli-84-S</i>	127	10,2	5,7	58,1	120,2	39,7
<i>Nazilli-84 (92-1)</i>	125	9,9	5,6	55,4	118,4	36,9
<i>Сорбон</i>	124	11,2	5,4	60,4	112,8	37,8
<i>Зироаткор-64</i>	128	14,2	4,9	69,5	119,2	37,5
Л-1	110	16,9	6,4	108,1	120,7	43,5
Л-2	102	15,5	6,6	102,3	121,2	44,0
НСР _{0,5}	2,51	3,45		5,52		2,86
Гиссарский район						
<i>Хисор (st.)</i>	133	7,5	4,8	36,0	110,1	36,0
<i>Nazilli-84-S</i>	125	11,7	5,2	60,8	111,0	38,1
<i>Nazilli-84 (92-1)</i>	129	10,1	5,4	54,5	114,0	37,2
<i>Сорбон</i>	126	9,2	4,8	44,1	121,7	38,9
<i>Зироаткор-64</i>	125	11,2	5,2	58,2	118,1	37,0
Л-1	111	14,0	6,7	93,8	121,4	44,1
Л-2	114	17,7	6,5	115,0	120,0	43,0
НСР _{0,5}	4,74	2,85		3,78		1,89

Масса хлопка-сырца одной коробочки сильно зависит от внешних условий и других факторов, у всех изученных нами образцов этот показатель в Кабадианском районе – 4,9...6,6 г. Превосходство относительно стандарта *Хисор* (5,0 г) – 1,4...1,6 г. Максимальные значения этого признака в Гиссарском районе у линий Л-1 (6,7 г) и Л-2 (6,5 г).

Отклонение от стандарта *Хисор* (4,8 г) – 1,7...1,9 г. Наименьшая масса сырца одной коробочки у сорта *Сорбон* – 4,8 г.

Продуктивность одного куста в Кабадианском районе по всем изученным генотипам колебалась от 55,4 до 108,1 г. По своим максимальным значениям отличались линии Л-1 (108,1 г/раст.), Л-2 (102,3) и сорт *Зироаткор-64* (69,5 г/раст.). Превосходство по отношению к стандарту *Хисор* (42,5) достигает 65,6 г/раст.

В Гиссарском районе у большинства генотипов хлопчатника продуктивность одного куста снижается. Максимальные значения были у линий Л-2 (115,0 г/раст.) и Л-1 (93,8), с большим превосходством (57,8...79,0) над стандартным сортом *Хисор* (36,0 г/раст.).

Выход волокна в Кабадианском районе колеблется от 39,7 (*Nazilli-84-S*) до 43,5 (Л-1) и 44,0% (Л-2), с превышением стандарта *Хисор* (35,4%) на 4,3...8,6% (табл. 2). Масса 1000 семян – 112,8...121,2 г.

В Гиссарской районе выход волокна у всех исследованных образцов – 37,0...44,1%, максимальный у Л-1 (44,1%), Л-2 (43,0) и сорта *Сорбон* (38,9%). Их отклонение от стандарта (36,0%) – 7,0...8,1%. Анализируя цифровые материалы, представленные в таблице 2, масса 1000 семян в этой экологической зоне для исследуемых образцов – 111,0...121,4 г, стандарта – 110,1 г (табл. 3).

Выводы. Исследования генотипов средневолокнистого хлопчатника в различных экологических условиях Республики Таджикистан показали, что количество листьев на растении характеризуется фенотипической и генотипической изменчивостью и сильно колеблется в зависимости от генотипа, факторов среды, фазы развития растений и агротехнических приемов их возделывания.

При ведении селекции в Гиссарском районе в качестве ценных доноров для повышения урожайности хлопка-сырца рекомендуем использовать линию Л-1 и сорт *Сорбон*, в Кабадианском районе линии Л-1, Л-2 и сорта *Nazilli-84-S*, *Зироаткор-64* как ценные материалы, обладающие комплексом полезных признаков продуктивности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бободжанов В.А. (отв. ред.). Эколого-генетический подход к селекции растений. Душанбе: ТГНУ, 2000. 114 с.
2. Бободжанов В.А., Драгавцев В.А., Насыров Ю.С. и др. Эколого-генетический подход к селекции растений. СПб.: ВНИИР им. Н.И. Вавилова, С.-Пб, 2002. 112 с.
3. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных

учебных заведений по агрономическим специальностям. М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.

4. Драгавцев В.А., Аверьянова А.Ф. Переопределение генетических формул количественных признаков в разных условиях среды // Генетика. 1983. Т. 19. № 11. С. 1181–1817.
5. Драгавцев В.А., Литун П.П., Шкель И.М., Нечипоренко Н.Н. Модель эколого-генетического контроля количественных признаков растений // Докл. АН СССР. 1984. Т. 274. № 3. С. 720–723.
6. Жученко А.А. Адаптивная селекция растений продуктивных сортов. М.: Знание, 1986. № 12. С. 4–30.
7. Иванов С.С., Ладынина Л.П., Соловьёв А.Н. и др. Методы определения свойств хлопка волокна. М.: Лёгкая индустрия. Изд. 2-е, 1972. С. 288.
8. Исмаилов М.И. Эколого-генетический анализ количественных признаков тритикале: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ташкент: ИНЭБРИ. АНУзб ССР, 1988. 20 с.
9. Саидов С.Т. Эколого-генетические основы селекции хлопчатника (*Gossypium hirsutum*): Дис. ... канд. с.-х. наук. Душанбе, ТАУ МСХ РТ, 1994. С. 214.

REFERENCES

1. Bobodzhonov V.A. (otv.red). Ekologo-geneticheskij podhod k selekcii rastenij. Dushanbe: TGNU, 2000. 114 p.
2. Bobodzhonov V.A., Dragavcev V.A., Nasyrov Yu.S. i dr. Ekologo-geneticheskij podhod k selekcii rastenij. SPB.: VNIIR im. N.I. Vavilova, S.-Pb, 2002. 112 p.
3. Dospikhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij): uchebnyk dlya studentov vysshih sel'skohozyajstvennyh uchebnyh zavedenij po agronomicheskim special'nostyam. M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. 352 p.
4. Dragavcev V.A., Aver'yanova A.F. Pereopredelenie geneticheskikh formul kolichestvennyh priznakov v raznykh usloviyah sredy // Genetika. 1983. T. 19. № 11. P. 1181–1817.
5. Dragavcev V.A., Litun P.P., Shkel' I.M., Nechiporenko N.N. Model' ekologo-geneticheskogo kontrolya kolichestvennyh priznakov rastenij // Dokl. AN SSSR. 1984. T. 274. № 3. P. 720–723.
6. Zhuchenko A.A. Adaptivnaya selekciya rastenij produktivnykh sortov. M.: Znanie, 1986. № 12. S. 4–30.
7. Ivanov S.S., Ladynina L.P., Solov'ev A.N. i dr. Metody opredeleniya svojstv hlopka volokna. M.: Lëgkaya industriya. Izd. 2-e, 1972. P. 288.
8. Ismailov M.I. Ekologo-geneticheskij analiz kolichestvennyh priznakov tritikale: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Tashkent: INEBRI. ANUzb SSR, 1988. 20 p.
9. Saidov S.T. Ekologo-geneticheskie osnovy selekcii hlochatnika (*Gossypium hirsutum*): dis. ... kand. s.-h. nauk. Dushanbe, TAU MSKH RT, 1994. P. 214.

Поступила в редакцию 07.07.2023

Принята к публикации 21.07.2023

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ СВЕТОНЕЗАВИСИМЫХ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В СТАДИИ ПРОРАЩИВАНИЯ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА

Сергей Николаевич Сергеев¹, доктор биологических наук
 Константин Александрович Тараскин¹, доктор химических наук
 Ольга Тарасовна Касаикина², доктор химических наук
 Антон Валерьевич Лобанов^{2,3}, доктор химических наук
 Михаил Иванович Будник⁴, кандидат биологических наук
 Андрей Вячеславович Грудзинский⁴, кандидат технических наук
 Павел Александрович Сорокин¹, кандидат химических наук
 Екатерина Константиновна Барнашова⁵, кандидат сельскохозяйственных наук
 Людмила Магомедовна Апашева², кандидат биологических наук
 Елена Николаевна Овчаренко², кандидат химических наук
 Сергей Владимирович Лебедев¹
 Элла Александровна Щербакова¹
 Юлия Валерьевна Бондар¹
 Ксения Станиславовна Касимцева⁶

¹Научно-исследовательский институт прикладной акустики, г. Дубна, Россия

²ФИЦ химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук, г. Москва, Россия

³Московский педагогический государственный университет, г. Москва, Россия

⁴Российская академия ракетных и артиллерийских наук, г. Москва, Россия

⁵Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

⁶Государственный университет «Дубна», г. Дубна, Россия

E-mail: kant1958@yandex.ru

Аннотация. Исследования биохимических процессов, происходящих в тканях растений, указывают на значимость взаимодействий с участием кислородсодержащих соединений. Пероксид водорода – один из окислительных агентов, обнаруженных в структуре растительных тканей, наиболее стабильное кислородсодержащее вещество. По результатам экспериментальных исследований действия кислородсодержащих соединений, в том числе в качестве активаторов пероксида водорода, введенных в состав увлажняющей жидкости, используемой при проращивании семян культурных растений, установили, что их применение увеличивает активность ростовых процессов. На примере семян огурцов сорта Мазай F1 лучшие показатели установлены у двухкомпонентного водного раствора, содержащего пероксид водорода ($3,5 \times 10^{-5}$ М) и циклогексанон ($1,75 \times 10^{-5}$ М). Прирост в ходе 48-часового эксперимента составил 175% по отношению к опыту сравнения, проведенному в дистиллированной воде. Оценка экологической безопасности предлагаемых растворов, содержащих в своем составе кислородсодержащие соединения, показала, что они безопасны в рекомендуемых концентрациях в качестве увлажняющих жидкостей для проращивания семян.

Ключевые слова: проращивание семян, пероксид водорода, активирующие добавки, окислительные процессы, экологическая безопасность

RESEARCH DEVELOPMENT METHOD OF CHEMICAL ACTIVATION OF LIGHT-INDEPENDENT OXIDATIVE PROCESSES AT THE SEED MATERIAL GERMINATION STAGE

S.N. Sergeev¹, *Grand PhD in Biological Sciences*
 K.A. Taraskin¹, *Grand PhD in Chemical Sciences*
 O.T. Kasaikina², *Grand PhD in Chemical Sciences*
 A.V. Lobanov^{2,3}, *Grand PhD in Chemical Sciences*
 M.I. Budnik⁴, *PhD in Biological Sciences*
 A.V. Grudzinsky⁴, *PhD in Engineering Sciences*
 P.A. Sorokin¹, *PhD in Chemical Sciences*
 E.K. Barnashova⁵, *PhD in Agricultural Sciences*
 L.M. Apasheva², *PhD in Biological Sciences*
 E.N. Ovcharenko², *PhD in Chemical Sciences*
 S.V. Lebedev¹
 E.A. Scherbakova¹
 Yu.V. Bondar¹
 K.S. Kasimtseva⁶

¹Institute of Engineering Acoustics, Dubna, Russia

²N.N. Semenov Federal Research Centre for Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia

⁴Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Moscow, Russia⁵Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia⁶Dubna State University, Dubna, Russia

E-mail: kant1958@yandex.ru

Abstract. Studies of biochemical processes occurring in plant tissues indicate a significant role of interactions involving oxygen-containing compounds. Hydrogen peroxide is one of the oxidizing agents found in the structure of plant tissues, the most stable oxygen-containing substance. According to the results of experimental studies of the action of oxygen-containing compounds, including as activators of hydrogen peroxide, introduced into the composition of the moisturizing liquid used in the germination of seeds of cultivated plants, it was found that their use increases the activity of growth processes. Using the example of cucumber seedlings of the *Mazai F1* variety, the best indicators were found in a two-component aqueous solution containing hydrogen peroxide (3.5×10^{-5} M) and cyclohexanone (1.75×10^{-5} M). The increase during the 48-part experiment was 175% compared to the comparison experiment conducted in distilled water. An assessment of the environmental safety of the proposed solutions containing oxygen-containing compounds in their composition has shown that they are safe in recommended concentrations as moisturizing liquids for seed germination.

Keywords: seed germination, hydrogen peroxide, activating additives, oxidative processes, environmental safety

Ключевую роль в развитии растительных процессов играют биохимические взаимодействия, происходящие под воздействием катализаторов. Процессы метаболизма в клетках живых организмов активно изучали на протяжении многих лет. Однако даже в сфере классических представлений в данном вопросе существуют области, требующие более тщательного изучения и обоснования имеющегося фактического материала. Поэтому важно более глубоко исследовать биохимические взаимодействия, происходящие на определенных стадиях развития живых организмов, в частности, влияние различных внешних факторов, например, рострегулирующих агентов.

Настоящая работа посвящена изучению важности активных химических субстанций, интенсифицирующих окислительные связи в процессе развития зародышей растений при теневой генерации. Окислительные реакции влияют на метаболические взаимодействия в живых организмах, также велика их роль в биохимических превращениях, обеспечивающих рост. [9] Пероксид водорода – один из важных природных окислительных агентов, необходимый для жизнедеятельности растений, наиболее стабильное среди активных форм кислорода низкомолекулярное кислородсодержащее соединение, образующееся в основном в атмосфере Земли, выпадающее с дождевой водой (концентрация – до 10^{-4} M). [8] По наблюдению Д.И. Менделеева, чем слабее раствор перекиси водорода в воде, тем он постояннее. [7] Это фундаментальное условие, обеспечивающее его участие в биологических процессах, в частности, жизнедеятельности растений. Роль этого химического вещества в биохимических превращениях многофункциональна и до конца не изучена. Установлено влияние пероксида водорода на регулирование ряда биохимических процессов в качестве сигнального медиатора, но как источник ряда высокоагрессивных кислородсодержащих агентов (ионы и радикалы), он представляет опасность для клеточных структур живого организма. [10, 11]

При нормальном течении процессов жизнедеятельности, концентрация пероксида в живых клетках невысока (10^{-5} ... 10^{-8} M). Даже в столь малых количествах, это соединение способствует образованию органических гидропероксидов (R-O-O-H) при контакте с содержащимися в тканях растений малыми молекулами и высокомолекулярными со-

единениями (ДНК-структуры, липиды, белки). [6] Они значительно повышают химическую активность молекул, которые в результате дальнейших метаболических взаимодействий участвуют в реакциях с образованием спиртов, эпоксидов, альдегидов и других окси-соединений. Таким образом, введение в зону ростовой активности клеток повышенной концентрации экзогенного пероксида водорода может обеспечить интенсификацию указанных взаимодействий и активацию процесса генезиса.

Это предположение нашло подтверждение в экспериментальных данных, определивших роль активных форм кислорода (АФК) и соединений типа липидных структур (R-O-O-H), при индуцировании процесса деления клеток. [12] Результаты опытов, свидетельствующие об увеличении накопления в тканях живых организмов соединений АФК под действием факторов роста клеток, а также ингибирование или снижение функций этих гормонов при блокаде антиоксидантами, указывают на тесную взаимосвязь наблюдаемых биохимических процессов. Повышение до определенного уровня концентрации пероксида водорода или активация его молекулы в результате структурных преобразований могут способствовать инициации или увеличению активности роста клеток в прорастающих семенах.

Цель работы – установить влияние активирующих добавок на основе окси-соединений с внесением в водный раствор пероксида водорода, используемого в качестве ростактивного соединения, на скорость прорастивания семян культурных растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях использовали семена огурца сорта *Mazai F1*. Опыты закладывали в специальной камере, предотвращающей попадание в область проведения эксперимента различных источников светового излучения. Для исключения влияния теплового эффекта, связанного со спонтанными колебаниями факторов окружающей среды, семена помещали в термостатируемую ячейку с поддержанием постоянной температуры $18,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$.

Поврежденные образцы отбраковывали. Прорастивали семена в чашках Петри. В каждом опыте по 6 семян, их накрывали хлопчатобумажной тканью и заливали 5,0 мл увлажняющего раствора. Дополнительно увлажняли через 18, 24 и 36 ч эксперимента

порциями по 2,5 мл свежеприготовленного раствора того же состава. Среда для увлажнения: дистиллированная (деионизированная) вода, растворы пероксида водорода и растворы с кислородосодержащими добавками, способствующие активации окислительных каталитических процессов. При этом дистиллированная вода была позиционирована в экспериментах для опытов сравнения; растворы пероксида водорода рассматривали в качестве инициаторов окислительных процессов в биологической среде, а в качестве каталитических добавок в растворы вводили химически чистые вещества (диметилкетон, α -бутанон, 1-тетралон, циклогексанон).

Пероксид (перекись) водорода, получаемый в промышленных масштабах по ГОСТ 177-88 «Водорода перекись. Технические условия», содержит токсические стабилизаторы для замедления разложения (серная кислота, мышьяк и другие), которые не позволяют использовать его в растениеводстве, так как они могут быть ингибиторами окислительных процессов. Поэтому в описываемых экспериментах применяли раствор чистого пероксида водорода, полученного методом микроволнового воздействия на дистиллированную воду.

Методика получения раствора чистого пероксида водорода

В ампулу из кварцевого стекла помещают 8 мл дистиллированной воды. Лабораторный прибор микроволнового излучения Biotage Initiator Eight работает в режиме: температура — 40°C, давление — 30 бар. При достижении указанных параметров ампула помещается с помощью привода робота-манипулятора в зону активного воздействия. Содержимое ампулы подвергается микроволновому излучению мощностью 50...60 Вт, частотой — 50...60 ГГц в течение 20 сек. Затем ампулу извлекают из прибора, пробу раствора пероксида водорода направляют на анализ.

Методика анализа раствора пероксида водорода

Содержание пероксида водорода определяли методом титрования. В коническую колбу вместимостью 100 мл вносят пипеткой 20 мл анализируемого раствора с пероксидом водорода. Прибавляют 10 мл 1 М раствора серной кислоты и титруют 0,001 Н (2×10^{-5} М) раствором перманганата калия до появления бледно-розовой окраски, которая должна быть устойчивой в течение 30 сек. По результатам рассчитывают концентрацию пероксида водорода. Предел обнаружения методики — 1×10^{-6} М.

Приготовление экспериментальных растворов

Для работы использовали водные растворы, содержащие активное вещество пероксида водорода с концентрацией $1,75...7,00 \times 10^{-5}$ М. Каталитические добавки диметилкетона, α -бутанона, 1-тетралона, циклогексанона вносили в готовый раствор пероксида водорода в концентрации $1,75 \times 10^{-5}$ М. Все растворы тщательно перемешивали и хранили до начала эксперимента в герметичной стеклянной таре в темноте при температуре 4°C.

Оценивали интенсивность ростовых процессов в стадии прорастивания семян по размеру образовавшегося зародыша (мм). Для упрощения все эксперименты длились 48 ч. В каждом из опытов регистрировали результаты через 12, 24, 36 и 48 ч после размещения семян в увлажненную среду. За

результат измерения в отдельной экспериментальной точке принимали среднее арифметическое значение всех шести образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные по оценке влияния различных природных концентраций пероксида водорода на скорость прорастивания семян представлены на рисунке 1, 2-я стр. обл. В качестве объекта сравнения применяли дистиллированную воду.

На рисунке 2 (2-я стр. обл.) — типичный пример пророщенного семени огурца в течение 48 ч (увлажняющая жидкость — дистиллированная вода), рисунке 3 (2-я стр. обл.) — пример, где в качестве увлажняющей жидкости использовали раствор пероксида водорода (концентрация — $7,00 \times 10^{-5}$ М).

Установлено, что пероксид водорода ускоряет процесс прорастания. Эффективность воздействия на ростовые процессы определяется его концентрацией в растворе.

Наилучшие показатели были достигнуты при использовании раствора с концентрацией пероксида водорода $3,50 \times 10^{-5}$ М, прирост составил 150% ($2,1 \times 100/1,4$), по отношению к опыту сравнения. Увеличение концентрации пероксида водорода до $7,00 \times 10^{-5}$ М приводило к замедлению процесса роста, что согласуется с ранее полученными данными. [1] Снижение содержания пероксида водорода до концентрации $1,75 \times 10^{-5}$ М также замедляло скорость прорастивания семян, по сравнению с концентрацией $3,50 \times 10^{-5}$ М, но менее выражено, чем при $7,00 \times 10^{-5}$ М. Для проведения дальнейших исследований в качестве оптимального был принят раствор пероксида водорода с концентрацией $3,50 \times 10^{-5}$ М.

Известно, что одно из ключевых положений перекисной теории биологического окисления А.Н. Баха, впервые обнаружившего в клетках растений и грибов пероксид водорода (H_2O_2), — необходимость предварительной активации кислородсодержащих молекул в биологических системах, что было в последующем экспериментально подтверждено. [3, 5]

В качестве потенциальных активаторов пероксида водорода в биохимических процессах роста были рассмотрены соединения, содержащие окси-группу (диметилкетон, α -бутанон, 1-тетралон, циклогексанон). Первоначально изучили влияние на процесс прорастивания семян водных растворов этих соединений с концентрацией $1,75 \times 10^{-5}$ М (рис. 4, 2-я стр. обл.).

Вещества диметилкетон, α -бутанон, 1-тетралон, циклогексанон, применяемые в качестве кислородосодержащих водных растворов с концентрацией $1,75 \times 10^{-5}$ М, ускоряли прорастивание семян, по сравнению с увлажняющей жидкостью на основе дистиллированной воды от 121 до 130%, не имея существенных различий между собой по параметру скорости прорастивания.

В следующем эксперименте изучены те же соединения в качестве потенциальных активирующих добавок для раствора пероксида водорода. Для приготовления необходимых смесей к раствору пероксида водорода ($3,50 \times 10^{-5}$ М) добавляли расчетную навеску окси-соединения для достижения содержания в растворе концентрации $1,75 \times 10^{-5}$ М. Сравнительная оценка влияния на скорость про-

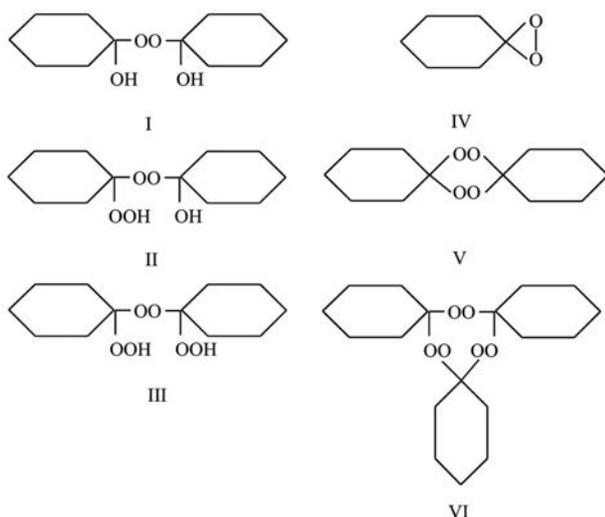


Рис. 7. Структурное строение соединений, образующихся при взаимодействии пероксида водорода и циклогексанона в водном растворе.

ращивания семян двухкомпонентных водных растворов на основе пероксида водорода представлена на рисунке 5 (2-я стр. обл.).

На рисунке 6 (2-я стр. обл.) типичный пример пророщенного семени огурца с использованием в качестве увлажняющей жидкости двухкомпонентного водного раствора на основе пероксида водорода и добавкой циклогексанона.

Установлено, что диметилкетон не оказывает влияния как активатор пероксида водорода на прорастивание семян огурца в то время, как другие вещества, содержащие окси-группы (α -бутанон, 1-тетралон, циклогексанон), увеличивают показатели ростовых процессов. Наилучшие результаты в 48-часовом эксперименте зарегистрированы при использовании в качестве увлажняющего раствора двухкомпонентной смеси, содержащей $3,50 \times 10^{-5}$ М пероксида водорода и $1,75 \times 10^{-5}$ М циклогексанона в воде. Прирост в этом случае составил 175% ($2,45 \times 100 / 1,4$), по отношению к опыту сравнения, проведенному в дистиллированной воде.

Возможно лучший биоэффект при добавлении к пероксиду водорода именно циклогексанона обусловлен дополнительным образованием разнообразных кислородосодержащих соединений второго порядка (рис. 7, I–VI) при окислении циклогексанона пероксидом водорода. [4]

Наличием и потенциально высокой биологической активностью разнообразных кислородосодержащих соединений, образующихся при взаимодействии пероксида водорода и циклогексанона в водном растворе, можно объяснить высокий стимулирующий эффект ростовой активности получаемых растворов, что наглядно продемонстрировано на примере прорастивания семян огурцов сорта *Мазай F1*. Отсутствие подобных биологически активных структур в растворах, содержащих пероксид водорода и диметилкетон, определяют их более низкие показатели стимулирования процессов прорастания семян.

Замачивание семян – операция, осуществляемая в начальный период генезиса растений, сбор

и потребление продукции растениеводства – в заключительной стадии вегетации. Поэтому, учитывая низкую стабильность предлагаемых кислородсодержащих активаторов в объектах окружающей среды, можно полагать, что они безопасны при их использовании в рекомендуемых концентрациях в составе увлажняющих жидкостей для проращивания семян. [2] Концентрация применяемого в опытах пероксида водорода не превышает максимальный природный уровень в дождевой воде.

Таким образом, экспериментальные исследования по оценке влияния ряда кислородсодержащих соединений, в том числе в качестве активаторов пероксида водорода, введенных в состав увлажняющей жидкости, используемой в процессе проращивания семян культурных растений, показали, что они увеличивают активность ростовых процессов.

Полученные результаты можно рассматривать как важный шаг в поиске новых подходов к химической активации светонезависимых окислительных процессов в стадии проращивания семенного материала, направленных на повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Апашева Л.М., Будник М.И., Лобанов А.В. и др. Экологически чистый пероксид водорода: получение, рострегулирующие свойства // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2021. Т. 6. № 2. С. 358–361.
2. Барнашова Е.К., Назаров Г.В., Тараскин К.А. и др. Выбор метода контроля динамики накопления экотоксикантов в объектах окружающей среды // Доклады Академии военных наук. 2008. № 4 (33). С. 37–39.
3. Бах А.Н. Собрание трудов по химии и биохимии. М.: АН СССР, 1950. 648 с.
4. Гайфуллин А.А., Тунцева С.Н., Гайфуллин Р.А. и др. Получение пероксида циклогексанона с использованием пероксидсодержащих сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 15. С. 26–30.
5. Гесслер Н.Н., Аверьянов А.А., Белозерская Т.А. Активные формы кислорода в регуляции развития грибов // Биохимия. 2007. Т. 72. Вып. 10. С. 1342–1364.
6. Лушак В.И. Свободнорадикальное окисление белков и его связь с функциональным состоянием организма // Биохимия. 2007. Т. 72. Вып. 8. С. 995–1017.
7. Менделеев Д.И. Основы химии. 12-е изд. М.-Л.: Госхимтехиздат, 1934.
8. Стребков Д.С., Будник М.И., Душков В.Ю. и др. Повышение урожайности озимой пшеницы с помощью экологически чистого водного раствора пероксида водорода природной концентрации // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 4. С. 64–67. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/4/64-67, EDN: BJSFKJ
9. Турпаев К.Т. Активные формы кислорода и регуляция экспрессии генов // Биохимия. 2002. Т. 67. Вып. 3. С. 339–352.
10. Шлапакова Т.И., Костин Р.К., Тягунова Е.Е. Активные формы кислорода: участие в клеточных процессах и развитии патологии // Биоорганическая химия. 2020. Т. 46. № 5. С. 466–485.
11. Lander H.M. An essential role for free radicals and derived species in signal transduction // FASEB J. 1997. V. 11. № 1. P. 118–124.

12. Suzuki Y.J., Forman H.J., Sevanian A. Oxidants as stimulators of signal transduction // *Free Radical Biol. Med.* 1996. V. 22. № 1/2. P. 269–285.

REFERENCES

1. Apasheva L.M., Budnik M.I., Lobanov A.V. i dr. Ekologicheski chistoy peroxid vodoroda: poluchenie, rostreguliruyushchie svoystva // *Aktual'nye voprosy biologicheskoy fiziki i himii.* 2021. T. 6. № 2. S. 358–361.
2. Barnashova E.K., Nazarov G.V., Taraskin K.A. i dr. Vybora metoda kontrolya dinamiki nakopleniya ekotoksikantov v ob'ektah okruzhayushey sredy // *Doklady Akademii voennykh nauk.* 2008. № 4 (33). S. 37–39.
3. Bach A.N. *Sobranie trudov po himii i biologii.* M.: AN SSSR, 1950. 648 s.
4. Gayfulin A.A., Tunsceva S.N., Gayfulin R.A. i dr. Poluchenie peroksida cyklogexanona s ispol'zovaniem peroxidsoderzashchih stochnih vod // *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta.* 2012. T. 15. № 15. S. 26–30.
5. Gesler N.N., Aver'yanov A.A., Belozerskaya T.A. Aktivnie formi kisloroda v regulyacii razvitiya gribov // *Biohimiya.* 2007. T. 72. Vyp. 10. S. 1342–1364.
6. Luschak V.I. Svobodno-radikal'noe okislenie belkov i ego svyaz' s funkcional'nim sostoyaniem organizma // *Biohimiya.* 2007. T. 72. Vyp. 8. S. 995–1017.
7. Mendeleev D.I. *Osnovi himii.* Isdanie 12. M.-L.: Goshmizdat, 1934.
8. Strebkov D.S., Budnik M.I., Dushkov V.U. i dr. Povysheniye urozaynosti ozimoy pshenicy s pomoschyu ekologicheskoi chistogo vodnogo rastvora peroksida vodoroda prirodnoy koncentracii // *Vestnik Rossiyskoy sel'skohozyaystvennoy nauki.* 2022. № 4. S. 64–67. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/4/64-67, EDN: BJSFKJ.
9. Turpaev K.T. Aktivnie formi kisloroda i regulyaciya ekspressii genov // *Biohimiya.* 2002. T. 67. Vyp. 3. S. 339–352.
10. Shlapakova T.I., Kostin R.K., Tyagunova E.E. Aktivnie formi kisloroda: uchastie v kletochnih processah i razvitiy patologii // *Bioorganicheskaya himiya.* 2020. T. 46. № 5. S. 466–485. DOI: 10.31857/S013234232005022X.
11. Lander H.M. An essential role for free radicals and derived species in signal transduction // *FASEB J.* 1997. V. 11. № 1. P. 118–124.
12. Suzuki Y.J., Forman H.J., Sevanian A. Oxidants as stimulators of signal transduction // *Free Radical Biol. Med.* 1996. V. 22. № 1/2. P. 269–285.

Поступила в редакцию 20.07.2023

Принята к публикации 03.08.2023

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У СОРТОВ СОИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Елена Васильевна Гуреева, кандидат сельскохозяйственных наук

Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
с. Подвьязь, Рязанская обл., Россия
E-mail: elenagureeva@bk.ru

Аннотация. Изучено формирование урожая новых раннеспелых сортов сои Георгия, Славянка и Снежана в условиях лесостепной агроклиматической зоны Центрального Нечерноземья РФ и представлена оценка влияния гидротермических условий на изменчивость и сопряженность агрономических признаков растения. Полевые опыты проведены в 2020–2022 годах в Институте семеноводства и агротехнологий – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Рязанская обл.). Почва темно-серая лесная, тяжелосуглинистая, среднего уровня плодородия (гумус – 4,54%), со средним содержанием обменного калия и подвижного фосфора. Посредством корреляционного анализа установлена существенная положительная связь продолжительности вегетационного периода с ГТК ($r = 0,916 \pm 0,09$), среднесуточной температурой августа ($r = 0,896 \pm 0,04$). Высота растений и прикрепления нижнего боба в сортовом разрезе изменялись в средней степени ($V = 7,96–21,38\%$). Наибольшая изменчивость по годам отмечена по числу бобов ($V = 31,92\%$) и массе семян на растении ($V = 38,03\%$). Меньше всего за годы исследований различалась масса 1000 семян ($V = 8,54–13,38\%$). Урожайность изученных сортов напрямую связана с числом бобов и семян на растении, не имеет достоверных связей с высотой растения. Результаты использованы при разработке сортовых технологий возделывания сои в условиях Рязанской области.

Ключевые слова: соя, урожайность, хозяйственно ценные признаки, Рязанская область

STUDY OF THE SOYBEAN VARIETIES QUANTITATIVE TRAITS VARIABILITY IN THE CENTRAL NON-BLACK EARTH REGION CONDITIONS

E.V. Gureeva, PhD in Agricultural Sciences

Institute of Seed Production and Agrotechnologies –
branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”,
Podvyazye, Ryazan region, Russia
E-mail: elenagureeva@bk.ru

Abstract. In the experiments, the formation of the yield of new early-ripening soybean varieties Georgiy, Slavyanka and Snezhana under the conditions of the Central Non-Chernozem Region was studied and an assessment was made of the influence of hydrothermal conditions on the variability and conjugation of soybean agronomic traits. Field experiments were carried out in 2020–2022. at the Institute of Seed Production and Agrotechnologies, a branch of the FGBNU FNAC VIM (Ryazan region), located in the forest-steppe agro-climatic zone of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. The soil is dark gray forest, heavy loamy in granulometric composition, of medium fertility (humus content – 4.54%), with an average content of exchangeable potassium and mobile phosphorus. Through correlation analysis, a significant positive relationship was established between the duration of the growing season and the HTC ($r = 0.916 + 0.09$), with the average daily temperature in August ($r = 0.896 + 0.04$). The height of plants and the height of attachment of the lower bean in the varietal section changed to an average degree ($V = 7.96–21.38\%$). The greatest variability over the years was noted for the number of beans ($V = 31.92\%$) and the weight of seeds per plant ($V = 38.03\%$). The weight of 1000 seeds changed the least during the years of the study ($V = 8.54–13.38\%$). The yield of the studied varieties is directly related to the number of beans and seeds per plant, and has no significant relationship with the height of the plant. The results of the research were used in the development of varietal technologies for the cultivation of soybeans in the conditions of the Ryazan region.

Keywords: soybeans, productivity, economically valuable traits, Ryazan region

Соя – это древнейшее растение, которое возделывает человек. С развитием науки и новых производственных и перерабатывающих мощностей появляются современные направления ее применения. Она используется как продовольственная, кормовая и техническая культура, а также в фармацевтических и медицинских целях. Соя становится одним из главных растительных объектов в развивающейся биоэкономике, представляет собой сырье, которое служит для производства биотоплива и органических волокон. В мире возрождается интерес к распространению в древности на Востоке использованию соевых бобов, как овощной культуры. [1]

По данным Росстата в 2021 году общая площадь, засеянная масличными агрокультурами, выросла на 15% (с 14,3 до 16,5 млн га). Максимальный прирост обеспечил подсолнечник, соя заняла около 3 млн га (в 2020 – 2,8 млн га). [12] В Российской Федерации основные регионы возделывания сои: Дальний Восток, Краснодарский край и Центрально-Черноземный регион. В Нечерноземной зоне она отнесена к малораспространенным культурам. [11]

Реализация потенциала сельскохозяйственных растений в значительной степени зависит от условий произрастания и особенностей генотипа. Лимитирующий фактор при возделывании сои –

недостаточная обеспеченность влагой из-за неравномерного ее распределения по фазам развития растений. [9] В процессе селекции большое внимание уделено оценке различных биологических параметров и их взаимодействия. Установлена положительная корреляция между урожайностью и продолжительностью вегетационного периода масличных культур. [2, 7] При этом информативность анализа поведения генотипов определяется использованием корректных статистических показателей. [5]

Проведенный корреляционный анализ взаимосвязи урожайности сортов с основными климатическими факторами региона возделывания сои показал степень влияния различных метеорологических условий на формирование урожайности изученных сортов. [3, 6]

При внедрении новых технологий возделывания значение сорта сохранилось. Он остается не только средством повышения урожайности, но и становится фактором, без которого невозможно реализовать достижения науки и техники. Чем оптимальнее и на более высоком уровне в новом сорте сочетаются самые важные биологические, хозяйственные и технологические свойства, тем он имеет большую ценность. [10]

Учитывая то, что в последние годы созданы и внесены в Государственный реестр селекционных достижений РФ новые сорта сои, обладающие более высоким потенциалом продуктивности семян и сочетанием хозяйственно ценных признаков, необходимо их изучить по комплексу биологических параметров.

Цель работы – оценить изменчивость и сопряженность агрономических признаков новых сортов сои в зависимости от гидротермических условий региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2020–2022 годах на поле отдела селекции и первичного семеноводства ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Рязанская обл.), расположенном в лесостепной агроклиматической зоне Центрального Нечерноземья РФ. Почва темно-серая лесная, тяжелосуглинистая. Агрохимические показатели: рН_{соп.} – 4,54, рН_{гидролит.} – 4,92 мг-экв/100 г, гумус – 5,3% (по Тюрину), азот общий – 0,25%, азот гидролизный – 122,8 мг/кг, подвижный фосфор – 340 мг/кг почвы (по Кирсанову), обменный калий – 192 мг/кг почвы (по Кирсанову).

Объект изучения – сорта сои *Геоργия*, *Славянка* и *Снежана* (оригинатор ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

Геоργия включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ для использования в Волго-Вятском и Центрально-Черноземном регионах с 2017 года. Сорт раннеспелый, период вегетации – 94...105 дн. Содержание сырого протеина – 38...45%, жира – 16...18%, обладает высокой устойчивостью к семядольному бактериозу и септориозу.

Славянка включен в Государственный реестр селекционных достижений по Волго-Вятскому региону с 2021 года. Сорт раннеспелый, вегетационный период – 92...103 дня. Содержание сырого протеи-

на в семенах – 39...41%, жира – 18...20%, устойчив к растрескиванию бобов после созревания и осыпанию семян, отзывчив на нитрагинизацию.

Снежана включен в Государственный реестр селекционных достижений по Центральному и Волго-Вятскому регионам с 2023 года. Сорт раннеспелый, вегетационный период – 93...108 сут. Содержание белка в семенах – 37...44%, жира – 16...20%, обладает высокой устойчивостью к семядольному бактериозу и септориозу.

Для характеристики уровня влагообеспеченности рассчитывали гидротермический коэффициент (ГТК). Данные математически обрабатывали по Б.А. Доспехову. [4] Определение содержания масла

Таблица 1.
Условия вегетационного периода сои, по годам

Месяц	Декада	Среднесуточная температура, °С			Осадки, мм		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022
Май	I	14,7	12,8	12,3	27,7	26,9	19,6
	II	11,9	21,2	12,4	8,1	6,6	16,4
	III	15,5	17,4	15,4	21,3	9,0	13,6
Июнь	I	18,9	18,1	20,7	71,0	62,5	17,1
	II	23,1	22,5	20,9	11,7	6,6	15,6
	III	20,6	28,9	22,5	30,2	3,2	8,0
Июль	I	24,6	25,0	25,4	17,9	9,7	0
	II	21,3	29,6	22,1	31,2	0	8,7
	III	21,7	23,2	24,4	6,4	31,4	7,3
Август	I	21,1	25,6	25,5	31,9	0,4	12,0
	II	17,1	24,3	24,5	27,6	19,5	0
	III	21,5	21,1	26,6	6,5	4,9	0,8

Таблица 2.
Сопряженность (r) основных показателей сортов сои с гидротермическими условиями вегетационного периода, по годам

Показатель	ГТК				
	май	июнь	июль	август	май-август
<i>Геоργия</i>					
Вегетационный период, дн.	-0,051	0,319	0,439	0,411	0,925
Высота растения, см	-0,195	0,919	0,404	-0,087	0,872
Масса 1000 семян, г	-0,449	0,391	0,878	0,288	0,697
Масса семян с одного растения, г	-0,104	0,455	0,938	-0,276	0,872
Урожайность, т/га	0,006	0,701	0,118	0,053	0,231
<i>Славянка</i>					
Вегетационный период, дн.	-0,516	0,562	0,664	-0,094	0,715
Высота растения, см	-0,226	0,908	0,452	0,061	0,744
Масса 1000 семян, г	-0,352	0,179	0,639	0,178	0,282
Масса семян с одного растения, г	-0,320	-0,214	0,659	0,318	0,490
Урожайность, т/га	-0,032	0,884	0,117	-0,032	0,481
<i>Снежана</i>					
Вегетационный период, дн.	-0,115	0,741	0,379	0,178	0,916
Высота растения, см	-0,065	0,817	0,347	0,203	0,654
Масса 1000 семян, г	-0,797	0,227	0,998	-0,100	0,460
Масса семян с одного растения, г	-0,665	0,595	0,826	-0,149	0,436
Урожайность, т/га	-0,023	0,807	0,216	0,114	0,492

*r – коэффициент корреляции, критическое значение r на 5% уровне значимости – 0,878

Таблица 3.

Изменчивость хозяйственно ценных признаков сортов сои, по годам

Признак	Сорт	Год			X	V, %
		2020	2021	2022		
Высота растений, см	Геоργия	89	71	68	76	14,94
	Славянка	87	74	57	73	20,70
	Снежана	101	95	78	91	13,06
Высота прикрепления нижнего боба, см	Геоργия	14,3	13,0	11,4	12,9	11,26
	Славянка	12,4	12,3	9,5	7,7	21,38
	Снежана	13,2	14,3	12,2	13,2	7,96
Число продуктивных узлов, шт.	Геоργия	12,8	17,2	10,9	13,6	23,76
	Славянка	17,8	16,3	12,6	15,6	17,16
	Снежана	17,6	13,3	10,5	13,8	25,92
Количество бобов, шт.	Геоργия	41,4	29,9	21,7	31,0	31,92
	Славянка	42,1	38,5	25,7	35,4	24,35
	Снежана	44,0	38,9	29,3	37,4	19,96
Масса семян с одного растения, г	Геоργия	9,4	6,1	9,1	8,2	22,25
	Славянка	16,1	14,9	7,2	12,7	38,03
	Снежана	10,0	7,8	6,7	8,2	20,49
Масса 1000 семян, г	Геоργия	126	148	131	135	8,54
	Славянка	182	184	182	183	0,63
	Снежана	159	149	122	143	13,38

и белка в семенах проводили методом инфракрасной спектроскопии на анализаторе цельного зерна Infracore 1241.

Вегетационные периоды за годы исследований существенно различались по метеорологическим условиям (табл. 1). Вегетационный период 2020 года достаточно увлажненный (ГТК = 1,34), 2021 – засушливый (ГТК = 0,68), 2022 – очень засушливый (ГТК = 0,38).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На длину вегетационного периода и продуктивность растения влияют многие факторы, в том числе температура и влагообеспеченность. Посредством корреляционного анализа установлена существенная положительная связь продолжительности вегетационного периода с ГТК ($r = 0,916 \pm 0,09$), со среднесуточной температурой августа ($r = 0,896 \pm 0,04$). Наибольшая вариабельность вегетационного периода была по годам исследований, чем по сортам в пределах одного года, что обусловлено сортовой реакцией на определенный температурно-влажностный режим. Вариабельность вегетации в разные годы изучения составила 12,0%, а в пределах одного года между сортами – 4,37%.

Высота растения считается одним из основных признаков, который определяет технологичность сортов и пригодность к механизированному возделыванию. Отмечено, что высота растений у сои связана с продолжительностью ее вегетации. [8] Анализ корреляционных связей (табл. 2) показал, что у всех сортов формирование данного признака в сильной степени зависело от гидрометеорологических условий, складывающихся в июне ($r = 0,817 \dots 0,919$).

Высота прикрепления нижнего боба в сортовом разрезе изменялась в средней степени ($V = 7,96 \dots 21,38\%$). Высота растения, в зависимости от погодных условий, варьировала от 57 у *Славянки* (2022 год) до 101 см у *Снежаны* (2020), изменчивость по годам – 13,06...20,70% (табл. 3). Наибольшая изменчивость отмечена по числу бобов ($V = 19,96 \dots 31,92\%$) и массе семян на растении ($V = 20,49 \dots 38,03\%$). Меньше всего варьировала масса 1000 семян, наиболее стабильным показателем характеризовался сорт *Славянка*. Масса 1000 семян и продуктивность растения зависит от ГТК июля: существенная корреляционная связь у *Геоργии* и *Снежаны*, у *Славянки* – зависимость средняя ($r = 0,639$).

Анализ корреляционных связей между хозяйственными признаками сои в 2020–2022 годах позволил установить уровень их взаимодействия и влияния на основной признак, урожайность семян. Он напрямую связан с числом бобов и семян на растении, не имел достоверных связей с высотой растения. В засушливом 2022 году зависимость между урожайностью и массой 1000 семян слабая ($r = 0,212 \pm 0,07$), в увлажненном 2020 – средняя ($r = 0,682 \pm 0,03$), но с массой семян с растения – слабая ($r = 0,258 \pm 0,09$).

В то же время, были годы с невысоким ГТК за вегетацию, но урожайность была достаточно высокая. Это обусловлено тем фактором, что в начале генеративного развития и формирования репродуктивных органов выпало достаточное количество осадков, благодаря чему был заложен потенциал будущей высокой урожайности. Примером такого года может быть 2021, когда урожайность по сортам сформировалась на уровне 1,77...2,0 т/га (ГТК – 0,68).

Выводы. Исследования показали, что изменчивость погодных условий в разные годы и на индивидуальных этапах продукционного процесса оказывала влияние на вариабельность элементов продуктивности, формирующихся на данном этапе онтогенеза, и в конечном итоге – на величину урожайности семян и ее стабильность. Одно из направлений управления продукционным процессом при возделывании сои в условиях Центрального региона РФ – подбор сорта, адаптированного к ус-

Таблица 4.

Урожайность и качество семян сортов сои, по годам

Сорт	Урожайность, т/га					Содержание, %	
	2020	2021	2022	X	V, %	сырой протеин	сырой жир
						ГОСТ 10846-91	ГОСТ 13496.15-97
Геоργия	2,17	1,89	1,58	1,88	15,7	37,2+0,46	22,3+0,29
Славянка	2,21	2,0	1,79	2,0	10,5	38,7+0,53	20,5+0,18
Снежана	1,96	1,77	1,58	1,77	10,7	40,0+0,59	21,0+0,29
НСР _{0,5}	0,17	0,14	0,09				

ловиям региона и в меньшей степени реагирующего на возможную неблагоприятную погоду, благодаря присущим ему биологическим особенностям. Полученная в результате исследований информация использована при разработке сортовых технологий возделывания сои в Рязанской области.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Самсонова М.Г. Требования к исходному материалу для селекции сои в контексте современных биотехнологий // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 5. С. 905–916. DOI: 10.15389/agrobology.2017.5.905rus
2. Головина Е.В., Зотиков В.И. Влияние погодных условий на производственный процесс у сортов сои северного экотипа // Сельскохозяйственная биология. 2013. № 6. С. 112–118.
3. Гуреева Е.В. Влияние метеорологических условий на хозяйственно ценные признаки сои // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 28–31. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/28-31
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Дьяков А.Б. Биометрические оценки адаптивности сортов сои // Масличные культуры. 2007. Вып. 136 (1). С. 31–41.
6. Иванова И.Ю., Фадеев А.А. Влияние погодных условий на урожайность сои в условиях Волго-Вятского региона // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4 (36). С. 93–98. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11210
7. Клочков А.В., Соломко О.Б., Клочкова О.С. Влияние погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 101–105.
8. Тевченков А.А., Федорова З.С. Оценка пригодности различных сортов сои к возделыванию в условиях Центрального района Нечерноземья РФ // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (6). С. 796–804.
9. Фадеев А.А., Фадеева М.Ф. Слагающие величины продуктивности сои и параметры модели нового сорта северного экотипа для условий 56 с.ш. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2012. № 3 (28). С. 13–17.
10. Kovacik A., Skalond V. The proportion of the variability component caused by the environment and the correlations of economically important properties and characters of the sunflower (*Helianthus annuus* L.) // Science Agricultural Bohemoslov. 1972. № 4. P. 249–261.
11. Kurbanov R., Panarina V., Polukhin A. i. dr. Evaluation of Field Germination of Soybean Breeding Crops Using Multispectral Data from UAV // Agronomy. 2023. № 13(5). С. 1348–1352. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051348> <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.796-804>
12. <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/36271-rosstat-utochnil-itogi-posevnoy-pod-urozhay-2021-goda/> (дата обращения 15.04.2023).

REFERENCES

1. Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Samsonova M.G. Trebovaniya k iskhodnomu materialu dlya selekcii soi v kontekste sovremennyh biotekhnologiy // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2017. T. 52. № 5. S. 905–916. DOI: 10.15389/agrobology.2017.5.905rus
2. Golovina E.V., Zotikov V.I. Vliyanie pogodnyh uslovij na produkcionnyj process u sortov soi severnogo ekotipa // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2013. № 6. S. 112–118.
3. Gureeva E.V. Vliyanie meteorologicheskikh uslovij na hozyajstvenno cennye priznaki soi // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2021. № 1. S. 28–31. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/28-31
4. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
5. D'yakov A.B. Biometricheskie ocenki adaptivnosti sortov soi // Maslichnye kul'tury. 2007. Vyp. 136 (1). S. 31–41.
6. Ivanova I.Yu., Fadeev A.A. Vliyanie pogodnyh uslovij na urozhajnost' soi v usloviyah Volgo-Vyatskogo regiona // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 4 (36). S. 93–98. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11210
7. Klochkov A.V., Solomko O.B., Klochkova O.S. Vliyanie pogodnyh uslovij na urozhajnost' sel'skohozyajstvennyh kul'tur // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2019. № 2. S. 101–105.
8. Tevchenkov A.A., Fedorova Z.S. Ocenka prigodnosti razlichnyh sortov soi k vozdelivaniju v usloviyah Central'nogo rajona Nечернозем'ya RF // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. № 23 (6). S. 796–804.
9. Fadeev A.A., Fadeeva M.F. Slagayushchie velichiny produktivnosti soi i parametry modeli novogo sorta severnogo ekotipa dlya uslovij 56 s.sh. // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2012. № 3 (28). S. 13–17.
10. Kovacik A., Skalond V. The proportion of the variability component caused by the environment and the correlations of economically important properties and characters of the sunflower (*Helianthus annuus* L.) // Science Agricultural Bohemoslov. 1972. № 4. P. 249–261.
11. Kurbanov R., Panarina V., Polukhin A. i. dr. Evaluation of Field Germination of Soybean Breeding Crops Using Multispectral Data from UAV // Agronomy. 2023. № 13 (5). S. 1348–1352. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051348> <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.796-804>
12. <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/36271-rosstat-utochnil-itogi-posevnoy-pod-urozhay-2021-goda/> (data obrashcheniya 15.04.2023).

*Поступила в редакцию 17.07.2023
Принята к публикации 31.07.2023*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АБИОТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПИТАНИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ СОИ

Евгения Валерьевна Банецкая, кандидат сельскохозяйственных наук
Валентина Тимофеевна Синеговская, академик РАН, профессор, заслуженный деятель науки РФ
Екатерина Тарасовна Наумченко, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», г. Благовещенск, Амурская область, Россия
E-mail: valsin09@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты эксперимента в длительном стационарном опыте с минеральными удобрениями, заложенном в 1962–1964 годах на луговой черноземовидной почве в с. Садовое Тамбовского района Амурской области (2020–2022 годы). Объект изучения – посевы скороспелого сорта сои Сентябрька (четвертая культура в пятипольном севообороте). Цель работы – оценка влияния внешних факторов на поступление и содержание питательных элементов, продуктивность и биологическую урожайность семян сои в системе длительного применения удобрений. Из абиотических факторов положительное действие на рост и развитие растений оказали накопление тепла и количество осадков. Лучшие условия для формирования высокого урожая сложились в 2021 году из-за выпадения достаточного количества осадков в июле (104 мм) и августе (194 мм), что способствовало активному формированию бобов и семян. Антропогенный фактор внесения удобрений благоприятно воздействовал на количество и массу семян с одного растения. Среднегодовые нагрузки $N_{24}P_{30}K_{24}$, $N_{42}P_{48}$ и $N_{24}P_{30}$ + навоз 4,8 т/га обеспечили увеличение, по сравнению с контролем, количества семян на 3,6–3,7, массы – 2,3–3,4%, массы 1000 семян – 0,9–4,8 г. Положительное влияние удобрений на питание растений привело к повышению биологической урожайности семян, самая высокая – в 2020 и 2021 годах. В среднем за три года отмечена стабильная тенденция к ее увеличению на фоне действия и последствия удобрений на 0,23–0,68 т/га с коэффициентами варьирования от 2,1 до 10,4% в зависимости от среднегодовой нагрузки удобрениями.

Ключевые слова: соя, минеральное питание, удобрения, урожайность, длительный стационарный опыт

ASSESSMENT OF THE ABIOTIC AND ANTHROPOGENIC INFLUENCE ON SOYBEAN NUTRITION AND YIELD

E.V. Banetskaya, PhD in Agricultural Sciences
V.T. Sinegovskaya, Academician of the RAS, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation
E.T. Naumchenko, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor
Federal Scientific Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Amur region, Russia
E-mail: valsin09@gmail.com

Abstract. The research was carried out in a long-term stationary experiment with mineral fertilizers, laid in 1962–1964 on meadow chernozem-like soil in Sadovoye village of the Tambov district of the Amur region, in 2020–2022. The object of the study was the crops of the precocious soybean variety Sentyabrinka, which is the fourth crop of the five-field crop rotation. The aim of the research was to study the influence of external factors on the intake and content of nutrients, productivity and biological yield of soybean seeds in the system of long-term use of fertilizers. Of the abiotic factors, the accumulation of heat and precipitation had a positive effect on the growth and development of soybean plants of the September variety, the intake of mineral nutrition elements from the soil. The most favorable conditions for the formation of a high yield were formed in 2021, due to sufficient precipitation in July (104 mm) and August (194 mm), which contributed to the active formation of beans and seeds in early-ripening plants. The anthropogenic factor of fertilization had a positive effect on the number and weight of seeds from one plant. The average annual loads of $N_{24}P_{30}K_{24}$, $N_{42}P_{48}$ and $N_{24}P_{30}$ + manure 4.8 t/ha provide an increase in the number of seeds by 3.6–3.7 compared to the control, and the weight by 2.3–3.4%, depending on the average annual load of fertilizers. At the same time, the mass of 1000 seeds was greater than in the control by 0.9–4.8 g. The positive effect of fertilizers on plant nutrition led to an increase in the biological yield of seeds, which was the highest in the weather conditions of 2020 and 2021. On average, over 3 years of research, there was a stable tendency to increase biological yield against the background of the action and aftereffect of fertilizers by 0.23–0.68 t/ha with coefficients varying by years from 2.1 to 10.4%, depending on the average annual load of fertilizers.

Keywords: soy, mineral nutrition, fertilizers, yield, long-term stationary experience

Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур возможно, если использовать средства воспроизводства почвенного плодородия. [11, 15] Минеральное питание – один из основных регулируемых факторов, применяемых для целенаправленного управления ростом и развитием растений. Необходимо создание оптимальной по сбалансированности элементов системы удо-

брений, эффективность действия которой можно оценить по экспериментальным данным за десятки лет. [5, 9, 12, 13, 16]

Цель работы – изучить влияние внешних факторов на поступление и содержание питательных элементов, продуктивность и биологическую урожайность семян сои в системе длительного применения удобрений.

Таблица 1.

Схема длительного стационарного опыта

Вариант	Внесено удобрений, кг д. в.		Овес	Соя	Пшеница	Соя	Пшеница
	в среднем за год на 1 га с/о площади	в сумме за ротацию					
1	Без удобрений	Без удобрений	-	-	-	-	-
2	P ₃₀	P ₁₅₀	P ₃₀	P ₆₀	P ₆₀	-	-
3	N ₂₄	N ₁₂₀	N ₆₀	N ₃₀	N ₃₀	-	-
4	N ₂₄ P ₃₀	N ₁₂₀ P ₁₅₀	N ₆₀ P ₃₀	N ₃₀ P ₆₀	N ₃₀	P ₆₀	-
5	N ₂₄ P ₃₀ K ₂₄	N ₁₂₀ P ₁₅₀ K ₁₂₀	N ₆₀ P ₃₀ K ₆₀	N ₃₀ P ₆₀ K ₃₀	N ₃₀ P ₃₀	P ₆₀	-
6	N ₄₂ P ₄₈	N ₂₁₀ P ₂₄₀	N ₆₀ P ₆₀	N ₆₀ P ₉₀	N ₆₀ P ₉₀	-	N ₃₀
7	N ₄₂ P ₄₈	N ₂₁₀ P ₂₄₀	N ₆₀ P ₆₀	N ₃₀ P ₆₀	N ₆₀ P ₆₀	P ₃₀	N ₃₀ P ₃₀
8	N ₄₂ P ₄₈	N ₂₁₀ P ₂₄₀	N ₉₀ P ₉₀	P ₆₀	N ₆₀ P ₃₀	P ₃₀	N ₆₀ P ₃₀
9	N ₂₄ P ₃₀ + навоз 4,8т	N ₁₂₀ P ₁₅₀ + навоз 24т	N ₆₀ P ₃₀ + навоз 12 т	N ₃₀ P ₆₀	N ₃₀	P ₆₀ + навоз 12 т	-

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в длительном стационарном опыте ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои, заложенном в 1962–1964 годах на луговой черноземовидной почве в с. Садовое Тамбовского района Амурской области (2020–2022 годы). Объект изучения – посевы скороспелого сорта сои *Сентябринка*, четвертой культуры пятипольного севооборота (табл. 1).

Повторность в опыте трехкратная, общая площадь делянки – 180 м², учетная – 60 м². Посев – III декада мая при прогреве почвы до 10°С по зяблевой вспашке в комплексе с весенней культивацией и боронованием, норма высева – 550 тыс. всх. сем./га. Фосфорные удобрения применяли в форме двойного суперфосфата в соответствии со схемой опыта. В качестве органического удобрения вносили полуперепревший навоз крупного рогатого скота. Почвенные образцы отбирали по фазам развития сои тростевидным буром в 17...20 точках учетной площади делянки. Подвижный фосфор и калий определяли по А.Т. Кирсанову, минеральный азот (сумма обменного аммония и нитратного азота) – методом ЦИНАО. Биологическую урожайность и продуктивность растений сои устанавливали методом отбора снопов с постоянных площадок каждой делянки опыта. [14] Статистическую обработку урожайных и агрохимических данных проводили по Б.А. Доспехову. [3] Коэффициент варьирования урожайности по годам исследования рассчитывали по формуле, предложенной И.В. Кобозевым, В.А. Тюльдюковым и Н.В. Парахиным [8]:

$$K_B = \frac{\sum_{t=1}^{t=n} |\bar{Y} - Y_t|}{\bar{Y} \cdot t \cdot 2} \cdot 100 \%$$

где \bar{Y} – средняя урожайность (содержание элемента питания); Y_t – урожайность в каждом году; t – число лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели элементов продуктивности растений зависят от антропогенных факторов (внесение минеральных удобрений) и погодно-климатических условий выращивания. Недостаток влаги в почве негативно сказывается на процесс формирования

корневой системы и работу клубеньковых бактерий сои, от которых зависит количество фиксируемого азота воздуха в симбиозе с растениями и поступление питательных веществ. [7]

Положительное влияние на рост и развитие растений сои сорта *Сентябринка* в период всходы-третий тройчатый лист оказали накопление тепла и количество осадков в июне 2020 и 2022 годов (табл. 2).

Суммы активных температур и осадков создавали благоприятные условия для начального роста и развития растений сои, а также нарастания вегетативных и репродуктивных органов в дальнейшем. Для формирования генеративных органов и плодотворения сои необходима оптимальная (18...22°С) среднесуточная температура воздуха. [2, 4] В 2020 и 2022 годах среднемесячная температура воздуха в июле превышала оптимальную на 2,1...5,4°С, а влажность почвы опытного участка была несколько ниже необходимой, однако это не оказывало негативного влияния на поступление минераль-

Таблица 2.

Погодные условия в период вегетации сои

Год	Месяц	Среднемесячная температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм	Сумма активных температур, °С	ГТК
2020	июнь	17,0	140	512	2,73
	июль	24,1	43	747	0,58
	август	18,2	175	564	3,10
	сентябрь	14,0	110	402	2,74
	июнь – сентябрь	18,3	468	2225	2,10
2021	июнь	20,2	57	566	1,01
	июль	23,4	104	725	1,43
	август	18,8	194	584	3,32
	сентябрь	14,2	36	407	0,88
	июнь – сентябрь	19,2	391	2282	1,71
2022	июнь	19,5	100	586	1,71
	июль	23,4	38	725	0,52
	август	18,8	120	582	2,06
	сентябрь	13,1	39	334	1,17
	июнь – сентябрь	18,7	297	2227	1,33

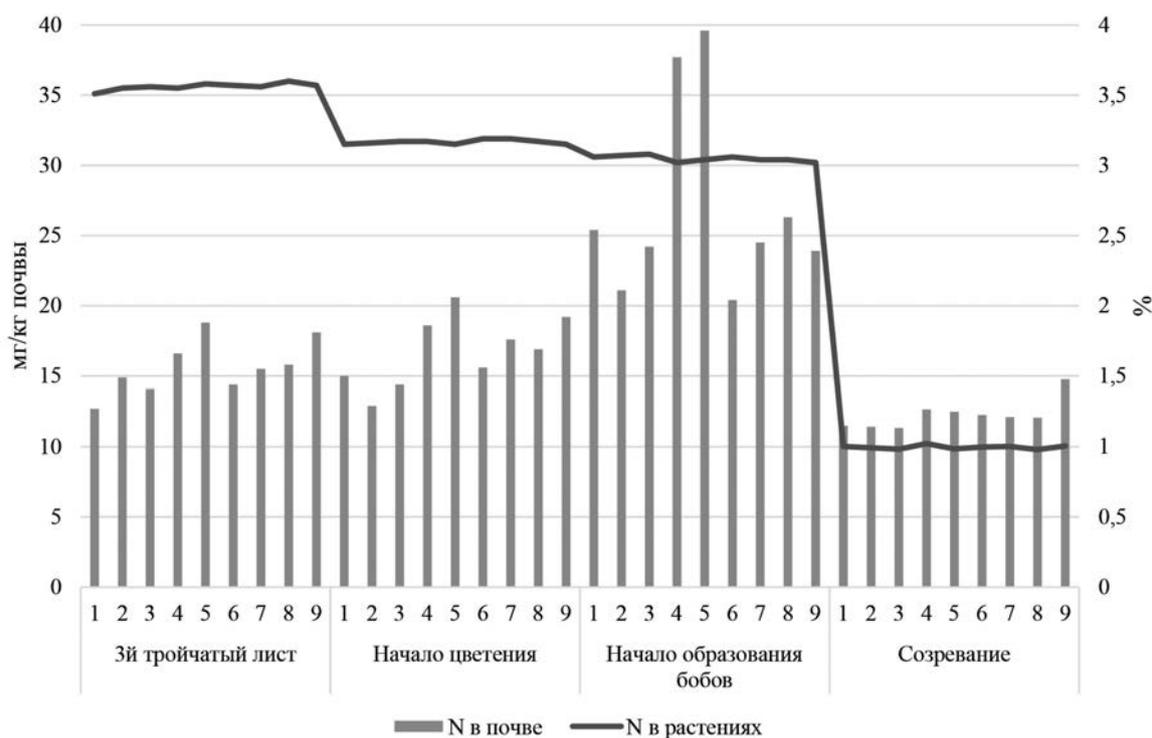


Рис. 1. Динамика содержания азота в почве (мг/кг) и растениях сои (%) в зависимости от дозы внесения удобрений (варианты 1...9, см. табл. 1), среднее за 2020–2022 годы.

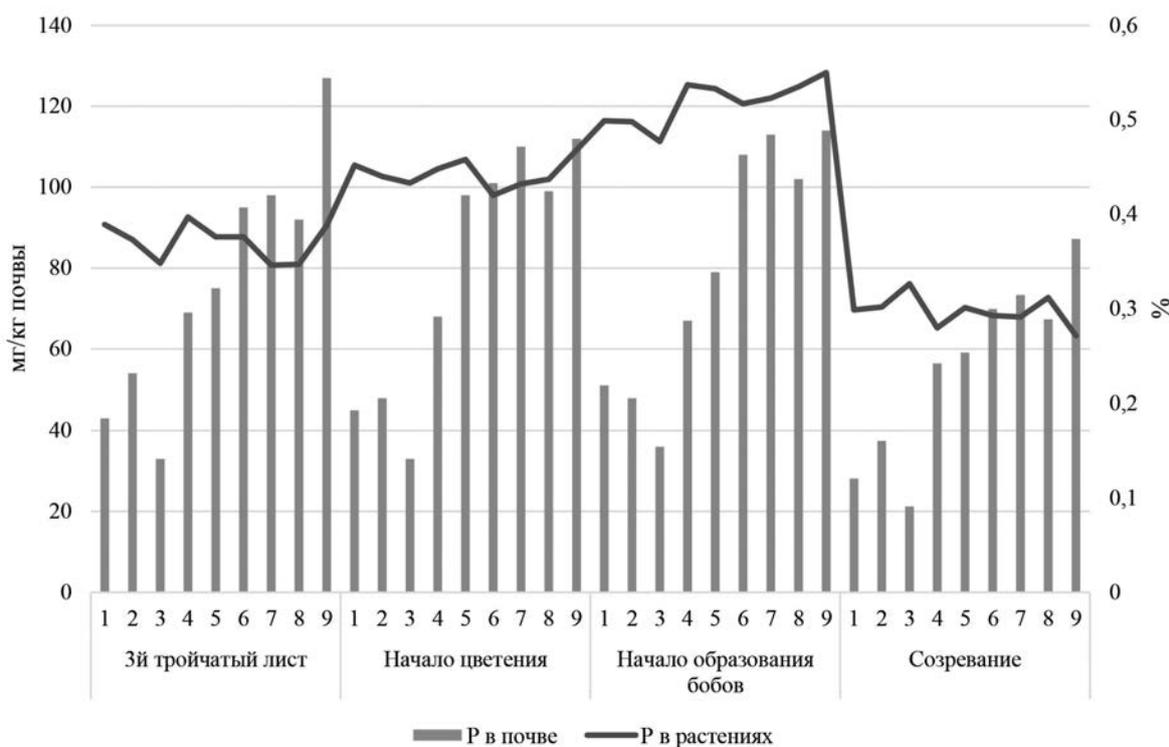


Рис. 2. Динамика содержания фосфора в почве (мг/кг) и растениях сои (%) в зависимости от дозы внесения удобрений (варианты 1...9, см. табл. 1), среднее за 2020–2022 годы.

ных веществ из почвы в растения. Наиболее благоприятные условия для формирования высокого урожая сложились в 2021 году из-за выпадения достаточного количества осадков в июле (104 мм) и августе (194 мм), что способствовало активному формированию бобов и семян у растений скороспелого сорта.

Наличие и доступность элементов питания в период вегетации необходимы для нормального роста и развития растений сои, находятся в тесной взаимосвязи с погодными условиями. Однако эти абиотические факторы не всегда можно регулировать, поэтому основная роль в оптимизации минерального питания отводится применению удобрений. Исследованиями

по влиянию их длительного внесения на динамику элементов питания в посевах сои выявлено, что в период от фазы третьего тройчатого листа до начала образования бобов наибольшее содержание минерального азота в почве было в посевах с предпосевным внесением P_{60} (варианты 4 и 5) по фону последствия средних доз минеральных удобрений (рис. 1).

В фазе третьего тройчатого листа установлена корреляционная связь количества азота в надземной массе сои с его содержанием в почве ($R = 0,59$, $R^2 = 0,35$). Поступление азота в вегетативную массу на 35% определялось содержанием его в почве. В дальнейшем эта зависимость снижалась, и к фазе образования бобов она уже была обратной ($R = -0,52$, $R^2 = 0,27$), так как в этот период увеличивается поглощение растениями биологического азота (симбиотическая азотфиксация из воздуха). Это подтверждается данными авторов, которые отмечают, что в период цветения сои часто наблюдается снижение поступления нитратов из почвы и его транспорта в растение. [6] Установлено, что потребность растений сои в фосфоре возрастает, начиная с цветения, и достигает максимума в период образования – налива бобов. [10, 14] Обеспеченность растений сои фосфором, в отличие от азота, в значительной степени определяется условиями присутствия подвижных форм этого элемента при внесении удобрений. Наибольшее поступление фосфора из почвы в растения сои было на фоне минеральных и органических удобрений (вариант 9), наименьшее – в варианте 3 с внесением под предшествующую культуру азотных удобрений (рис. 2). Применение только азотных удобрений приводило к нарушению соотношения N : P в надземной массе растений сои, по сравнению с контролем, в связи с превышением азота и снижением поступления в растения фосфора.

Содержание подвижного калия в почве с внесением полного минерального удобрения за ротацию (вариант 5) и совместного с навозом (вариант 9) превышало эти показатели в зависимости от фазы развития сои на 12...37 мг/кг относительно контрольного варианта (рис. 3). Поступление в растения калия не зависело от его содержания в почве и постепенно снижалось от фазы третьего тройчатого листа до начала образования бобов. В созревших растениях содержание калия, находящегося преимущественно в семенах, составляло от 0,27 до 0,32% по вариантам опыта. Изменение его количества подтверждается данными исследователей, установивших снижение его поступления в процессе созревания бобов из-за перераспределения питательных веществ из листьев в репродуктивные органы. [1]

Результаты биометрического анализа растений сои показали значительное влияние погодных условий на развитие репродуктивных органов. Больше всего ветвей, бобов и семян на растении было сформировано в посевах всех вариантов опыта при погодных условиях 2021 года, по сравнению с 2020 и 2022 (табл. 3). Недостаток влаги во время всходов в июне 2021 года (57 мм) привел к изреженности посевов сои, поэтому в июле и августе при благоприятных условиях растения имели большую площадь питания, что способствовало лучшему плоданию и увеличению числа бобов.

Длительное применение удобрений положительно повлияло на продуктивность растений. Наибольшие значения количества, массы семян с одного растения и массы 1000 семян получены при внесении $N_{24}P_{30}K_{24}$, $N_{42}P_{48}$ и $N_{24}P_{30}$ + навоз 4,8 т/га (варианты 5, 7, 9), превышение по сравнению с контролем (вариант 1) – на 3,6...3,7, 2,3...3,4% и 0,9...4,8 г соответственно в зависимости от среднегодовой нагрузки удобрениями. Положительное действие удобрений

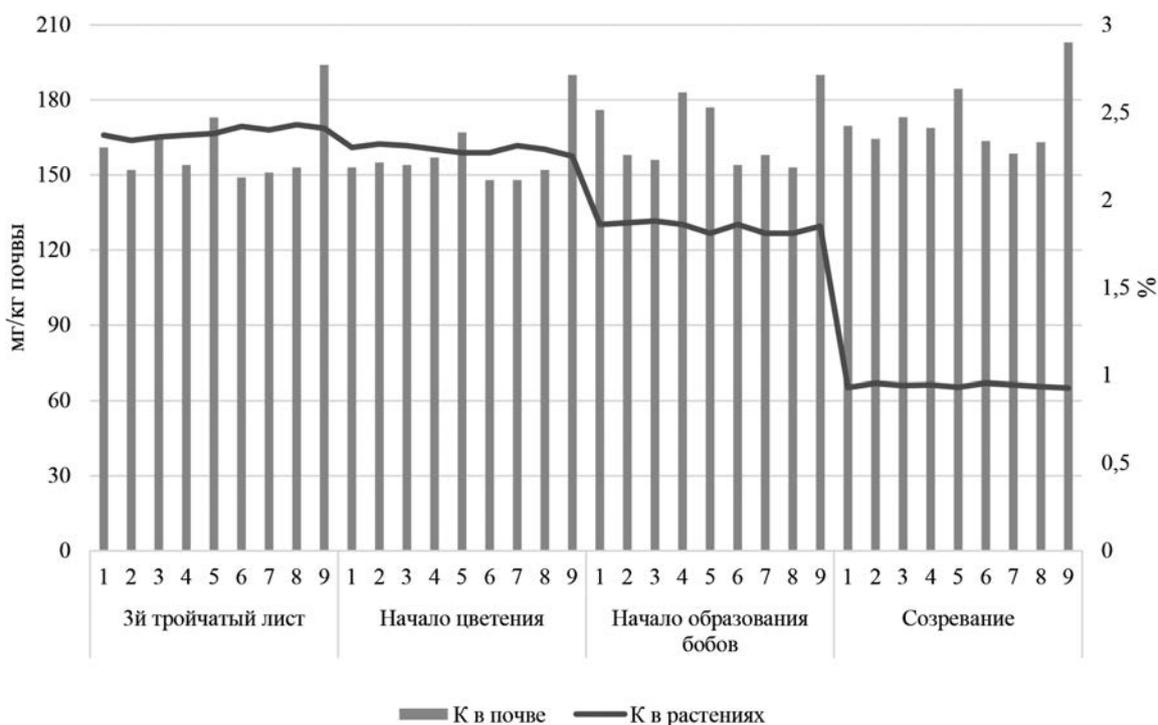


Рис. 3. Динамика содержания калия в почве (мг/кг) и растениях сои (%) в зависимости от дозы внесения удобрений (варианты 1...9, см. табл. 1), среднее за 2020–2022 годы.

Таблица 3.

Биометрические показатели растений сои в зависимости от дозы внесения удобрений

Вариант	Количество, шт./раст.												Масса семян, г/раст.				Масса 1000 семян, г, средняя за 2020–2022 годы
	ветвей				бобов				семян								
	2020	2021	2022	среднее	2020	2021	2022	среднее	2020	2021	2022	среднее	2020	2021	2022	средняя	
1	0,6	1,5	0,4	0,8	21	42	19	27	46	102	44	64	7,3	15,6	7,6	10,2	160,8
2	0,4	1,5	0,5	0,8	20	39	21	26	44	97	49	63	6,5	14,4	8,0	9,6	154,7
3	0,6	1,5	0,4	0,8	20	37	18	25	48	90	45	61	6,8	13,7	7,2	9,3	152,3
4	0,6	0,8	0,5	0,6	21	33	21	25	47	80	48	58	7,2	12,5	8,1	9,3	159,5
5	0,7	1,6	0,4	0,9	22	43	21	29	47	106	47	67	7,3	16,3	7,9	10,5	161,7
6	0,6	1,3	0,4	0,8	20	41	17	26	45	104	43	64	6,7	14,9	7,4	9,7	156,8
7	0,6	1,5	0,5	0,8	23	44	20	29	49	107	43	66	7,6	15,8	7,8	10,4	165,2
8	0,7	1,5	0,3	0,8	20	43	18	27	47	104	42	64	7,0	15,4	6,9	9,8	155,6
9	0,6	1,4	0,5	0,8	22	38	20	27	49	97	45	64	8,2	15,5	7,7	10,4	163,8
НСР ₀₅	0,3	0,5	0,2	0,3	3	8	4	4	7	26	11	10	1,0	2,9	1,3	1,3	10,1

на питание растений привело к повышению биологической урожайности семян, которая была самой высокой в 2020 и 2021 годах (табл. 4). В 2020 году она варьировала от 3,45 т/га, при внесении одних азотных удобрений, до 4,71 т/га – со среднегодовой нагрузкой минеральных удобрений N₂₄P₃₀ + навоз 4,8 т/га.

В 2021 году погодные условия способствовали формированию высокой биологической урожайности даже без применения удобрений. Наибольшей она была в вариантах 5, 7, 8. При внесении под сою только фосфора (P₃₀ и P₆₀) она увеличилась на 1,29 и 1,19 т/га соответственно. В 2022 году положительное влияние на урожайность семян с внесением только фосфорных удобрений отмечено в посевах варианта 4, наибольшая (4,40 и 4,56 т/га) получена при последствии одних азотных и одних фосфорных удобрений. В среднем за три года во всех посевах наблюдали стабильную тенденцию к повышению биологической урожайности (0,23...0,68 т/га) на фоне действия и последствия удобрений относительно контроля. Несмотря на существенные различия в агроклиматических условиях коэффициент варьирования урожайности по годам был невысоким – 2,1...10,4% в зависимости от нагрузки удобрениями.

Выводы. Поступление азота в вегетативную массу до фазы третьего тройчатого листа на 35% определялось содержанием его минеральных форм в почве (R = 0,59, R² = 0,35), в период образования бобов установлена обратная связь этих показателей (R = -0,52, R² = 0,27), что доказывает повышение роли биологического азота в питании растений. Наибольшее поступление фосфора из почвы в растения сои было при совместном действии минеральных и органических удобрений, наименьшее – с внесением под предшествующую культуру азотных удобрений. Из абиотических факторов существенное влияние на поступление минеральных форм азота, фосфора и калия оказали накопление тепла и влажность почвы, что обеспечило самую высокую урожайность из-за большего количества и массы семян с растения. В среднем за три года отмечена стабильная тенденция к повышению биологической урожайности (0,23...0,68 т/га), по сравнению с контролем, на фоне действия и последствия удобрений с коэффициентами варьирования от 2,1 до 10,4% в зависимости от среднегодовой нагрузки удобрениями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Агафонов Е.В., Агафонова Л.Н., Гужвин С.А. Питание и удобрение сои на черноземе обыкновенном. Пос. Персиановский, ДонГАУ, 2004. 133 с. ISBN 5-98252-019-5.
2. Белолобцев А.И., Сенников В.А. Биоклиматический потенциал агроэкосистем. М.: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. 161 с. ISBN 978-5-9675-0642-0.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М.: Альянс, 2011. 350. ISBN 978-5-903034-96-3.
4. Золотницкий В.А. Соя на Дальнем Востоке. Хаб. книжное изд-во, 1962. 248 с.
5. Иванов А.И., Иванова Ж.А., Воробьев В.А., Цыганова Н.А. Агроэкологические последствия длительного применения дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 2016. № 4. С. 10–17.
6. Князев Б.М., Князева Д.Б. Источники азота в период формирования бобов и семян сои // Труды Кубанско-

Таблица 4. Биологическая урожайность сои в зависимости от дозы внесения удобрений, т/га

Вариант	Доза удобрений	Биологическая урожайность, т/га					Кoeffициент варьирования, %
		2020	2021	2022	средняя	+/- к контролю	
1	–	3,74	4,27	3,83	3,95	–	2,7
2	–	3,80	4,43	4,40	4,21	0,26	3,2
3	–	3,45	4,30	4,56	4,10	0,15	5,3
4	P ₆₀	3,90	4,24	4,36	4,17	0,22	2,1
5	P ₆₀	4,58	5,46	3,86	4,63	0,68	5,9
6	–	3,48	4,13	3,59	3,73	-0,22	3,5
7	P ₃₀	4,59	5,56	3,47	4,54	0,59	7,9
8	P ₃₀	3,47	5,51	3,62	4,20	0,25	10,4
9	P ₆₀ + навоз 12 т	4,71	4,59	3,24	4,18	0,23	7,5
НСР ₀₅		0,92	1,56	1,40	0,97		

- го государственного аграрного университета. 2021. № 90. С. 59–63. DOI: 10.21515/1999-1703-90-59-63.
7. Князев Б.М., Назранов Х.М., Князева Д.Б. Симбиотическая и фотосинтетическая деятельность растений сои в зависимости от влажности почвы в степной зоне // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2022. № 4 (38). С. 15–20. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-15-20.
 8. Кобозев И.В., Тюльдюков В.А., Парахин Н.В. Предотвращение критических ситуаций в агроэкосистемах. М.: Изд-во МСХА, 1995. 264 с.
 9. Крючков А.Г., Елисеев В.И., Абдрашитов Р.Р. Динамика содержания подвижного фосфора в черноземе обыкновенном под посевом яровой твердой пшеницы в длительном стационарном опыте // Агрохимия. 2013. № 3. С. 32–35.
 10. Кузьмин А.А., Наумченко Е.Т., Никульчев К.А. и др. 100 вопросов и ответов о возделывании сои (рекомендации для руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий) / под общей ред. М.О. Синеговского. Благовещенск: ООО «Одеон», 2021. 79 с. ISBN: 978-5-6040714-5-8.
 11. Лукин С.В. Динамика агрохимических показателей плодородия пахотных почв Юго-Западной части Центрально-Черноземных областей России // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1367–1376. DOI: 10.7868/S0032180X17110090.
 12. Никитишен В.И., Личко В.И. Эффективность прямого действия и последствия длительного применения удобрений на серой лесной почве // Агрохимия. 2011. № 1. С. 11–19.
 13. Новичихин А.М., Мухина С.В., Турусов О.В. Эффективность минеральных удобрений на черноземах каменной степи с различной обеспеченностью элементами питания // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 5. С. 34–36.
 14. Синеговская В.Т. Посевы сои в Приамурье как фотосинтезирующие системы. Благовещенск: Изд-во «Зея», 2005. 120 с.
 15. Cruz A.F., Hamel Ch., Hanson K., Selles F., Zentner R.P. Thirty-seven years of soil nitrogen and phosphorus fertility management shapes the structure and function of the soil microbial community in a Brown Chernozem // Plant and Soil. 2009. Vol. 315. P. 173–184. DOI: 10.1007/s11104-008-9742-x.
 16. Panfilova A., Korkhova M., Markova N. Optimization of elements of the technology of Triticum aestivum L. cultivation Kolchuga variety in the conditions southern steppe of Ukraine // AgroLife Scientific Journal. 2019. Vol. 8. No. 2. PP. 112–121.
 3. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij). Izd. 6-e, ster., perepech. s 5-go izd. 1985 g. M.: Al'yans, 2011. 350. ISBN 978-5-903034-96-3.
 4. Zolotnickij V.A. Soya na Dal'nem Vostoke. Hab. knizhnoe izd-vo, 1962. 248 s.
 5. Ivanov A.I., Ivanova Zh.A., Vorob'ev V.A., Cyganova N.A. Agrokologicheskie po-sledstviya dlitel'nogo primeneniya deficitnyh sistem udobreniya na horosho okul'turenyh dernovo-podzolistyh pochvah // Agrohimiya. 2016. № 4. S. 10–17.
 6. Knyazev B.M., Knyazeva D.B. Istochniki azota v period formirovaniya bobov i semyan soi // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 90. S. 59–63. DOI: 10.21515/1999-1703-90-59-63.
 7. Knyazev B.M., Nazranov H.M., Knyazeva D.B. Simbioticheskaya i fotosinteticheskaya deya-tel'nost' rastenij soi v zavisimosti ot vlazhnosti pochvy v stepnoj zone // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova. 2022. № 4 (38). S. 15–20. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-15-20.
 8. Kobozev I.V., Tyul'dyukov V.A., Parahin N.V. Predotvrashchenie kriticheskikh situa-cij v agroekosistemah. M.: Izd-vo MSKHA, 1995. 264 s.
 9. Kryuchkov A.G., Eliseev V.I., Abdrashitov R.R. Dinamika soderzhaniya podvizhnogo fosfora v chernozeme obyknovennom pod posevom yarovoj tverdoj pshenicy v dli-tel'nom stacionarnom opyte // Agrohimiya. 2013. № 3. S. 32–35.
 10. Kuz'min A.A., Naumchenko E.T., Nikul'chev K.A. i dr. 100 voprosov i otvetov o vozdeleyanii soi (rekomendacii dlya rukovoditelej i specialistov sel'skohozyajstvennyh predpriyatij) / pod obshej red. M.O. Sinegovskogo. Blagoveshchensk: ООО «Odeon», 2021. 79 s. ISBN: 978-5-6040714-5-8.
 11. Lukin S.V. Dinamika agrohimicheskikh pokazatelej plodorodiya pahotnyh pochv Yugo-Zapadnoj chasti Central'no-Chernozemnyh oblastej Rossii // Pochvovedenie. 2017. № 11. S. 1367–1376. DOI: 10.7868/S0032180X17110090.
 12. Nikitishen V.I., Lichko V.I. Effektivnost' pryamogo dejstviya i posledejstviya dli-tel'nogo primeneniya udobrenij na seroj lesnoj pochve // Agrohimiya. 2011. № 1. S. 11–19.
 13. Novichihin A.M., Muhina S.V., Turusov O.V. Effektivnost' mineral'nyh udobre-nij na chernozemah kamennoj stepi s razlichnoj obespechennost'yu elementami pita-niya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2012. № 5. S. 34–36.
 14. Sinegovskaya V.T. Posevy soi v Priamur'e kak fotosinteziruyushchie sistemy. Blagoveshchensk: Izd-vo «Zeя», 2005. 120 s.
 15. Cruz A.F., Hamel Ch., Hanson K., Selles F., Zentner R.P. Thirty-seven years of soil nitrogen and phosphorus fertility management shapes the structure and function of the soil microbial community in a Brown Chernozem // Plant and Soil. 2009. Vol. 315. P. 173–184. DOI: 10.1007/s11104-008-9742-x.
 16. Panfilova A., Korkhova M., Markova N. Optimization of elements of the technology of Triticum aestivum L. cultivation Kolchuga variety in the conditions southern steppe of Ukraine // AgroLife Scientific Journal. 2019. Vol. 8. No. 2. PP. 112–121.

REFERENCES

Поступила в редакцию 06.10.2023
Принята к публикации 20.10.2023

ОЦЕНКА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ И ИНДЕКСНЫЙ СКРИНИНГ СОРТОВ ОВСА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ*

Дмитрий Иванович Ерёмин¹, доктор биологических наук, доцент

Анна Валерьевна Любимова¹, кандидат биологических наук

Диана Васильевна Ерёмкина², кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения РАН, пос. Московский, Тюменский р-н, Тюменская обл., Россия

²Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Тюменская обл., Россия

E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Аннотация. В основе определения засухоустойчивых сортов овса стоит отбор идентификационных показателей и создание системы комплексной оценки, позволяющей эффективно выделить наиболее перспективные генотипы для селекционной работы. В ходе трехлетних модельных опытов было изучено 40 сортов овса Российской селекции с измерением морфофизиологических показателей и расчетом соответствующих индексов в условиях стресса, вызванного почвенной засухой во время кущения и цветения. Исследования проводили в неотапливаемой теплице летнего типа, расположенной на территории Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья. В качестве контроля брали те же сорта, которые росли при регулярном поливе и не испытывали дефицита влаги. Определяли высоту растений, элементы структуры урожая, значения содержания протеина в листьях, хлорофилловый индекс, относительное содержание воды в листьях и индекс стабильности мембран. Рассмотрение каждого показателя по отдельности не дает возможности выявить засухоустойчивость овса. Оценка генотипов по индексам восприимчивости к засухе (DSI) и толерантности к ней (DTI) позволяет выделить группы засухоустойчивых сортов овса и определить степень ее влияния на элементы структуры урожая. Сорта Привет, Передовик, Сиг, Фауст, Новосибирский 5, Баргузин, Ассоль устойчивы к почвенной засухе во время кущения и цветения. Их DSI был менее 0,83 и 0,78 ед. соответственно. Такие сорта как КРОСС, Виленский и Горизонт также обладали высокой устойчивостью к засухе во время кущения. Засуха в более поздний период приводила к очень сильному стрессу, что негативно сказывалось на их продуктивности. Группу наиболее восприимчивых к засухе генотипов составили: Дедал, Нарымский 943, Песец, Львовский, Тигровый, Экспресс, Таёжник, Буланы, Борец и Десант. Их индекс восприимчивости к засухе был более 1,2 ед.

Ключевые слова: засухоустойчивые сорта овса, хлорофилловый индекс, морфофизиологические показатели, индекс стабильности мембран, стресс растений, индекс восприимчивости к засухе, индекс засухоустойчивости, абиотические факторы, направленная селекция

DROUGHT RESISTANCE AND INDEX SCREENING OF DOMESTIC SELECTION OAT VARIETIES

D.I. Eremin¹, *Grand PhD in Biological Sciences, Associate Professor*

A.V. Lyubimova¹, *PhD in Biological Sciences*

D.V. Eremina², *PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor*

¹Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals - branch of the Federal Research Center of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, pos. Moskovsky, Tyumen district, Tyumen region, Russia

²State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Tyumen region, Russia

E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Abstract. The determination of drought-resistant oat varieties is based on the selection of identification indicators and the creation of a comprehensive assessment system that effectively identifies the most promising genotypes for breeding work. During three-year model experiments, 40 varieties of oats of Russian breeding were studied by measuring morphophysiological indicators and calculating the corresponding indices under stress caused by soil drought during tillering and flowering. The research was carried out in an unheated summer-type greenhouse located on the territory of the Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals. As a control, the same varieties that grew with regular watering and did not experience moisture deficiency were used. Plant height and crop structure elements were studied. The values of the protein content in the leaves, the chlorophyll index, the relative water content in the leaves and the membrane stability index were determined. It is established that the use of each indicator separately as a criterion of drought resistance does not make it possible to fully assess the drought resistance of oats. Assessment of genotypes by indices of susceptibility to drought (DSI) and tolerance to it (DTI) allows us to identify groups of drought-resistant varieties of oats and assess the degree of influence of soil drought on the elements of the crop structure. In the course of research, it was found that the varieties Privet, Peredovik, Sig, Faust, Novosibirsk 5,

* Работа выполнена по госзаданию № 122011300103-0 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня / The work was carried out according to state task No. 122011300103-0 and with the support of the world-class West Siberian Interregional Scientific and Educational Center.

Barguzin, Assol are resistant to soil droughts during tillering and flowering. Their DSI was less than 0.83 and 0.78 units. accordingly. Such varieties as CROSS, Vilensky and Horizont also had high resistance to drought during tillering. The drought in the later period led to very severe stress, which negatively affected their productivity. The group of genotypes most susceptible to drought was: Dedal, Narymsky 943, Pesec, Lgovsky, Tigrovyy, Express, Tayoschnik, Bulany, Borec and Desant. Their drought susceptibility index was more than 1.2 units.

Keywords: *drought-resistant varieties of oats, chlorophyll index, morphophysiological indicators, membrane stability index, plant stress, drought susceptibility index, drought resistance index, abiotic factors, targeted breeding*

Овес — одна из наиболее важных зерновых культур для Западной Сибири. [8, 20] Он способен в максимальной степени использовать биоклиматический потенциал региона в условиях низкого плодородия почв. В отличие от пшеницы и ячменя, овес усваивает труднодоступные питательные вещества, устойчив к повышенной кислотности, но не выносит дефицита почвенной влаги, особенно в первой половине своей вегетации. По засухоустойчивости он уступает всем зерновым культурам, поэтому его распространение в зоне степей и полупустынь ограничено. [15] Также его мало возделывают в регионах с высокими температурами в летний период — завязываемость зерна сокращается до минимума, а иногда прекращается полностью. Так как в Западной Сибири климат умеренно теплый с отсутствием дефицита влаги, овес — оптимальная культура для формирования устойчивой кормовой базы. [7]

Проблема глобального потепления затронула не только степные регионы планеты, но и более северные широты, куда входит Западная Сибирь. Климатологи отмечают, что лесостепь Сибири, в которой расположена сельскохозяйственная зона, приобрела ярко выраженный континентальный тип климата с резкими перепадами температур и выпадения осадков, частыми почвенными и атмосферными засухами. [18, 19] За последние десять лет только два года были без засухи в период с мая по июль. В 2020, 2021 и 2023 годах со II декады апреля по I июля осадки практически отсутствовали. Такие изменения климата доказывают необходимость пересмотра стратегии сельского хозяйства в Западной Сибири. Использование засухоустойчивых культур (пшеница и ячмень) не даст желаемого результата, так как их продуктивность будет по-прежнему ограничена низким плодородием почв и неблагоприятными погодными условиями в период уборки. Один из способов решения проблемы засухи в регионах с низкоплодородными почвами — создание засухоустойчивых сортов овса. Селекция таких сортов, проводимая с помощью отбора генотипов, обладающих минимальным снижением продуктивности под действием засухи, неэффективна. [17] Элементы продуктивности формируются при взаимодействии генотипа с абиотическими факторами, создавая широкий диапазон урожайности.

Устойчивость к засухе обусловлена многими компонентами реакции растения на клеточном уровне, которые могут проявляться при кратковременном или продолжительном необратимом стрессе. [11] Поэтому для получения засухоустойчивых сортов требуется комплексный отбор, основанный на фенотипе и физиологических реакциях.

Важно учитывать не только урожайность, а целый комплекс показателей, позволяющих оценить степень влияния дефицита воды. Сложность таких

исследований в том, что отбор необходимо вести в строго регулируемых условиях, когда контрольные группы, не испытывающие дефицита влаги, находятся в непосредственной близости к тем вариантам, где полив полностью отсутствует. Это дает возможность в минимально короткие сроки отобрать растительный материал для анализа и обеспечивает понимание изменений, происходящих в клетках растений. Таким образом, индексы засухи, основанные на разнице морфофизиологических показателей, наиболее эффективны в скрининге засухоустойчивых генотипов.

Цель работы — оценка генотипов по комплексу морфофизиологических показателей для выявления перспективных родительских форм в селекции засухоустойчивых сортов овса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Место проведения эксперимента (2020–2022 годы) — Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья (г. Тюмень), который расположен в лесостепной зоне Западной Сибири (57°09' N, 65°32' E). Для искусственного создания стресса от почвенной засухи использовали неотапливаемую теплицу. Это полностью исключало попадание воды во время дождя, соблюдался принцип единого различия. Схема опыта предусматривала три варианта. Контроль — овес с момента посева до физиологической зрелости не испытывал дефицита почвенной влаги. Во втором варианте, при появлении признаков кушения полив прекращали, моделируя почвенную засуху в июне. Влажность почвы из-за физического испарения и потребления воды растениями снижалась до 30...35% наименьшей влагоемкости. Через две недели проводили соответствующие измерения и полив возобновляли до конца вегетации. Третий вариант был аналогичен второму, исключение — почвенную засуху создавали в фазе цветения овса. Поливали растения один раз в неделю, поддерживая влажность почвы на уровне 80% наименьшей влагоемкости.

Объект изучения — 40 сортов овса посевного (*Avena sativa* L.), активно эксплуатируемых селекционерами в Западной Сибири, как перспективные родительские формы. В группу вошли два среднепоздних генотипа, три — раннеспелых, десять — среднеранних (табл. 1). Основная часть коллекции была представлена среднеспелыми сортами. За годы исследований сорта не меняли, семенной материал использовали из коллекции НИИСХ Северного Зауралья, выращиваемой на опытном поле. Сортовую чистоту проверяли ежегодно методом биохимического маркирования. [1, 6, 24] Степень влияния стресса от засухи определяли относительно средних показателей. [13]

Таблица 1.

Перечень сортов овса используемых в опыте

Сорт	Разновидность	Группа спелости	Сорт	Разновидность	Группа спелости
Ассоль	<i>mutica</i>	РС	Иртыш 13	<i>mutica</i>	СС
Покровский 9	<i>aristata</i>	РС	Конкур	<i>mutica</i>	СС
Таежник	<i>aurea</i>	РС	КРОСС	<i>mutica</i>	СС
Аватар	<i>aurea</i>	СР	Льговский	<i>mutica</i>	СС
Виленский	<i>mutica</i>	СР	Нарымский 943	<i>mutica</i>	СС
Десант	<i>aristata</i>	СР	Овен	<i>mutica</i>	СС
Мегион	<i>mutica</i>	СР	Орион	<i>mutica</i>	СС
Новосибирский 5	<i>mutica</i>	СР	Передовик	<i>brunnea</i>	СС
Ровесник	<i>obtusata</i>	СР	Песец	<i>mutica, aristata</i>	СС
Улов	<i>mutica</i>	СР	Привет	<i>aurea</i>	СС
Уран	<i>aristata</i>	СР	СИГ	<i>aristata</i>	СС
Черниговский 83	<i>aurea</i>	СР	Талисман	<i>mutica</i>	СС
Чиж	<i>aurea</i>	СР	Тигровый	<i>cinerea</i>	СС
Баргузин	<i>mutica</i>	СС	Тубинский	<i>mutica</i>	СС
Борец	<i>mutica</i>	СС	Факел	<i>aristata</i>	СС
Буланный	<i>mutica</i>	СС	Фауст	<i>mutica</i>	СС
Горизонт	<i>mutica</i>	СС	Экспресс	<i>cinerea</i>	СС
Дедал	<i>mutica, aristata</i>	СС	Юбиляр	<i>mutica</i>	СС
Егорыч	<i>obtusata</i>	СС	Аргумент	<i>aristata</i>	СП
ЗАЛП	<i>mutica, aurea</i>	СС	Льговский 82	<i>mutica</i>	СП

Примечание. РС – раннеспелый; СР – среднеранний; СС – среднеспелый; СП – среднепоздний.

В качестве субстрата для выращивания овса брали землю из пахотного слоя опытного поля института. Почва – серая лесная оподзоленная среднесуглинистая, иловато-пылеватая. Содержание гумуса (ГОСТ 26213-2021) – 3,2%, азота нитратов (ГОСТ 26951-86) – 4,7 мг/кг, подвижного фосфора и обменного калия (ГОСТ Р 54650-2011) – 60 и 90 мг/кг почвы соответственно. Физико-химические свойства соответствовали подтипу серых лесных почв Северного Зауралья. [5, 14] Сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27821-2020) – 18,0 ммоль/кг, степень насыщенности – 78% емкости поглощения. Реакция водной вытяжки из почвы – слабокислая (рН_{водн.} – 5,8...6,0 ед.), рН_{сол.} – 5,2...5,4 ед., что характеризует почву, как потенциально кислую. Опыт предусматривал фоновое внесение минеральных удобрений (N₆₀P₂₀) для получения планируемой урожайности овса до 3,0 т/га. [4] Перемешанный с минеральными удобрениями почвогрунт засыпали в пластиковые контейнеры размером 40×30×20 см, что соответствовало 24 л. За неделю до посева землю в контейнерах постепенно насыщали водой до 80% наименьшей влагоемкости. Избыток влаги стекал через дренажные отверстия. Для полива использовали водопроводную воду с рН – 7,6 и электропроводностью 20,0 мкСм/м. После уплотнения почвогрунта в течение семи суток до равновесного состояния высевали семена по

30 шт. на глубину 7 см. Через неделю подсчитывали количество взошедших растений и проводили первую браковку, через 15 сут. – вторую, добиваясь чтобы в каждом контейнере оставалось 25 хорошо развитых растений. К началу физиологического созревания овса густота стояния составляла 200 шт/м², что соответствовало изреженным посевам. Это было сделано, чтобы скомпенсировать условия ограниченного объема почвы для корней во время развития овса в опыте. Повторение каждого варианта – трехкратное.

В ходе проведения исследований определяли морфобиологические показатели по следующим формулам.

Относительное содержание воды (Relative Water Content) в листьях овса:

$$RWC(\%) = [(W - DW)/(TW - DW)] \times 100, \quad (1)$$

где *W* – масса свежих листьев, г (Sample fresh weight); *TW* – масса набухших листьев, г (Sample turgid weight); *DW* – масса высушенных листьев, г (Sample dry weight).

Устойчивость к стрессу, вызванному почвенной засухой, оценивали по индексу стабильности клеточных мембран (Membrane Stability Index):

$$MSI = \left[1 - \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \right] \times 100, \quad (2)$$

где *C*₁ – электропроводность раствора после первой инкубации (температура – 45°C; экспозиция – 1 ч); *C*₂ – электропроводность раствора после второй инкубации (температура – 100°C; экспозиция – 15 мин.).

Содержание протеина (Content of protein) в листьях овса находили спектрометрическим методом по Бредфорду при длине волны 595 нм, хлорофилловый индекс (Chlorophyll Index) – хлорофиллометром (N-тестер) Konica Minolta SPAD-502 (Япония).

При наступлении физиологической спелости зерна, анализировали структуру элементов урожая каждого растения согласно методике государственного сортоиспытания. [9]

Рассчитывали индексы засухоустойчивости (Drought Tolerance Index) и восприимчивости к засухе (Drought Susceptibility Index):

$$DTI = \frac{(Y_{Si} \times (Y_{Si} / Y_{Pi}))}{Y_S}, \quad (3)$$

$$DSI = \frac{1 - (Y_{Si} / Y_{Pi})}{1 - (Y_S / Y_P)}, \quad (4)$$

где *Y*_{*S*} – показатель генотипа в стрессовой ситуации (засуха); *Y*_{*P*} – показатель генотипа в благоприятных условиях (без засухи); *Y*_{*S*} – среднее значение показателя по коллекции в стрессовой ситуации; *Y*_{*P*} – среднее значение показателя по коллекции в благоприятных условиях.

После усреднения индексов определяли комплексные DTI и DSI для каждого сорта. Далее ранжировали и группировали сорта квартильным методом, выделяя наиболее восприимчивые к за-

сухе и засухоустойчивые генотипы, перспективные для селекционного процесса. Достоверность полученных результатов устанавливали по критерию Фишера при 5% уровне значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Трехлетние опыты по изучению стресса, возникающего в результате почвенной засухи, показали, что овес обладает широким диапазоном изменения морфофизиологических показателей. Растения, испытывавшие такой стресс во время кущения, к фазе полной спелости были на 40% короче относительно контроля (табл. 2). Диапазон варьирования – 11 (сорт *Привет*)...64% (*Тигровый*). Установлено, что засуха в более поздний период (цветение) не оказывает такого существенного влияния. В среднем по коллекции снижение высоты растений было не достоверным, но у сортов *Нарымский 943*, *Факел* и *Ровесник* она достоверно уменьшалась (10...13%) относительно контроля.

Индекс стабильности мембран (MSI) и относительное содержание воды (RWC) в листьях овса показывают степень негативного воздействия почвенной засухи. Их снижение в среднем по коллекции показало, что овес наиболее сильно реагирует на засуху в период кущения – 14 и 10% соответственно. При дефиците почвенной влаги в цветение уменьшение MSI и RWC составило 10% относительно средних значений. Минимальная реакция отмечена у сортов *Улов*, *КРОСС*, *Привет* и *Сиг*. Некоторые генотипы овса (*Егорыч*, *Конкур*, *Черниговский 83*, *Иртыш 13*, *Дедал*) максимально реагировали на засуху в период кущения, но при более позднем ее проявлении – минимально. В этой группе снижение MSI в кущение составило 19...20%, цветение – 10...13% относительно контроля. Аналогичными были изменения относительного содержания воды в листьях.

Хлорофилловый индекс (CI) и содержание протеина (PC), в отличие от MSI и RWC, – результирующие показатели стресса, воздействующего на уровне биохимических реакций в клетке. В среднем по коллекции они уменьшились на 13 и 15% соответственно при ранней почвенной засухе. Были выделены сорта, в которых хлорофилловый индекс снижался на 6...7% – *Сиг*, *КРОСС*, *Чиж*, *Привет* и *Передовик*, но в период цветения недостоверно – 4...5% ($F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$ при $p = 0,05$).

Сорта, у которых хлорофилловый индекс под действием ранней почвенной засухи снизился более чем на 20%: *ЗАЛП*, *Экспресс*, *Песец*, *Покровский 9*, *Дедал*, *Десант*, *Таежник* и *Борец*. Во время цветения значения CI в этой группе уменьшились на 11...15% относительно контроля.

В ходе исследований установлено, что почвенные засухи уменьшили содержание протеина в вегетирующих частях овса в среднем по коллекции на 14...15%, что указывает на нарушение биохимических циклов синтеза органического вещества. Были выделены сорта (*Ассоль*, *Новосибирский 5*, *Улов*, *КРОСС*, *Факел* и *Сиг*), характеризующиеся минимальным снижением PC (<10%) при воздействии засухи на разных этапах онтогенеза.

Группу сортов, у которых было уменьшение содержания протеина в листьях более 20% отно-

Таблица 2.
Изменение морфофизиологических показателей овса под действием почвенной засухи в разные периоды онтогенеза, 2020–2022 годы

Показатель	Кущение			Цветение		
	Контроль	Засуха	% от контроля	Контроль	Засуха	% от контроля
Высота растений, см	87	52	40	87	85	3*
MSI, ед.	60	52	14	59	53	10
RWC, %	68	60	12	69	62	10
CI, ед.	55	47	13	44	41	8*
PC, %	13,6	11,6	15	12,3	10,6	14
Биомасса, г/м ²	8,4	7,1	15	8,4	6,5	23
Масса 1000 зерен, г	36,9	34,2	7*	36,9	30,1	18
Масса зерна в метелке, г	1,9	1,6	11	1,9	1,2	35
Количество зерен в метелке, шт.	51,7	44,0	15	51,7	43,6	16

Примечание. * – изменения статистически недостоверны ($F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$ при $p = 0,05$).

сительно контроля составили: *Уран*, *Льговский*, *Буланый*, *Тигровый*, *Экспресс*, *Дедал*, *Нарымский 943*, *Покровский 9*, *Ровесник* и *Борец*. Разброс снижения PC в результате стресса от засухи в фазе цветения у них – 16...23% контроля.

Наиболее наглядно стресс от различных абиотических факторов, в том числе и от почвенной засухи, выражается в продуктивности сельскохозяйственных культур, которая зависит от элементов структуры урожая. [2, 3, 10, 16, 22]

В среднем за годы исследований биомасса одного растения составила 8,4 г (5,1...15,9 г). Под действием почвенной засухи в фазе кущения она уменьшилась на 15% при варьировании от 2 до 26% относительно контроля. Группу с минимальным снижением (<10%) составили генотипы: *Льговский 82*, *Привет*, *Передовик*, *Ассоль*, *Улов*, *Новосибирский 5* и *Сиг*. Они же характеризовались наименьшим стрессом при цветении – их биомасса уменьшилась менее чем на 15% (среднее значение по коллекции – 23%).

Наиболее сильно отреагировали на дефицит почвенной влаги на разных этапах онтогенеза сорта: *Талисман*, *Экспресс*, *Нарымский 943*, *Орион*, *Буланый*, *Тубинский* и *Таежник* (снижение биомассы – более 20%, по сравнению с контролем).

При детальном анализе структуры урожая выявили различие воздействия почвенной засухи в периоды кущения и цветения. Масса 1000 зерен, которая тесно коррелирует с урожайностью в кущение, не изменялась – отклонения были статистически недостоверны. [12, 23] Засуха в кущение достоверно отразилась на массе 1000 зерен сортов *Новосибирский 5*, *Льговский*, *Льговский 82* и *Иртыш 13* – снижение составило 10% и более. Отсутствие существенного уменьшения этого показателя при ранней засухе обусловлено тем, что налив зерна проходил во второй половине вегетации, когда влагообеспеченность растений была достаточной для восстановления физиологических процессов. Аналогичный вывод сделали ученые из Китая. [25] Отток пластических веществ из ассимиляционного

аппарата в зерно не был нарушен, за исключением вышеуказанных генотипов.

Почвенная засуха во время цветения достоверно повлияла на крупность зерна. Масса 1000 зерен уменьшилась на 18% с варьированием от 7 (*Новосибирский 5*) до 32% (*Львовский*), у сортов *Новосибирский 5*, *Привет*, *КРОСС*, *Ассоль*, *Улов*, *Сиг* и *Передовик* – менее чем на 10%.

Сорта наиболее сильно отреагировавшие на дефицит влаги во время кущения (снижение массы 1000 зерен более чем на 20%): *Черниговский 83*, *Овен*, *Мегион*, *Борец*, *Юбиляр*, *Аватар*, *Виленский*, *Нарымский 943*, *Экспресс*, *Тигровый*, *Таежник*, *Покровский 9*, *Буланый*, *Десант* и *Львовский*.

Почвенные засухи на разных этапах онтогенеза овса практически одинаково повлияли на количество зерен в главной метелке, среднее снижение по коллекции – 15...16% относительно контроля, наиболее подверженные – *Факел*, *Нарымский 943*, *Сиг*, *Ровесник* и *Мегион* (снижение – более 20%), наименее – *Привет*, *Новосибирский 5*, *Баргузин* (8%), *Фауст* (11%), *Иртыш 13* (12%), *Передовик* (12%), *ЗАЛП*. У *Горизонта*, *Егорыча*, *Ассоли*, *КРОССа* и *Улова* снижение количества зерен в главной метелке составило более 19%.

Совокупное влияние факторов на урожайность генотипов определяется по массе зерна в метелке, которая коррелирует с озерненностью и крупностью зерна. [21]

Средняя масса зерна метелки в оптимальных условиях (контроль) – 1,9 г (от 0,6 (*Улов*) до 2,7 г (*Аргумент*)). Учитывая, что коллекция росла в оптимальных условиях, можно объяснить высокую вариабельность генетическими особенностями сортов.

В результате стресса, возникшего от почвенной засухи в кущение, масса зерна в метелке в среднем уменьшилась на 11%. Минимальная негативная реакция (10% и менее) была у половины сортов коллекции. Снижение массы зерна в метелке более чем на 15% относительно контроля отмечено у сортов: *Чиж*, *Борец*, *Талисман*, *Дедал*, *Покровский 9*, *Десант* и *Буланый*.

Почвенная засуха во время цветения овса обусловила уменьшение массы зерна в метелке в среднем на 36% относительно варианта с регулярным поливом (контроль) в диапазоне – от 2 (*Львовский 82* и *Передовик*) до 61% (*Тигровый* и *Черниговский 83*), у 80% генотипов – более чем на 20%. Это подтверждает, что овес генетически не способен выдерживать почвенные засухи второй половины вегетации. Однако наличие таких генотипов как *Львовский 82*, *Передовик*, *Факел* дает возможность создания засухоустойчивых сортов овса.

Таким образом, в ходе изучения коллекции сортов овса по морфофизиологическим показателям, нельзя однозначно судить о генетической устойчивости конкретного сорта по одному или нескольким показателям. Для этого необходим комплексный анализ, в котором учитывается как можно больше показателей, полноценно характеризующих генотип. Мы рассчитали индексы восприимчивости к засухе (DSI) и засухоустойчивости овса (DTI) индивидуально по каждому морфометрическому показателю (табл. 2) с последующим усреднением полученных данных (рис. 1, 2, 3-я стр. обл.).

Установлено, что сорта *Привет*, *Передовик*, *Сиг*, *Фауст*, *Новосибирский 5*, *Баргузин*, *Ассоль* наименее зависимы от дефицита почвенной влаги во время кущения (DSI < 0,83) и цветения (DSI < 0,78) соответственно. У сортов: *КРОСС*, *Виленский* и *Горизонт* при проявлении засухи в более поздний период DSI возрастал, что свидетельствовало о сильном стрессе.

Выделены сорта овса, наиболее восприимчивые к засухе во время кущения и цветения (*Дедал*, *Нарымский 943*, *Песец*, *Львовский*, *Тигровый*, *Экспресс*, *Таежник*, *Буланый*, *Борец*, *Десант*) с индексом более 1,2 ед.

Выявлена сильная положительная корреляция между значениями DSI во время кущения и цветения овса ($r = 0,91$ при $p \leq 0,05$), что дает перспективу создания сортов, обладающих засухоустойчивостью на протяжении всей вегетации.

Расчет DTI для каждого сорта овса с последующим ранжированием подтвердил наличие засухоустойчивых генотипов в коллекции. Средняя величина данного индекса при засухе в кущение и цветение – 0,85. Наименее устойчивые: *Тигровый*, *Черниговский 83*, *Таежник*, *Буланый*, *Борец*, *Дедал*, *Егорыч* и *Экспресс* (менее 0,76). Это подтверждает достоверность ранжирования сортов по DSI.

Группа сортов с низкой толерантностью к засухе во время цветения была почти в два раза больше, в нее дополнительно вошли *Уран*, *Горизонт*, *Аватар*, *Песец*, *Чиж*, *ЗАЛП*, *Покровский 9* и *Улов*.

Сорта с высокой засухоустойчивостью (DTI $\geq 0,94$): *Аргумент*, *КРОСС*, *Баргузин*, *Сиг*, *Фауст*, *Новосибирский 5*, *Привет*, *Передовик* и *Львовский 82* (подтверждается ранее проводимым ранжированием по DSI).

По расчету корреляции Пирсона, связь между морфофизиологическими показателями, которые обычно используют при изучении стресса, вызванного абиотическими факторами, варьирует в широком диапазоне. При засухе в период кущения, корреляция между степенью снижения массы 1000 зерен и морфофизиологическими показателями отсутствовала ($r < 0,20$ при $p > 0,05$). Также ее не было в парах «масса зерна в метелке-RWC» и «количество зерен в метелке-MSI». Степень снижения количества зерен в метелке при засухе во время кущения очень слабо коррелировала с другими показателями состояния растения, но была умеренно связана с индексами восприимчивости к засухе ($r = 0,71$) и засухоустойчивости ($r = 0,63$) при статистической значимости $p = 0,05$. Аналогичная связь была между индексом восприимчивости к засухе (DSI) и показателями: высота растений, относительное содержание воды (RWC) и протеина в листьях овса (PC), биомасса растения. Единственная сильная корреляционная связь установлена между DSI и хлорофилловым индексом – 0,87 при $p = 0,01$. Корреляция Пирсона между DSI и DTI при засухе во время кущения была обратной и умеренной – $r = -0,74$ при $p \leq 0,05$ (табл. 3).

Расчет корреляции показателей, полученных во время почвенной засухи при цветении овса, выявил отсутствие связи между индексами восприимчивости к засухе (DSI), засухоустойчивости (DTI) и морфофизиологическими показателями (табл. 4). Исключение составили пары: «DSI-высота расте-

Таблица 3.

Корреляция между степенью снижения морфофизиологических показателей и индексов под действием засухи во время кущения

Показатель	Высота растения	MSI	RWC	CI	PC	Биомасса растения	Масса 1000 зерен	Масса зерен в метелке	Количество зерен в метелке	DSI
Индекс стабильности мембран (MSI)		1,00								
Относительное содержание воды (RWC)	0,54	0,23	1,00							
Хлорофилловый индекс (CI)	0,62	0,49	0,56	1,00						
Содержание протеина (PC)	0,45	0,43	0,58	0,71	1,00					
Биомасса растения	0,52	0,44	0,24	0,65	0,48	1,00				
Масса 1000 зерен	0,06	0,06	0,12	-0,08	0,05	-0,28	1,00			
Масса зерна в метелке	0,22	0,31	0,20	0,56	0,36	0,54	-0,24	1,00		
Количество зерен в метелке	0,39	0,13	0,30	0,31	0,35	0,38	-0,14	0,19	1,00	
DSI	0,73	0,54	0,70	0,87	0,70	0,71	-0,01	0,66	0,35	1,00
DTI	-0,50	-0,39	-0,36	-0,66	-0,46	-0,63	0,54	-0,61	-0,32	-0,74

Шкала Е.П. Голубкова для коэффициента корреляции Пирсона (по модулю)

0,00...0,20 отсутствует	0,21...0,40 очень слабая	0,41...0,60 слабая	0,61...0,80 умеренная	>0,80 сильная
-------------------------	--------------------------	--------------------	-----------------------	---------------

Таблица 4.

Корреляция между степенью снижения морфофизиологических показателей и индексов под действием засухи во время цветения

Показатель	Высота растения	MSI	RWC	CI	PC	Биомасса растения	Масса 1000 зерен	Масса зерна в метелке	Количество зерен в метелке	DSI
Индекс стабильности мембран (MSI)	0,18	1,00								
Относительное содержание воды (RWC)	0,13	0,66	1,00							
Хлорофилловый индекс (CI)	0,37	0,70	0,66	1,00						
Содержание протеина (PC)	0,31	0,73	0,62	0,76	1,00					
Биомасса растения	0,07	0,75	0,66	0,53	0,52	1,00				
Масса 1000 зерен	0,09	0,81	0,76	0,60	0,61	0,86	1,00			
Масса зерна в метелке	0,03	0,48	0,20	0,27	0,34	0,48	0,39	1,00		
Количество зерен в метелке	-0,09	0,00	-0,04	-0,06	-0,08	0,03	-0,05	0,24	1,00	
DSI	0,24	-0,07	-0,14	0,05	-0,02	-0,03	-0,02	-0,05	0,14	1,00
DTI	0,29	-0,07	-0,14	0,09	-0,02	-0,05	-0,02	-0,08	0,06	0,97

Шкала Е.П. Голубкова для коэффициента корреляции Пирсона (по модулю)

0,00...0,20 отсутствует	0,21...0,40 очень слабая	0,41...0,60 слабая	0,61...0,80 умеренная	>0,80 сильная
-------------------------	--------------------------	--------------------	-----------------------	---------------

ний» и «DTI-высота растений», у которых коэффициент корреляции был равен 0,24 и 0,29, что соответствовало очень слабой связи при статистической значимости ($p = 0,05$). Однако корреляция между морфофизиологическими показателями была выше относительно варианта, где почвенную засуху моделировали в кущение овса. Максимальный коэффициент корреляции отмечен у степени снижения индекса стабильности мембраны (MSI) и относительного содержания воды в листьях растений (RWC) с другими показателями.

Следует отметить сильную корреляцию ($r > 0,80$) у массы 1000 зерен с MSI и биомассой растения, что обуславливает целесообразность обязательного использования индекса стабильности мембран в качестве индикатора продуктивности растений при различных стрессах, вызванных абиотическими факторами.

По результатам кластерного анализа установили, что изучаемая коллекция овса по комплексу показателей делится на четыре группы. I группу из девяти генотипов сформировали сорта, наиболее восприимчивые к засухе на всех стадиях онтогенеза.

Сорта II группы минимально отличаются от I по характеру устойчивости к засухе. Таким образом, они не подходят для включения в селекционный процесс на засухоустойчивость.

Наибольший интерес представляет IV группа, сорта которой в максимальной степени отдалены от других генотипов (рис. 3). В нее входят сорта с высокой степенью засухоустойчивости на всех фазах развития (*Ассоль*, *Новосибирский 5*, *КРОСС*, *Фауст*, *Горизонт*, *Уран*, *Чиж*, *Передовик*, *Привет*, *Сиг* и *Улов*).

К перспективным для селекции можно отнести сорта, входящие в III группу, так как они наиболее приближены к засухоустойчивым генотипам. Однако их устойчивость проявляется только в отдельные фазы онтогенеза.

Выводы. По обобщенным результатам комплексной оценки морфофизиологических показателей, а также индексов восприимчивости к засухе и засухоустойчивости среди изучаемых генотипов овса определены и рекомендованы для использования в селекционных программах в качестве генетических источников с высокой устойчивостью к почвенной засухе в период кущения и цветения

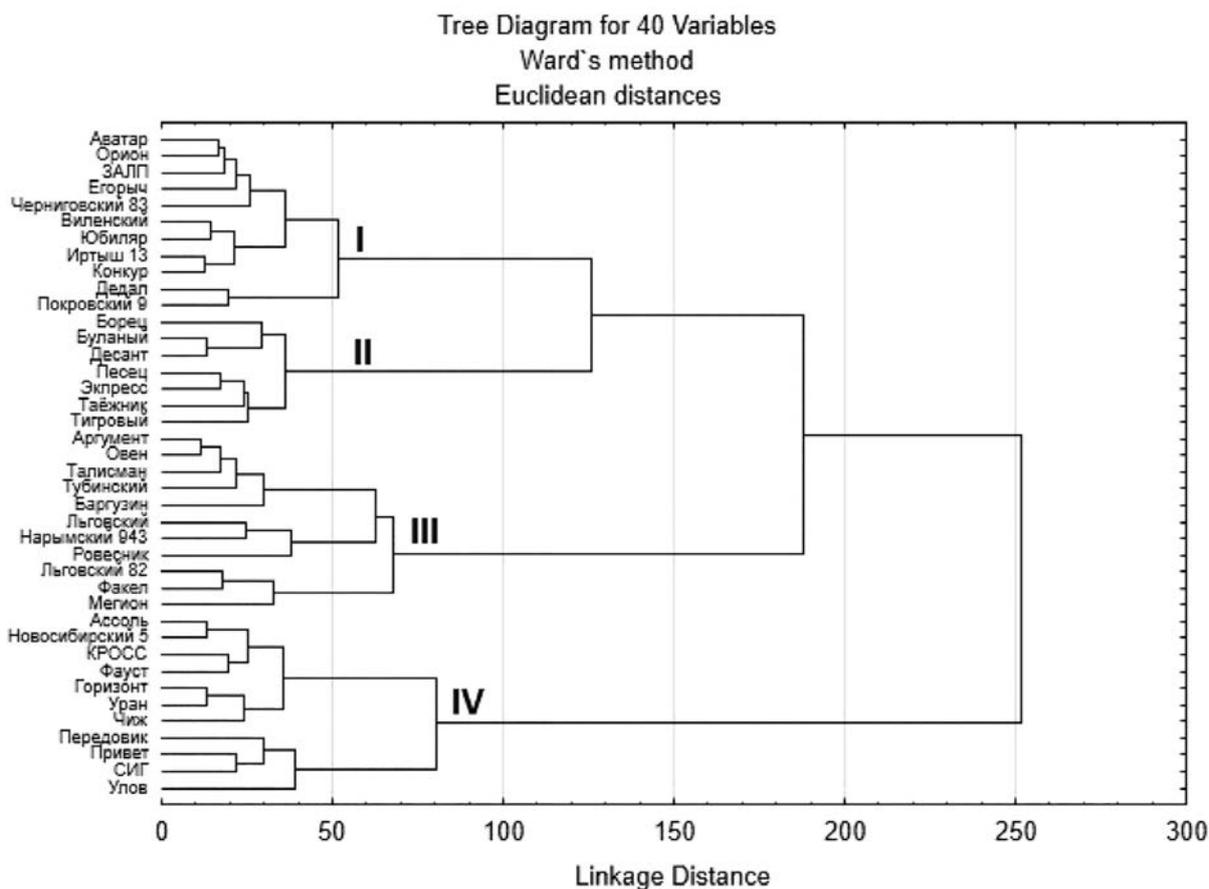


Рис. 3. Кластеризация сортов овса по комплексу показателей устойчивости к засухе в периоды кущения и цветения (Statistica 10).

сорта отечественной селекции: *Ассоль*, *Новосибирский 5*, *КРОСС*, *Фауст*, *Горизонт*, *Уран*, *Чиж*, *Передовик*, *Привет*, *Сиг* и *Улов*. Рекомендуется при разработке модели сорта применять индекс стабильности мембраны и относительное содержание воды в листьях овса. Эти показатели характеризуются высокой корреляцией между элементами структуры урожая, DSI и $DTI - r > 0,5$ при $p = 0,05$.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Асеева Т.А., Грифунтова И.Б. Агрономическая стабильность сортов и линий овса Дальневосточной селекции в условиях Среднего Приамурья // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 91. С. 12–17. DOI: 10.21515/1999-1703-91-12-17. EDN: YOZLIN
2. Барковская Т.А., Гладышева О. В. Влияние кущения на урожайность яровой пшеницы в различных агрометеоусловиях // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5 (77). С. 57–62. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-57-62. EDN: DRMMKN.
3. Вологжанина Е.Н., Баталова Г.А. Урожайность и адаптивные свойства сортов пленчатого овса в Волго-Вятском регионе // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (173). С. 31–36. EDN: IHVLJR.
4. Еремин Д.И., Моисеева М.Н., Еремина Д.В. Урожай и качество зерна овса при различном уровне минерального питания // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 9. С. 48–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_9_48. EDN: TFFMQS

5. Каюгина С.М., Еремин Д.И. Физико-химические свойства серых лесных почв восточной окраины Зауральского Плато // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2022. Т. 15. № 4. С. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399. EDN: YOCLPO.
6. Любимова А.В., Еремин Д.И., Мамаева В.С. и др. Каталог биохимических паспортов сортов овса посевного сибирской селекции // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5 (182). С. 73–83. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83. EDN: RTYWDM.
7. Любимова А.В., Мамаева В.С., Менщикова А.А. Генетическая засухоустойчивость современных сортов овса посевного как ответ глобальному изменению климата // Аграрный вестник Урала. 2022. № 6 (221). С. 49–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59.
8. Любимова А.В., Иваненко А.С. Овес в Тюменской области // Тюмень: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, 2021. 172 с. ISBN 978-5-4266-0203-8. EDN: ARNENM.
9. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Вып. 1. Общая часть. М.: ФГБУ «Госсорткомиссия», 2019. 329 с.
10. Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В., Скороходов В.Ю., Зоров А.А. Влияние погодных условий центральной зоны Оренбургской области, влажности почвы, фона питания и предшественников в севооборотах на урожайность зерна ячменя // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023.

- Т. 16. № 2 (77). С. 24–35. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_2_24. EDN CDXFNE.
11. Пакуль В.Н., Козыренко М.А., Андросов Д.Е. Оценка засухоустойчивости сортов ярового овса в условиях лесостепи Западной Сибири // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 9-3 (51). С. 129–132. DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.093. EDN: WLVDDB.
 12. Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А., Колыченко А.А. Повышенная стабильность образцов овса, ячменя и пшеницы по массе 1000 зерен не связана с меньшей крупностью зерна // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023. Т. 184. № 2. С. 52–65. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-52-65. EDN: NTDCOV.
 13. Сайфуллин Р.Г., Лобачев Ю.В., Бекетова Г.А. и др. Подбор сортов-стандартов для полевых опытов Госсортсети // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. № 6. С. 33–34. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5158> (дата обращения: 26.06.2023).
 14. Сорокина О.А. Оценка трансформации плодородия серых почв по степени гумусированности // *Вестник КрасГАУ*. 2018. № 3 (138). С. 240–246. EDN: XSFVHV.
 15. Тютюма Н.В., Айтпаева А.А. Перспективы развития полевого кормопроизводства в засушливых условиях Астраханской области на основе внедрения длинноротационных кормовых севооборотов и конвейерного производства кормов // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2022. № 3 (67). – С. 24–32. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-02. EDN: LNNEPB.
 16. Фомина М.Н., Брагин Н.А. Влияние элементов технологии на реализацию биологического ресурса у сортов овса нового поколения в зоне северной лесостепи Тюменской области // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 3. С. 22–25. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10304. EDN: CLSUOU.
 17. Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Брагин Н.А., Брагина М.В. Качество зерна перспективных линий овса на заключительном этапе селекционного процесса в условиях Северного Зуралья // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. № 3. С. 34–38. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_34. EDN: JKBBVK.
 18. Харюткина Е.В., Логинов С.В., Морару Е.И. и др. Динамика характеристик экстремальности климата и тенденции опасных метеорологических явлений на территории Западной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2022. Т. 35. № 2 (397). С. 136–142. DOI: 10.15372/AOO20220208. EDN: PRRHZF.
 19. Шепелев С.С., Потоцкая И.В., Чурсин А.С. и др. Маркер-ориентированная селекция яровой мягкой пшеницы на повышение урожайности, качества зерна, устойчивости к болезням и засухе в условиях Западной Сибири // *Зерновое хозяйство России*. 2023. Т. 15. № 2. С. 18–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-18-25. EDN: ХТУМЕV.
 20. Юсова О.А., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Скрининг сортов овса омской селекции для условий южной лесостепи Западной Сибири // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2021. Т. 16. № 1. С. 42–53. DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-1-42-53. EDN: NKNZQB.
 21. Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181. № 2. С. 42–49. – DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49. EDN: KAWUZR.
 22. Ященко С.Н., Логинов Ю.П., Казак А.А. Структурные элементы семян сортов пшеницы в зависимости от сроков сева и норм высева в Северной лесостепи Тюменской области // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 9 (186). С. 55–66. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-55-66. EDN: NEETKL.
 23. Akhtyamova A., Menshikova A., Lyubimova A., Eremin D. Weight of 1000 grains as a factor for assessing the adaptive potential of the oat gene pool used in the breeding of Western Siberia // *AIP Conference Proceedings 2777, 020031 (2023)* <https://doi.org/10.1063/5.0140362> (https://www.researchgate.net/publication/371549044_Weight_of_1000_grains_as_a_factor_for_assessing_the_adaptive_potential_of_the_oat_gene_pool_used_in_the_breeding_of_Western_Siberia)
 24. Lyubimova A.V., Eremin D.I. Prolamin electrophoresis method for assessing the varietal qualities of oat seeds // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019, Rostov-on-Don, 10–13 сентября 2019 года. Vol. 403. Rostov-on-Don: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 012178. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012178. EDN: LTWCWG.*
 25. Zhang X., Liu W., Lv Y. et al. Effects of drought stress during critical periods on the photosynthetic characteristics and production performance of Naked oat (*Avena nuda* L.). *Sci Rep* 12. 11199 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15322-3>.

REFERENCES

1. Aseeva T.A., Trifuntova I.B. Agronomicheskaya stabil'nost' sortov i linij ovsa Dal'nevostochnoj selekcii v usloviyah Srednego Priamur'ya // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. № 91. S. 12–17. DOI: 10.21515/1999-1703-91-12-17. EDN: YOZLIN
2. Barkovskaya T.A., Gladysheva O. V. Vliyaniye kushcheniya na urozhajnost' yarovoy pshenicy v razlichnyh agrometeorologicheskikh usloviyah // *Zernovoe hozjajstvo Rossii*. 2021. № 5 (77). S. 57–62. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-57-62. EDN: DRMMKN.
3. Vologzhanina E.N., Batalova G.A. Urozhajnost' i adaptivnye svojstva sortov plenchatogo ovsa v Volgo-Vyatskom regione // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. № 3 (173). S. 31–36. EDN: IHVLJR.
4. Eremin D.I., Moiseeva M.N., Eremina D.V. Urozhaj i kachestvo zerna ovsa pri razlichnom urovne mineral'nogo pitaniya // *Dostizheniya nauki i tekhniki AПК*. 2022. Т. 36. № 9. S. 48–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_9_48. EDN: TFFMQS
5. Kayugina S.M., Eremin D.I. Fiziko-himicheskie svojstva seryh lesnyh pochv vostochnoj okrainy Zaural'skogo Plato // *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2022. Т. 15. № 4. S. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399. EDN: YOCLPO.
6. Lyubimova A.V., Eremin D.I., Mamaeva V.S. i dr. Katalog biokhimicheskikh pasportov sortov ovsa posevnogo sibirskoj selekcii // *Vestnik KrasGAU*. 2022. № 5 (182). S. 73–83. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83. EDN: RTY-WDM.
7. Lyubimova A.V., Mamaeva V.S., Menshchikova A.A. Geneticheskaya zasuhoustojchivost' sovremennyh sortov ovsa posevnogo kak otvet global'nomu izmeneniyu klimata //

- Agrarnyj vestnik Urala. 2022. № 6 (221). S. 49–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59.
8. Lyubimova A.V., Ivanenko A.S. Oves v Tyumenskoj oblasti // Tyumen': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie nauki Federal'nyj issledovatel'skij centr Tyumenskij nauchnyj centr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk, 2021. 172 s. ISBN 978-5-4266-0203-8. EDN: ARNENM.
 9. Metodika Gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur / Vyp. 1. Obshchaya chast'. M.: FGBU «Gossortkomisiya», 2019. 329 s.
 10. Mitrofanov D.V., Kaftan Yu.V., Skorohodov V.Yu., Zorov A.A. Vliyaniye pogodnyh uslovij central'noj zony Orenburgskoj oblasti, vlazhnosti pochvy, fona pitaniya i predshhestvennikov v sevooborotah na urozhajnost' zerna yachmenya // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. T. 16. № 2(77). S. 24–35. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_2_24. EDN: CDXFNE.
 11. Pakul' V.N., Kozyrenko M.A., Androsov D.E. Ocenka zasuhoustojchivosti sortov yarovogo ovsy v usloviyah lesostepi Zapadnoj Sibiri // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2016. № 9-3 (51). S. 129–132. DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.093. EDN: WLVDDB.
 12. Polonskij V.I., Sumina A.V., Gerasimov S.A., Kolicchenko A.A. Povyshennaya stabil'nost' obrazcov ovsy, yachmenya i pshenicy po masse 1000 zeren ne svyazana s men'shej krupnost'yu zerna // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2023. T. 184. № 2. S. 52–65. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-52-65. EDN: NTDCOV.
 13. Sajfullin R.G., Lobachev Yu.V., Beketova G.A. i dr. Podbor sortov-standartov dlya polevyh opytov Gossortseti // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy. 2014. № 6. S. 33–34. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5158> (data obrashcheniya: 26.06.2023).
 14. Sorokina O.A. Ocenka transformacii plodorodiya seryh pochv po stepeni gumusirovannosti // Vestnik KrasGAU. 2018. № 3 (138). S. 240–246. EDN: XSFVHV.
 15. Tyutyuma N.V., Ajtpaeva A.A. Perspektivy razvitiya polevogo kormoproizvodstva v zasuhlivykh usloviyah Astrahanskoy oblasti na osnove vnedreniya dlinno-rotacionnyh kormovyh sevooborotov i konvejernogo proizvodstva kormov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2022. № 3 (67). – S. 24–32. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-02. EDN: LNNEPB.
 16. Fomina M.N., Bragin N.A. Vliyaniye elementov tekhnologii na realizaciyu biologicheskogo resursa u sortov ovsy novogo pokoleniya v zone severnoj lesostepi Tyumenskoj oblasti // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34. № 3. S. 22–25. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10304. EDN: CLSUOU.
 17. Fomina M.N., Ivanova Yu.S., Bragin N.A., Bragina M.V. Kachestvo zerna perspektivnyh linij ovsy na zaklyuchitel'nom etape selekcionnogo processa v usloviyah Severnogo Zaural'ya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. T. 37. № 3. S. 34–38. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_34. EDN: JKBBVK.
 18. Haryutkina E.V., Loginov S.V., Moraru E.I. i dr. Dinamika harakteristik ekstremal'nosti klimata i tendencii opasnyh meteorologicheskikh yavlenij na territorii Zapadnoj Sibiri // Optika atmosfery i okeana. 2022. T. 35. № 2(397). S. 136–142. DOI: 10.15372/AOO20220208. EDN: PRRHZF.
 19. Shepelev S.S., Potockaya I.V., Chursin A.S. i dr. Marker-orientirovannaya selekciya yarovoj myagkoj pshenicy na povysheniye urozhajnosti, kachestva zerna, ustojchivosti k bolezniam i zasuhe v usloviyah Zapadnoj Sibiri // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2023. T. 15. № 2. S. 18–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-18-25. EDN: XTYMEV.
 20. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Anis'kov N.I., Safonova I.V. Skrining sortov ovsy omskoj selekcii dlya uslovij yuzhnoj lesostepi Zapadnoj Sibiri // Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo. 2021. T. 16. № 1. S. 42–53. DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-1-42-53. EDN: NKNZQB.
 21. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Anis'kov N.I. Izmeneniye urozhajnosti i kachestva zerna ovsy s povysheniem adaptivnosti sortov // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2020. T. 181. № 2. S. 42–49. – DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49. EDN: KAWUZR.
 22. Yashchenko S.N., Loginov Yu.P., Kazak A.A. Strukturnye elementy semyan sortov pshenicy v zavisimosti ot srokov seva i norm vyseva v Severnoj lesostepi Tyumenskoj oblasti // Vestnik KrasGAU. 2022. № 9 (186). S. 55–66. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-55-66. EDN: NEETKL.
 23. Akhtyamova A., Menshikova A., Lyubimova A., Eremin D. Weight of 1000 grains as a factor for assessing the adaptive potential of the oat gene pool used in the breeding of Western Siberia // AIP Conference Proceedings 2777, 020031 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0140362> (https://www.researchgate.net/publication/371549044_Weight_of_1000_grains_as_a_factor_for_assessing_the_adaptive_potential_of_the_oat_gene_pool_used_in_the_breeding_of_Western_Siberia)
 24. Lyubimova A.V., Eremin D.I. Prolamin electrophoresis method for assessing the varietal qualities of oat seeds // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019, Rostov-on-Don, 10–13 sentyabrya 2019 goda. Vol. 403. Rostov-on-Don: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 012178. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012178. EDN: LTWCWG.
 25. Zhang X., Liu W., Lv Y. et al. Effects of drought stress during critical periods on the photosynthetic characteristics and production performance of Naked oat (*Avena nuda* L.). *Sci Rep* 12. 11199 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15322-3>.

*Поступила в редакцию 28.09.2023
Принята к публикации 12.10.2023*

ОЦЕНКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПРИ АНАЛИЗЕ БЮДЖЕТА УГЛЕРОДА В АГРОЛАНДШАФТАХ КАРЕЛИИ*

Ольга Николаевна Бахмет, *член-корреспондент РАН*

Любовь Павловна Евстратова, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*

Елена Валентиновна Николаева, *кандидат сельскохозяйственных наук*

Любовь Викторовна Канцерова, *кандидат биологических наук*

Елена Викторовна Дубина-Чехович

Карельский научный центр Российской академии наук, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия

E-mail: levstratova@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты изучения видового состава многолетних трав и биопродуктивности долголетних фитоценозов в условиях Карелии для последующей оценки пулов углерода. На агроземе торфяном типичном в ходе 30-летней сукцессии произошла перестройка растительного покрова сенокосов с преобладанием в настоящее время крупнотравных сообществ. По результатам геоботанических описаний выделены виды-доминанты, соответствующие условиям избыточного увлажнения, высокой трофности почв и вносящие основной вклад в формирование продуктивности многолетней травянистой растительности. Хозяйственно ценный урожай сухой фитомассы злаково-разнотравного травостоя составил 10,16 т/га и существенно превысил аналогичные показатели (5,46 – 6,79 т/га) разнотравных фитоценозов. Запасы надземной фитомассы (от 12,06 до 17,94 т/га) были больше запасов подземной в 2,1–3,1 раза. Оценка растительного покрова на трансформированных агрофитоценозах дает представление о запасах углерода при сукцессионной смене многолетних травянистых растений.

Ключевые слова: агрофитоценозы, многолетние травы, видовой состав, продуктивность, надземная и подземная фитомасса, углерод

ASSESSMENT OF VEGETATION COVER WHEN ANALYZING THE CARBON BUDGET IN AGRICULTURAL LANDSCAPES OF KARELIA

O.N. Bakhmet, *Corresponding member of the RAS*

L.P. Evstratova, *Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor*

E.V. Nikolaeva, *PhD in Agricultural Sciences*

L.V. Kanzerova, *PhD in Biological Sciences*

E.V. Dubina-Chekhovich

Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia

E-mail: levstratova@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of studying the species composition of perennial grasses and the bioproductivity of long-term phytocenoses in Karelia for the subsequent assessment of carbon pools. On the typical peat agrozone, during the 30-year succession, there was a restructuring of the vegetation cover of hayfields with the predominance of large-grass communities at present. Based on the results of geobotanical descriptions, dominant species were identified that correspond to the conditions of excessive moisture, high trophic soils and make the main contribution to the formation of productivity of perennial herbaceous vegetation. The economically valuable harvest of dry phytomass of grass-mixed herbage amounted to 10.16 t/ha and significantly exceeded similar indicators of 5.46–6.79 t/ha of mixed phytocenoses. The reserves of aboveground phytomass ranged from 12.06 to 17.94 t/ha and exceeded the underground reserves by 2.1–3.1 times. The assessment of vegetation cover on transformed agrophytocenoses gives an idea of carbon reserves during the successional change of perennial herbaceous plants.

Keywords: agrophytocenoses, perennial grasses, species composition, productivity, aboveground and underground phytomass, carbon

В решении проблемы повышения продуктивного долголетия агроландшафтов большое значение имеют многолетние травы, выполняющие природоохранные функции и влияющие на сохранение и накопление органического вещества в биосфере. Урожайность трав во многом определяется развитием корневой системы, которая, как основной источник органического углерода и азота для пополнения запасов гумуса, способствует расширенному воспроизводству плодородия почв. [10]

Важнейший элемент органического вещества — углерод, фонд которого распределяется в фитоценозах на два пула: углерод растительных и почвенных органических компонентов. Первый включает зеленую массу, корневую систему, надземные и подземные растительные остатки (мортмасса), второй — смесь неразложившихся и полуразложившихся, частично гумифицированных растительных остатков; микроббиомассы; продуктов метаболизма растений, животных и микроорганизмов. [18]

* Работа выполнена в рамках Важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» № ВИП ГЗ/23-10 / The work was carried out within the framework of the Most important innovative project of state significance “Unified national monitoring system of climatically active substances” No VIP GZ/23-10.

Процессы гумификации и минерализации органических веществ в почве влияют на интенсивность эмиссии CO_2 на границе почва–приземный слой воздуха. [4]

В агрофитоценозах большое количество органического вещества сосредоточено в надземной сфере из-за фотосинтетического связывания углерода. В благоприятных экологических условиях для травянистой растительности с увеличением объемов аккумуляции этого элемента растет биопродуктивность многолетних травостоев и сток углерода из атмосферы. Интенсивность связывания растениями атмосферного CO_2 и длительное хранение углерода в почве (секвестрация) во многом определяются видовым составом многолетних трав, структурной организацией фитоценоза, плотностью, возрастом травостоя, природно-климатическими условиями территории. Абиотические факторы среды и технологии возделывания трав отражаются на продуктивности растений изменением их фотосинтетической активности. При ухудшении температурного и водного режимов в агрофитоценозах снижается продуктивность надземных органов и возрастает подземная фитомасса. [7]

На образование общей фитомассы расходуется определенное количество органического вещества (углерод), часть которого отчуждается при уборке урожая. Режимы хозяйственного пользования кормовых угодий влияют на запасы корневых остатков, определяющих объемы органического углерода в почве. В случае распашки многолетних агрофитоценозов накопленный в почве углерод может быть частично потерян. [12]

Оценку биологической продуктивности травяных экосистем [17] можно экстраполировать для анализа продуктивности агрофитоценозов многолетних трав, поскольку процесс фотосинтеза одних и тех же видов трав, произрастающих в природных экосистемах и агроценозах, не отличается. Для решения вопросов по рациональному использованию сенокосов, при изучении баланса углерода в агроландшафтах изначально потребовалось оценить запасы фитомассы и продуктивность долголетних агрофитоценозов. Это актуально для почв осушенных торфяников, которые рассматривают как важный источник поступления CO_2 в атмосферу.

Цель работы – изучить видовой состав и биопродуктивность многолетней травянистой растительности сенокосов на агроземе торфяном типичном для последующей оценки запасов углерода в условиях Республики Карелия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на осушенных сельскохозяйственных угодьях, расположенных в Прионежском муниципальном районе южной агроклиматической зоны Карелии. В течение года рассматриваемая территория характеризуется недостаточной теплообеспеченностью (сумма активных температур – 1400...1600 $^{\circ}\text{C}$) и чаще всего избыточным увлажнением (650...725 мм). Имеются засушливые периоды в полевом сезоне. [1]

Отрастание многолетних травянистых растений в 2023 году наблюдали на фоне повышенной

среднемесячной температуры воздуха и дефицита осадков (ГТК май – 0,77). Весенние запасы продуктивной влаги в почве способствовали активному формированию ассимиляционного аппарата растений. Их интенсивный рост и массовое цветение проходили в условиях недостаточной теплообеспеченности и неравномерного распределения осадков (ГТК июнь – 1,08, ГТК июль – 3,21). Благоприятный комплекс тепла и влаги был во время репродуктивного развития и завершения цикла сезонного роста многолетних трав (ГТК август – 1,37, ГТК сентябрь – 1,82).

Повышенное увлажнение второй половины вегетационного периода в сочетании с температурным режимом, близким к среднемноголетним значениям, способствовали значительному накоплению фитомассы многолетних трав.

На мелиорированных агроландшафтах Карелии с помощью архивных почвенных карт КарНЦ РАН [2] выбраны три земельных участка (№ 30, 43, 137) мелиоративного объекта ДКП «Центральный», которые отведены под сенокосы. В соответствии с Паспортом мелиоративной системы [15] площадь участка составляет 9,0...14,6 га. Перезалужение проводили 30 лет назад двукисточником тростниковым.

В исследовании представлены наиболее типичные для природно-климатической зоны Южной Карелии торфяные почвы [21], которые характеризуются специфическими физико-химическими свойствами, обусловленными их генезисом. На земельных участках уровень грунтовых вод в августе находился на глубине: около 100 см – № 30, 120 – 43, 70 см – № 137.

По данным ФГБУ САС «Карельская» кислотность почвенного раствора пахотного горизонта агрозема торфяного типичного 5,5...5,7 (слабокислая), обеспеченность почв подвижными соединениями фосфора и калия повышенное и очень высокое (910...2500 мг/кг и 132...692 мг/кг почвы соответственно), что связано с особенностями подстилающих почвообразующих пород. Вышеуказанные показатели плодородия почв благоприятны для возделывания большинства видов многолетних кормовых трав.

На каждом из мелиоративных участков обособлен выдел с пробной площадью (ПП) и буферной зоной. [14] Пробная площадь представлена в трехкратной повторности, включает относительно равномерно распределенных 9 элементарных участков (ЭУ). На отдельном ЭУ (10×10 м) осуществляли полное геоботаническое описание, отмечали проективное покрытие встречающихся видов в %, а также выделяли доминирующие виды растений по общепринятой методике. [9, 16] Таксономия сосудистых растений приведена по [20] с учетом более поздней работы. [11]

При максимальном формировании травостоя (середина июля) на каждом ЭУ однократно делали укос на уровне поверхности почвы с использованием рамки размером 50×50 см, были учтены надземные растительные остатки (мортмасса). [22]

Влажность зеленой массы определяли путем высушивания отобранного образца, его вес в дальнейшем пересчитывали на урожайность сухой фитомассы и массу растительных остатков (т/га). [13]

Таблица 1.

Результаты факторного анализа по данным геоботанических описаний

Вид растения	Факторная нагрузка (% общей дисперсии)					
	F1 (24,1)	F2 (16,8)	F3 (13,6)	F4 (9,4)	F5 (8,1)	F6 (7,4)
Купырь лесной <i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	-0,66	-0,16	-0,04	-0,24	-0,19	0,44
Крапива двудомная <i>Urtica dioica</i> L.	-0,69	-0,15	0,08	0,39	-0,04	0,21
Осока прямоколосая <i>Carex atherodes</i> Spreng.	0,73	-0,11	-0,02	-0,07	-0,07	0,24
Лабазник (таволга) вязолистный <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	0,86	0,04	-0,09	-0,10	0,05	-0,19
Двуклосточник тростниковый <i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rauschert	0,73	-0,16	-0,06	-0,04	-0,14	-0,13
Камыш лесной <i>Scirpus sylvaticus</i> L.	0,83	-0,12	-0,02	-0,07	-0,06	0,26
Кострец безостый <i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub	-0,10	0,57	-0,06	-0,19	0,69	0,07
Мятлик обыкновенный <i>Poa trivialis</i> L.	-0,07	0,97	-0,04	-0,06	-0,09	0,03
Вероника длиннолистная <i>Veronica longifolia</i> L.	-0,02	0,98	-0,02	-0,05	-0,04	-0,01
Пикульник красивый <i>Galeopsis speciosa</i> Mill.	-0,08	-0,04	0,99	-0,05	-0,02	0,03
Лютик едкий <i>Ranunculus acris</i> L.	-0,09	-0,04	0,99	-0,05	-0,02	0,03
Пырей ползучий <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	-0,17	-0,08	-0,05	0,84	0,04	0,08
Горошек мышиный <i>Vicia cracca</i> L.	-0,03	-0,05	-0,04	0,89	0,05	-0,02
Бодяк полевой <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	-0,26	-0,11	-0,17	0,35	0,62	0,24
Хвощ луговой <i>Equisetum pratense</i> Ehrh.	-0,17	0,38	-0,11	-0,05	-0,64	0,20
Вейник тростниковидный <i>Calamagrostis phragmitoides</i> C. Hartm.	0,01	-0,09	-0,06	-0,11	-0,05	-0,90

РЕЗУЛЬТАТЫ

По геоботаническим описаниям агрофитоценозов выявили различия в их видовом составе. С привлечением факторного анализа получено 6 факторов (F₁–F₆), нагрузки на переменные которых приведены в таблице 1.

По высоким нагрузкам факторов предположили совместное произрастание отдельных видов растений. По первому фактору одинаковые знаки и повышенные нагрузки при переменных свидетельствовали о частом одновременном присутствии в изученных травостоях купыря лесного и крапивы двудомной или сочетания видов: осока прямоколосая, лабазник (таволга) вязолистный, двуклосточник тростниковый, камыш лесной. Вышеуказанные представители отнесены к многолетним высоко-рослым травянистым растениям. [20] Первые два предпочитают открытые территории, хорошо увлажненные и богатые минеральным азотом почвы. Вторые четыре вида произрастают во влажных условиях. Высокие положительные значения нагрузок второго фактора свидетельствуют о приуроченности к совместному существованию костреца безостого, мятлика обыкновенного и вероники длиннолистной, третьего – пикульника красивого и лютика едкого, четвертого – пырея ползучего и горошка мышиного. Особенность костреца, мятлика и вероники – обитание на плодородных почвах, пикульника и лютика – приуроченность к влажной среде. Ценные кормовые растения (горошек мышиный,

пырей ползучий) объединяют их требования к эдафическим условиям. Данные виды предпочитают влажную, но хорошо дренированную почву, богатую органическим веществом с нейтральной или слабокислой реакцией.

Противоположные знаки при высоких значениях нагрузок пятого фактора указывают на отсутствие хвоща лугового в фитоценозах, где встречаются бодяк полевой, кострец безостый, и наоборот. По шестому фактору установлено, что вейник тростниковидный произрастает независимо от встречаемости других видов, поскольку он – сильный эдификатор, обладающий аллелопатическими свойствами. Вейник предпочитает умеренно увлажненные, кислые или слабокислые почвы со средним содержанием минерального азота.

По результатам кластерного анализа получены три группы ЭУ, корректность выделения которых подтверждена дискриминантным анализом на 100% (табл. 2, рисунок).

В первый кластер (I) включено 15 ЭУ (ПП 30 – 8 ЭУ и ПП 43 – 7 ЭУ), на которых преобладали

Таблица 2
Среднее проективное покрытие видов на ЭУ в кластерах, %

Вид	Кластер элементарных участков		
	I	II	III
Купырь лесной <i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	31,40	26,67	3,89
Крапива двудомная <i>Urtica dioica</i> L.	52,00	25,00	4,44
Осока прямоколосая <i>Carex atherodes</i> Spreng.	0,00	0,00	8,11
Лабазник (таволга) вязолистный <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	2,67	10,00	36,67
Двуклесточник тростниковый <i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rauschert	0,00	0,00	25,00
Камыш лесной <i>Scirpus sylvaticus</i> L.	0,00	0,00	3,89
Кострец безостый <i>Bromopsis inermis</i> (Leys.) Holub	4,87	11,67	0,00
Мятлик обыкновенный <i>Poa trivialis</i> L.	0,47	5,00	0,00
Вероника длиннолистная <i>Veronica longifolia</i> L.	0,67	11,67	0,00
Пикульник красивый <i>Galeopsis speciosa</i> Mill.	0,00	1,67	0,00
Лютик едкий <i>Ranunculus acris</i> L.	0,01	0,67	0,00
Пырей ползучий <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	0,40	0,00	0,01
Горошек мышиный <i>Vicia cracca</i> L.	0,20	0,01	0,11
Бодяк полевой <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	2,93	0,00	0,00
Хвощ луговой <i>Equisetum pratense</i> Ehrh.	0,00	1,67	0,01
Вейник тростниковидный <i>Calamagrostis phragmitoides</i> C. Hartm.	0,33	0,00	11,11

купырь лесной и крапива двудомная. Процентное соотношение видов, произрастающих на трех ЭУ (ПП 43 – 2 ЭУ и ПП 30 – 1 ЭУ) второго кластера (II), было иным. Кроме двух вышеуказанных растений, в большом количестве встречались лабазник вязолистный, кострец безостый и вероника длиннолистная. Третий кластер (III), состоящий из 9 элементарных участков ПП 137, по видовому составу отличался от других обследованных площадей. Этот фитоценоз преимущественно состоял из злаковых трав, осок и разнотравья (двуклесточник тростниковый, вейник тростниковидный, осока прямоколосая, лабазник вязолистный). В отличие от двух других ПП купырь лесной и крапива двудомная на данной территории присутствовала гораздо реже.

Средние показатели запасов сухой фитомассы агрофитоценозов представлены в таблице 3. С привлечением однофакторного дисперсионного анализа установлено, что травостой ПП 137 достоверно отличался от остальных большей урожайностью зеленой ($F\text{-ratio} = 20,60$, $p\text{-value} = 0,0000$, $LSD = 3,98$) и сухой фитомассы злаковых трав, а также общей сухой массы травостоя. Многолетние травы на ПП 30 выделялись большим урожаем зеленой массы разнотравья ($F\text{-ratio} = 4,93$, $p\text{-value} = 0,0161$, $LSD = 9,37$). Наименее продуктивным оказался

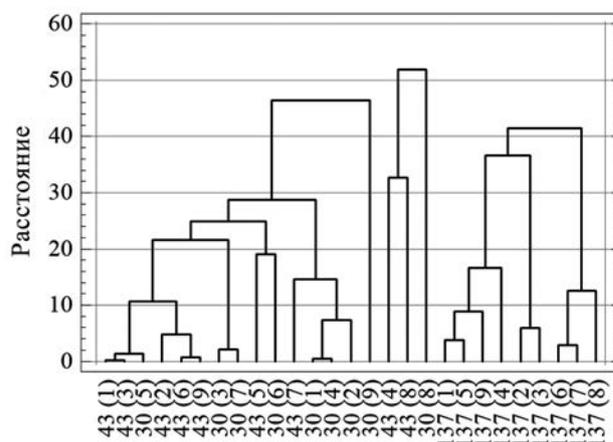
фитоценоз ПП 43. Это может быть связано с различиями ботанического состава торфяной залежи, недостаточным увлажнением растений в первой половине вегетационного периода и наибольшей глубиной залегания грунтовых вод, что стало объектом дальнейших исследований. Продуктивность травостоев на ПП 30 и 43 определялась в основном разнотравьем, а 137 – злаковыми травами и разнотравьем.

В надземной сфере установлены большие запасы мортмассы 6,60...7,78 т/га, но существенных отклонений между растительными остатками на трех ПП не было. На основе анализа весовых показателей сухой подземной части растений выявлено, что ПП 43 достоверно отличалась от остальных меньшей массой живых корней и подземной мортмассой.

На ПП 30 и 43 запасы надземной мортмассы превышали сухую фитомассу соответственно в 1,12 и 1,21 раза, что, по мнению [19], указывает на замедленную минерализацию органического вещества мортмассы.

По запасам фитомассы травянистых растений можно оценить пулы углерода. При анализе бюджета углерода на агродерново-подзолистой типичной почве Карелии исследованиями [6] установлено, что общие его запасы в фитомассе злаково-разнотравного травостоя составили 9,3 т С/га, в том числе подземной – 5,8 и надземной – 3,5 т С/га. Доля каждого пула органического углерода соответствовала 8 и 4%. Запасы углерода почвы под сенокосом – 66,5 т С/га (88%).

Выводы. Агрофитоценозы многолетних трав на агроземе торфяном типичном, пересевавшиеся 30 лет назад, в настоящее время представлены разнотравным (ПП 30 и 43) и злаково-разнотравным (ПП 137) травостоями. В результате сукцессионных процессов наиболее распространены крупнотравные сообщества. В период максимального формирования травостоев выделены виды-доминанты, соответствующие условиям избыточного увлажнения и высокой трофности почв: купырь лесной, крапива двудомная, лабазник вязолистный, кострец безостый и вероника длиннолистная – на ПП 30 и 43, а также двуклесточник тростниковый, вейник тростниковидный, осока прямоколосая, лабазник вязолистный – на ПП 137. Хозяйственно ценный



Кластерная дендрограмма элементарных участков (номера 1...9 в скобках) на ПП 30, 43, 137 по данным геоботанических описаний.

Таблица 3.
Структура растительного покрова
и сухое вещество фитомассы многолетних трав, т/га

Компонент	Номер пробной площади		
	30	43	137
Надземная фитомасса			
Запас сухой фитомассы	6,79	5,46	10,16* (F-ratio = 8,81, p-value = 0,0013, LSD = 2,39)**.
В том числе			4,61*
злаковые	0,40	1,38	(F-ratio = 20,86, p-value = 0,0000, LSD = 1,41)
бобовые	0,06	0,04	0,01
разнотравье	6,33	4,04	5,54
Запас надземной мортмассы	7,63	6,60	7,78
Запас надземной фитомассы	14,42	12,06	17,94
Подземная фитомасса			
Запас подземной фитомассы в слое 0...30 см	7,00	3,86* (F-ratio = 5,18, p-value = 0,0135, LSD = 2,74)	7,95
Общая фитомасса			
Запас фитомассы травостоя	21,42	15,92	25,89
Отношение надземной мортмассы к сухой фитомассе	1,12	1,21	0,77
Отношение подземной фитомассы к надземной	0,49	0,32	0,44

Примечание: * – достоверные отклонения значений от других ПП, ** F-ratio – критерий Фишера фактический, p-value – уровень значимости, LSD – наименьшая существенная разность.

урожай многолетних трав, на формирование которого затрачена часть органического вещества, составил 5,46...10,16 т/га, 56,6% запасов надземной фитомассы и 39,2% общих запасов фитомассы травостоя. Запасы подземной фитомассы (3,86...7,95 т/га) определяют не только интенсивность развития надземной сферы растений, но и способствуют накоплению органического вещества почв. При перепахке темпы его разложения увеличиваются, что приводит к эмиссии CO₂ в атмосферу, поэтому для рационального использования ценных мелиорированных земель и секвестрации углерода целесообразно применять низкзатратные приемы поверхностного улучшения кормовых угодий в зависимости от состояния сенокосов: удаление кочек, расчистка мелиоративных каналов для отвода застойных вод, борьба с сорной растительностью, омоложение травостоев с помощью неглубокого дискования и последующего прикатывания почвы или подсева злаковых трав в дернину с одновременным внесением минеральных удобрений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Агроклиматические ресурсы Карельской АССР. Л., 1974. 114 с.
2. Агрохимические карты. Технология создания и использования. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.gisinfo.ru (Дата обращения 27.02.2023).

3. Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В. и др. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 185 с.
4. Бирюкова О.Н., Бирюков М.В. Запасы органического углерода в почвах // Национальный атлас почв. Ф-т почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. М.: Астрель, 2011. С. 242–243.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
6. Дубровина И.А., Мошкина Е.В., Сидорова В.А. и др. Влияние типа землепользования на свойства почв и структуру экосистемных запасов углерода в среднетаежной подзоне Карелии // Почвоведение. 2021. № 11. С. 1392–1406.
7. Зверева Г.К. Агроценозы (понятия, структура, особенности функционирования): учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2006. 118 с.
8. Ким Дж.-О., Мьюллер П.У., Клекка У.Р. и др. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансовая статистика, 1989. 215 с.
9. Корчагин А.А. Видовой состав растительных сообществ и методы его изучения / Ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. М.; Л.: АН СССР, 1964. Т. 3. С. 39–62.
10. Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Природосохраняющие свойства многолетних кормовых трав // Успехи современного естествознания. 2014. № 12. С. 111–115.
11. Кравченко А.В. Конспект флоры Карелии. Петрозаводск, 2007. 403 с.
12. Кудеяров В.Н. Влияние удобрений и системы земледелия на секвестрацию углерода в почвах // Агрохимия. 2022. № 12. С. 79–96.
13. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: Россельхозакадемия, 1997. 156 с.
14. Методическое руководство по сбору и обработке данных о запасах и бюджете углерода на уровне площадки мониторинга в почвах / В надзаг. Минобрнауки, ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева». v.1-28.11.2022. [Электронный ресурс]. М.: МБА, 2023. 22 с. Режим доступа: http://www.rimn-c.ru/metodica-po-otsenke-pulov-ugleroda-v-sx-pochвах_2023_0628.pdf (Дата обращения 22.09.2023).
15. Паспорт мелиоративной системы «Осушительная система “Вилга-ДКП-Центральный”», 2022. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://inform-raduga.ru/gts/2592> (Дата обращения 27.02.2023).
16. Полевая геоботаника / Под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. В 5 т. Т. 3. М.-Л.: Наука, 1964. 530 с.
17. Продуктивность травяных экосистем: справочник / Составители А.А. Титлянова, С.В. Шибарева; Почвенный институт им. В.В. Докучаева; Институт почвоведения и агрохимии СО РАН. М.: ООО «Издательство МБА», 2020. 100 с.
18. Самбуу А.Д., Дапылдай А.Б., Куулар А.Н. Пул углерода в травяных экосистемах и агроценозах Тувы // Вестник КрасГАУ. 2009. № 12. С. 50–56.
19. Титлянова А.А., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. и др. Продуктивность степей // Степи Центральной Азии. Новосибирск, 2002. С. 95–173.
20. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.
21. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

22. Reinsh S., Linstädter A., Beil I. et al. Aboveground plant biomass. In: Halbritter A.H. (ed.) The handbook for standardized field and laboratory measurements in terrestrial climate-change experiments and observational studies (ClimEx). 2020. P. 46–63.
23. Schmidt I.K., Ostonen I., Blume-Werry G. Belowground plant biomass. In: Halbritter A.H. (ed.) The handbook for standardized field and laboratory measurements in terrestrial climate change experiments and observational studies (ClimEx). 2020. P. 63–76.
- REFERENCES**
1. Agroklimaticheskie resursy Karel'skoj ASSR. L., 1974. 114 s.
 2. Agrohimicheskie karty. Tekhnologiya sozdaniya i ispol'zovaniya. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: www.gisinfo.ru. (Data obrashcheniya 27.02.2023).
 3. Bazilevich N.I., Titlyanova A.A., Smirnov V.V. i dr. Metody izucheniya biologicheskogo krugovorota v razlichnyh prirodnyh zonah. M.: Mysl', 1978. 185 s.
 4. Biryukova O.N., Biryukov M.V. Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvah // Nacional'nyj atlas pochv. F-t pochvovedeniya MGU im. M.V. Lomonosova. M.: Astrel', 2011. S. 242–243.
 5. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
 6. Dubrovina I.A., Moshkina E.V., Sidorova V.A. i dr. Vliyanie tipa zemlepol'zovaniya na svoystva pochv i strukturu ekosistemnyh zapasov ugleroda v srednetaezhnoj podzone Karelii // Pochvovedenie. 2021. № 11. S. 1392–1406.
 7. Zvereva G.K. Agrocenozy (ponyatiya, struktura, osobennosti funkcionirovaniya): uchebnoe posobie. Novosibirsk: Izd-vo NGPU, 2006. 118 s.
 8. Kim Dzh.-O., M'yuller P.U., Klekka U.R. i dr. Faktornyj, diskriminantnyj i klasternyj analiz. M.: Finansovaya statistika, 1989. 215 s.
 9. Korchagin A.A. Vidovoj sostav rastitel'nyh soobshchestv i metody ego izucheniya / Red. E.M. Lavrenko, A.A. Korchagina. M.; L.: AN SSSR, 1964. T. 3. S. 39–62.
 10. Kosolapov V.M., Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P. Priodosokhranyayushchie svoystva mnogoletnih kormovyh trav // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2014. № 12. S. 111–115.
 11. Kravchenko A.V. Konspekt flory Karelii. Petrozavodsk, 2007. 403 s.
 12. Kudeyarov V.N. Vliyanie udobrenij i sistemy zemledeliya na sekvestraciyu ugleroda v pochvah // Agrohimiya. 2022. № 12. S. 79–96.
 13. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevyh opytov s kormovymi kul'turami. M.: Rossel'hozakademiya, 1997. 156 s.
 14. Metodicheskoe rukovodstvo po sboru i obrabotke dannyh o zapasah i byudzhete ugleroda na urovne ploshchadki monitoringa v pochvah / V nadzag. Minobrnauki, FGBNU FIC «Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva». v.1-28.11.2022. [Elektronnyj resurs]. M.: MBA, 2023. 22 s. Rezhim dostupa: http://www.ritm-c.ru.metodica-po-otsenke-pulov-ugleroda-v-sh-pochvah_2023_0628.pdf (Data obrashcheniya 22.09.2023).
 15. Paspport meliorativnoj sistemy «Osushitel'naya sistema "Vilga-DKP-Central'nyj"», 2022. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://inform-raduga.ru/gts/2592> (Data obrashcheniya 27.02.2023).
 16. Polevaya geobotanika / Pod red. E.M. Lavrenko, A.A. Korchagina. V 5 t. T. 3. M.-L.: Nauka, 1964. 530 s.
 17. Produktivnost' travnyanyh ekosistem: spravochnik / Sostaviteli A.A. Titlyanova, S.V. Shibareva; Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva; Institut pochvovedeniya i agrohimii SO RAN. M.: OOO "Izdatel'stvo MBA", 2020. 100 s.
 18. Sambuu A.D., Dapyl'daj A.B., Kuular A.N. Pul ugleroda v travnyanyh ekosistemah i agrocenozah Tuvy // Vestnik KrasGAU. 2009. № 12. S. 50–56.
 19. Titlyanova A.A., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P. i dr. Produktivnost' stepej // Stepi Central'noj Azii. Novosibirsk, 2002. S. 95–173.
 20. Cherepanov S.K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nyh gosudarstv (v predelah byvshego SSSR). SPb., 1995. 992 s.
 21. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii. Smolensk: Ojkumena, 2004. 342 s.
 22. Reinsh S., Linstädter A., Beil I. et al. Aboveground plant biomass. In: Halbritter A.H. (ed.) The handbook for standardized field and laboratory measurements in terrestrial climate-change experiments and observational studies (ClimEx). 2020. P. 46–63.
 23. Schmidt I.K., Ostonen I., Blume-Werry G. Belowground plant biomass. In: Halbritter A.H. (ed.) The handbook for standardized field and laboratory measurements in terrestrial climate change experiments and observational studies (ClimEx). 2020. P. 63–76.

Поступила в редакцию 03.11.2023

Принята к публикации 14.11.2023

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛУЧШАЮЩЕГО ОТБОРА РАСТЕНИЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МИНИКЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

Любовь Павловна Евстратова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Лариса Анатольевна Кузнецова, кандидат сельскохозяйственных наук

Елена Валентиновна Николаева, кандидат сельскохозяйственных наук

Карельский научный центр Российской академии наук, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия

E-mail: levstratova@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты улучшающего отбора растений сортов картофеля ранней группы спелости – Ред Скарлетт, Латона, Импала в оригинальном семеноводстве культуры. За два года исследований визуальная оценка лучших потомств по количеству и массе миниклубней до 35,3%, 50,0, и 62,5% соответствовала результатам их выявления с помощью кластерного и пошагового дискриминантного анализом. У изученных сортов улучшающий отбор на основе визуальной диагностики способствовал получению более продуктивных потомств с массой миниклубней средней (73,5–147,1 г) и крупной фракций (67,7–103,7 г) на одно растение. Вышеуказанные методы многомерного статистического анализа позволили выделить потомства сортов Ред Скарлетт и Импала с повышенной массой средней (105,9–155,4 г) и крупной (93,9–136,2 г), а сорта Латона – всех трех фракций (96,0–165,0 г), перспективные для более эффективного ведения оригинального семеноводства картофеля.

Ключевые слова: картофель, оригинальное семеноводство, миниклубни, улучшающий отбор, продуктивность

THE EFFECTIVENESS OF IMPROVING PLANT SELECTION IN OBTAINING POTATO MINITUBERS

L.P. Evstratova, *Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor*

L.A. Kuznetsova, *PhD in Agricultural Sciences*

E.V. Nikolaeva, *PhD in Agricultural Sciences*

Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia

E-mail: levstratova@yandex.ru

Abstract. The results of improving selection of the early ripeness potato plants varieties – the Red Scarlett, the Latona, the Impala in the original seed production of the culture are presented. During two years of research, visual evaluation of the best progenies by the number and weight of tubers corresponds to the results of their selection using cluster and step-by-step discriminant analyses by 35.3%. 50.0 and 62.5%. In the studied varieties, improving selection based on visual diagnostics contributes to obtaining more fruitful progenies with the average tubers weight of 73.5–147.1 g and a large fraction tubers with 67.7–103.7 g per plant. Additionally, the above mentioned methods of multivariate statistical analysis made it possible to identify the progenies of the Red Scarlett and the Impala varieties with increased weights of medium (105.9–155.4 g) and large (93.9–136.2 g) fractions, and the Latona varieties – of all the three fractions (96,0–165.0 g). These progenies have a potential for more efficient management of the original potato seed production.

Keywords: potatoes, original seed production, mini-tubers, improving selection, productivity

Одна из проблем при микроразмножении картофеля – соматональная изменчивость, частота которой может зависеть от генотипа сорта, концентрации регуляторов роста в среде, продолжительности культивирования растительного материала и других факторов. [4, 7, 11] При последующем вегетативном размножении наблюдаются отклонения от исходного сорта по морфологическим признакам и биологическим свойствам, теряется сортовая оригинальность. [1, 8] Для выявления генетических и эпигенетических отклонений *in vitro* целесообразно выделить типичных для сорта, более продуктивных, свободных от инфекций растений в защищенном грунте путем улучшающего отбора. Необходимость проведения последнего обусловлена тем, что, несмотря на однотипность генотипа сорта, продуктивность растений неоднородна. [4] Некоторые ученые считают, что причинами этих изменений могут быть глубокая клеточная дестабилизация при оздоровлении сортов, а также влияние фитогормонов (аукси-

ны, цитокинины и гиббериллины), регулирующих большинство процессов жизнедеятельности растений (прорастание семенного материала, рост, дифференциация тканей и органов, цветение, созревание плодов). [1, 3, 6]

Улучшающий отбор вегетативных потомств в тепличных условиях будет способствовать повышению эффективности оригинального семеноводства картофеля.

Цель работы – проанализировать результаты отбора наиболее продуктивных растений картофеля на основе визуальной оценки миниклубней и с привлечением отдельных методов многомерного статистического анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на протяжении 2020–2021 годов. Свободный от инфекций исходный меристемный материал выращивали для получения

**Результаты визуального отбора
выделившихся вегетативных потомств
раннеспелых сортов картофеля, среднее за два года**

Число отобранных потомств (общее число изученных)	Крупные d* > 60 мм		Средние d = 10...60 мм		Мелкие d < 9 мм		Всего	
	число, шт.	масса, г	число, шт.	масса, г	число, шт.	масса, г	число, шт.	масса, г
<i>Ред Скарлетт</i>								
7 (48)	0,8	67,7	2,1	94,3	6,4	65,8	8,7	191,1
<i>Латона</i>								
12 (46)	0,8	83,5	2,1	73,5	5,8	63,4	8,2	179,4
<i>Импала</i>								
10 (43)	1,1	103,7	3,0	147,1	5,6	62,8	9,5	292,3

Примечание. d* – диаметр миниклубней.

миниклубней в комбинированной (из поликарбоната и спанбонда) теплице лаборатории агротехнологий «Вилга» отдела комплексных научных исследований КарНЦ РАН. [1]

Использовали сорта картофеля ранней группы спелости – *Ред Скарлетт*, *Латона*, *Импала*. Критерии для отбора лучших растений – их типичность по морфологическим признакам, продуктивность с учетом показателей числа и массы миниклубней, а также стандартный размер последних (ГОСТ 33996-2016) с наибольшим поперечным диаметром – 10...60 мм. [2] При уборке картофеля миниклубни распределяли по фракциям: крупная диаметром более 60 мм и массой более 80 г; средняя – 10...60 и 30...80; мелкая – менее 9 мм и 30 г. [3]

Среди изученных сортов на основе визуальной оценки выделены от 30 до 65 лучших потомств. Корректность их отбора ежегодно проверяли с помощью кластерного (метод Варде, Евклидово расстояние) и пошагового дискриминантного (метод включения) анализов. [5, 10] Экспериментальные данные статистически обрабатывали с использованием программ Microsoft Excel 10 и StatGraphics Centurion XV.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Улучшающий отбор растений картофеля по внешним признакам в условиях защищенного грунта показал, что у изученных сортов распределение миниклубней по фракциям было неодинаково. В среднем за два года из 43...48 потомств отобраны 12,3...30,0% наиболее продуктивных, у которых общее количество миниклубней на одном растении варьировало от 8,2 до 9,5 шт., а их масса – 179,4...292,3 г (см. таблицу).

На примере сорта *Ред Скарлетт* (см. рисунок) представлены результаты статистической обработки полученных экспериментальных данных в 2021 году. При классификации вегетативных потомств вышеуказанного сорта выделены три группы, корректность распределения которых на 85,7% поддержана пошаговым дискриминантным анализом. Основные дискриминаторы, достоверно разде-

ляющие потомства на группы, – показатели массы миниклубней крупной и мелкой фракций.

Для первой группы (42,86%) свойственна повышенная продуктивность миниклубней только средней фракции, второй (30,36%) – наименьшая общая продуктивность. Третья группа (26,79%) выделена максимальными показателями массы и количества миниклубней крупной фракции.

По итогам кластерного анализа урожайных показателей сорта *Латона* также получены три группы потомств (корректность классификации – 98,3%).

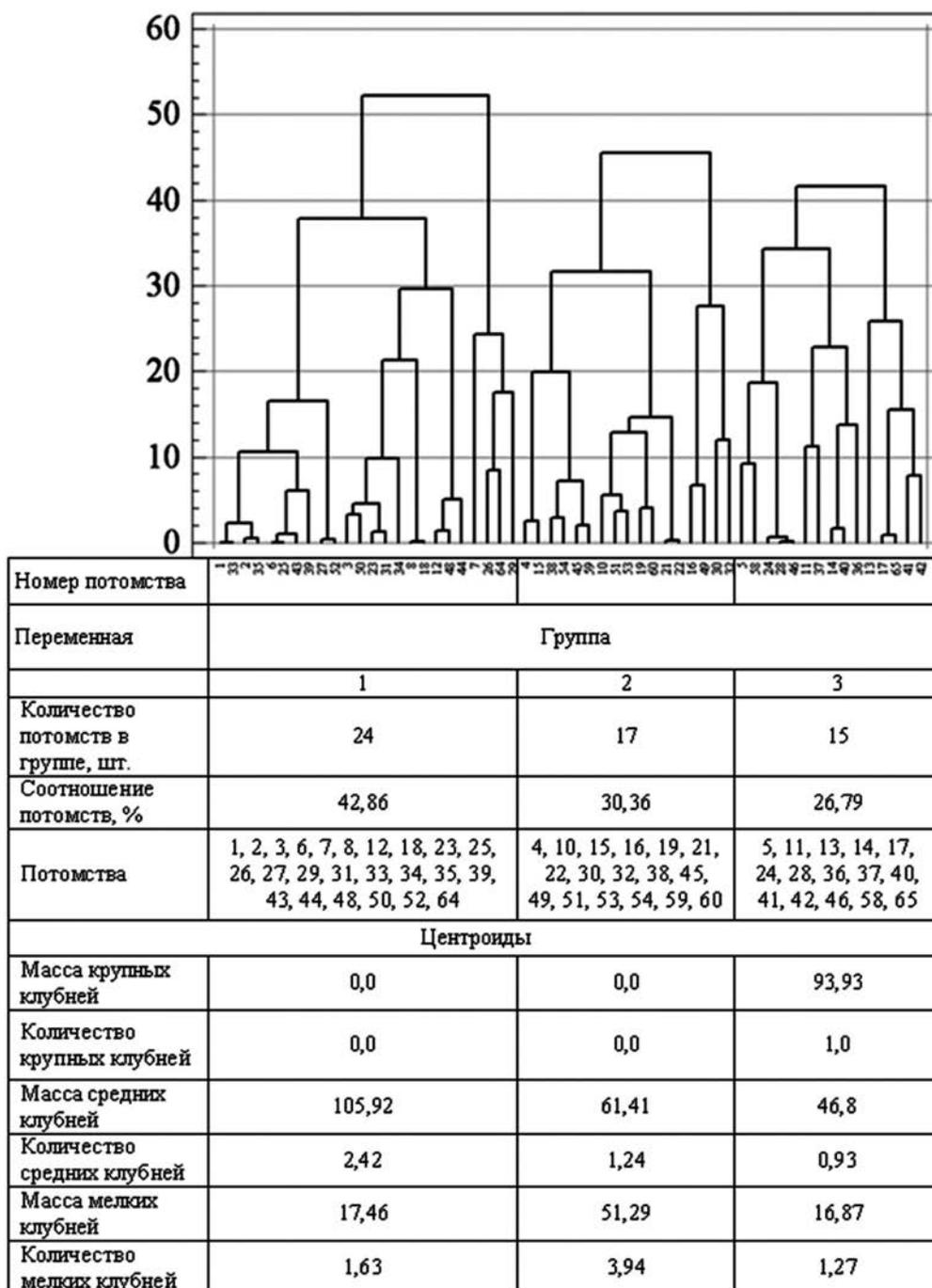
В качестве дискриминаторов установлены переменные в указанном порядке: количество крупной, масса мелкой и средней фракций миниклубней. Первая группа (43,3%) имела наименьшую продуктивность, вторая (53,3%) – максимальные показатели массы и количества миниклубней крупной фракции. Два представителя (3,34%) третьей группы отличились наибольшей продуктивностью из-за средней и мелкой фракций.

Математическая обработка материала сорта *Импала* выделила три группы с корректностью 94,4%. Выявлена следующая последовательность дискриминаторов: количество миниклубней крупной, масса средней и количество мелкой фракций. Первая группа (29,63%) характеризовалась самыми высокими показателями урожая растений, в основном, миниклубнями крупной фракции, вторая (44,44%) – объединяла потомства с минимальной продуктивностью, третья (25,93%) – с преобладанием миниклубней средней фракции.

Для целей оригинального семеноводства представляет интерес отбор потомств, преимущественно имеющих миниклубни стандартного размера. Итоги улучшающего отбора при визуальной оценке растений частично соответствуют данным выделения более продуктивных потомств с привлечением отдельных методов многомерного статистического анализа: у сорта *Ред Скарлетт* – до 35,3%, *Латона* – 50,0, *Импала* – 62,5%. Такой разброс значений можно объяснить тем, что в первом случае учитывали только количество миниклубней на одном растении, а при математической обработке экспериментальных данных – еще и массу.

На основе визуального отбора были выделены представители из разных групп потомств, полученных по результатам статистического анализа. Согласно последнего у сортов *Ред Скарлетт* и *Импала* предпочтительнее осуществлять отбор из первой и третьей групп с повышенной продуктивностью миниклубней средней (2,4...3,4 шт. и 105,9...155,4 г) и крупной (1,0...1,4 шт. и 93,9...136,2 г) фракций, а сорта *Латона* – из второй и третьей с наибольшими значениями всех трех фракций (1,2...7,0 шт. и 96,0...165,0 г).

Выводы. Для повышения эффективности оригинального семеноводства картофеля целесообразно проводить учет продуктивности растений по комплексу количественных показателей с последующим выделением лучших вегетативных потомств на основе использования отдельных методов многомерного статистического анализа. Результаты визуальной оценки урожайных показателей сортов ранней группы спелости – *Ред Скарлетт*, *Латона*, *Импала* до 35,3%, 50,0 и 62,5% соответственно со-



Группировка вегетативных потомств сорта Ред Скарлетт по количеству и массе миниклубней, 2021 год.

впадают с данными математической группировки. Предложенный подход к выделению наиболее продуктивных потомств путем улучшающих отборов типичных и более продуктивных растений в защищенном грунте способствует увеличению выхода высококачественного семенного материала.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Биотехнологические методы получения и оценки оздоровленного картофеля. М.: Агропромиздат, 1988. 34 с.
2. ГОСТ 33996-2016 «Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества». М.: Стандартинформ, 2020. 45 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.

4. Евстратова Л.П., Кузнецова Л.А., Николаева Е.В. и др. Сочетание методов апикальной меристемы и клонового отбора в оригинальном семеноводстве *Solanum tuberosum* L. // Ученые записки Петрозаводского государственного университета . 2018. № 8 (177). С. 23–26.
5. Ким Дж.-О., Мьюллер П.У., Клекка У.Р. и др. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансовая статистика, 1989. 215 с.
6. Князева Т.В. Регуляторы роста растений в Краснодарском крае: монография. Краснодар: ЭДВИ, 2013. 128 с.
7. Лебедев В.Г., Азарова А.Б. Шестибратов К.А. и др. Проявление соматоклональной изменчивости у микро-размноженных и трансгенных растений // Известия ТСХА. Вып. 1. 2012. С. 153–163.

8. Полухин Н.И., Мызгина Г.Х. Преимущества использования улучшающего отбора при производстве оригинальных семян картофеля // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 1. С. 25–31.
9. Сельскохозяйственная биотехнология: Учебник / В.С. Шевелуха, Калашникова, Е.З. Кочиева и др.; Под ред. В.С. Шевелухи. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2008. 710 с.
10. Факторный анализ (подход с использованием ЭВМ): Методическое пособие. Сост. В.Н. Харин. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1992. 190 с.
11. Ehsanpour A.A., Madani S., Hoseini M.V. Detection of somaclonal variation in potato callus induced by UV-C radiation using RAPD-PCR // Gen. Appl. Plant Physiol. 2007. Vol. 33. P. 3–11.
5. Kim Dzh.-O., M'yuller P.U., Klekka U.R. i dr. Faktornyj, diskriminantnyj i klasternyj analiz. M.: Finansovaya statistika, 1989. 215 s.
6. Knyazeva T.V. Reguljatory rosta rastenij v Krasnodarskom krae: monografiya. Krasnodar: EDVI, 2013. 128 s.
7. Lebedev V.G., Azarova A.B. Shestibratov K.A. i dr. Proyavlenie somaklonal'noj izmenchivosti u mikrorazmnozhenykh i transgennykh rastenij // Izvestiya TSKHA. Vyp. 1. 2012. S. 153–163.
8. Poluhin N.I., Myzgina G.H. Preimushchestva ispol'zovaniya uluchshayushchego otbora pri proizvodstve original'nyh seyan kartofelya // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. 2015. № 1. S. 25–31.
9. Sel'skohozyajstvennaya biotekhnologiya: Uchebnik / V.S. Sheveluha, Kalashnikova, E.Z. Kochieva i dr.; Pod red. V.S. Sheveluhi. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Vyssh. shk., 2008. 710 s.
10. Faktornyj analiz (podhod s ispol'zovaniem EVM): Metodicheskoe posobie. Sost. V.N. Harin. Petrozavodsk: KarNC RAN, 1992. 190 s.
11. Ehsanpour A.A., Madani S., Hoseini M.V. Detection of somaclonal variation in potato callus induced by UV-C radiation using RAPD-PCR // Gen. Appl. Plant Physiol. 2007. Vol. 33. P. 3–11.

REFERENCES

1. Biotekhnologicheskie metody polucheniya i ocenki ozdorovlennogo kartofelya. M.: Agropromizdat, 1988. 34 s.
2. GOST 33996-2016 «Kartofel' semennoj. Tekhnicheskie usloviya i metody opredeleniya kachestva». M.: Standartinform, 2020. 45 s.
3. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Kolos, 1979. 416 s.
4. Evstratova L.P., Kuznecova L.A., Nikolaeva E.V. i dr. Sochetanie metodov apikal'noj meristemy i klonovogo otbora

*Поступила в редакцию 10.07.2023
Принята к публикации 24.07.2023*

ВЫДЕЛЕНИЕ ДЛЯ СЕЛЕКЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ К ВЕСЕННИМ ЗАМОРОЗКАМ СОРТОВ СЛИВЫ ИЗ БИОРЕСУРСНОЙ КОЛЛЕКЦИИ ВНИИСПК*

Зоя Евгеньевна Ожерельева, кандидат сельскохозяйственных наук

Ангелика Олеговна Болгова, аспирант

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур,

д. Жилина, Орловская область, Россия

E-mail: ozherelieva@orel.vniispk.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по выделению устойчивых к весенним заморозкам сортов сливы для селекционного использования. Работу проводили в 2022–2023 годах на участках первичного сортоизучения косточковых культур и в лаборатории ФГБНУ ВНИИСПК. Объект изучения – сорта сливы различного генетического происхождения биоресурсной коллекции института. Устойчивость к весенним заморозкам определяли в соответствии с Программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. В лаборатории провели искусственное промораживание в климатической камере Espec PSL-2KPH (Япония). Оценили устойчивость генеративных органов сортов *Prúnus doméstica*, *Prunus salicina* и *Prunus × rossica Erem.* в полевых и контролируемых условиях. Сорта *Prunus × rossica Erem.* – Ветразь, Гек, Злато скифов и *Prunus salicina* – Орловская мечта, Скороплодная, Сувенир Востока показали высокую устойчивость цветков и бутонов после действия температуры минус 3 °С, Венгерка заречная, Стенлей и Кубанская комета – с долей погибших бутонов (не более 10%) и цветков (25%). Полученные в контролируемых условиях данные имели тесную корреляцию с полевой оценкой повреждений цветков сортов сливы $r = 0,75$. Наиболее устойчивые сорта сливы к весенним заморозкам в полевых и лабораторных условиях (Кубанская комета, Скороплодная и Орловская мечта) рекомендуются для использования в селекции.

Ключевые слова: *Prúnus doméstica*, *Prunus salicina*, *Prunus × rossica Erem.*, весенние заморозки, бутоны, цветки, устойчивость

SELECTION FOR BREEDING USE OF PLUM VARIETIES RESISTANT TO SPRING FROSTS FROM THE BIORESOURCE COLLECTION OF VNIISPK

Z.E. Ozhereleva, PhD in Agricultural Sciences

A.O. Bolgova, PhD Student

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilin village, Oryol region, Russia

E-mail: ozherelieva@orel.vniispk.ru

Abstract. Spring frosts during flowering and fruit setting often deprive the plum of the harvest, worsen the general condition of trees and the quality of fruits. In this regard, the purpose of the research was to isolate plum varieties resistant to spring frosts for breeding use. The research was carried out in 2022–2023 at the sites of the primary variety study of stone crops and in the laboratory of the Physiology of the stability of fruit plants of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. The objects of the study were plum varieties of various genetic origin of the bioresource collection of the Institute. The assessment of resistance to spring frosts in the field was carried out in accordance with the “Program and methodology of variety study of fruit, berry and nut crops”. In laboratory conditions, artificial freezing was carried out in the climate chamber Espec PSL-2KPH (Japan). The stability of generative organs of *Prúnus doméstica*, *Prunus salicina* and *Prunus × rossica Erem.* varieties was evaluated. in field and controlled conditions. Varieties of *Prunus × rossica Erem.* – Vetráz’, Gek, Zlato Skifov and *Prunus salicina* – Orlovskaya мечта, Skoroplodnaya, Suvenir Vostoka showed high stability of flowers and buds after the action of temperature –3°C. The varieties Hungarian Zarechnaya, Stanley and Kuban Comet withstood a temperature of –3°C with a proportion of dead buds of no more than 10% and flowers of no more than 25%. The data obtained under controlled conditions had a close correlation with the field assessment of damage to plum blossoms $r = 0.75$. The most resistant to spring frosts in the field and laboratory conditions are the varieties of plum Kubanskaya cometa, Skoroplodnaya and Orlovskaya мечта.

Keywords: *Prúnus doméstica*, *Prunus salicina*, *Prunus × rossica Erem.*, spring frosts, buds, flowers, stability

Слива – ценная косточковая культура. Ее плоды содержат до 21% сахаров, 3 – кислот, 2,5% – пектиновых веществ, 22 мг/100 г витамина С и другие биологически активные соединения, обладают по-

лезными для здоровья человека свойствами (противовоспалительные, антиоксидантные). [12]

Заморозки и другие неблагоприятные погодные условия во время цветения негативно влияют на

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ и тематического плана ВНИИСПК «Создание новых конкурентоспособных, адаптивных сортов косточковых культур с использованием инновационных методов селекции и разработка экологически безопасных элементов технологии выращивания и переработки» (FGZS-2022-0007) / The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the VNIISPK thematic plan “Creation of new competitive, adaptive varieties of stone crops using innovative breeding methods and development of environmentally friendly elements of cultivation and processing technology” (FGZS-2022-0007).

формирование урожая плодовых культур. У большинства из них бутоны начинают гибнуть при минус 1,5°C, раскрывшиеся цветки и завязи – минус 1,0°C. [5, 9, 10, 13]

Потепление климата способствует более раннему развитию растений. Активация ростовых процессов (распускание и цветение генеративных почек) садовых культур в начале весны усиливается, повышается риск поврежденных цветков и бутонов заморозками. [6, 11, 16] В Австрии потепление в апреле 2016 и 2017 годов привело к раннему цветению яблони и от заморозков погибло почти 80% ее урожая. [15] Из-за похолодания в Европе в середине апреля 2017 года урожай яблони снизился на 24, груши – 12%. [17] Во Франции весной 2021 года снижение температуры привело к повреждению виноградников на 24...30%. [14] Последние десять лет швейцарские исследователи отмечают высокие потери при выращивании фруктов и винограда после действия весенних заморозков. [8] В Мичигане в 2007 году заморозки привели к подмерзанию цветочных почек у сортов вишни от 26,7 до 99,3%. [7]

В условиях степного Крыма понижение температуры до минус 2 и минус 4°C в 2017 году вызвало гибель всех генеративных почек гибридных форм сливы русской. [1] Во время цветения альчи в Южной степи Украины (2004 и 2009 годы) понижение температуры воздуха до минус 6...минус 11°C привело к сильному подмерзанию (82...85%) ее генеративных органов. В Краснодарском крае (2004 и 2009 годы) весенние заморозки (минус 6,5...минус 9°C) уничтожили полностью бутоны косточковых культур в период их формирования. [3] Почти ежегодно случаются пониженные положительные температуры и утренние заморозки во время цветения плодовых культур в Орловской области. В I декаде мая 1999 года температура опускалась до минус 3°C, во II – минус 1,5, в 2000 году соответственно до минус 2 и минус 1°C. С середины апреля среднесуточная температура воздуха превысила 10°C, максимальная в III декаде достигла 24,8 и 25,8°C соответственно. Такая теплая погода спровоцировала раннее цветение плодовых культур, что привело к подмерзанию их генеративных органов при последующем понижении температуры. В 2017 году в середине мая во время цветения сложились экстремальные погодные условия: 11 и 13 мая температура воздуха упала до минус 2°C, на поверхности почвы до минус 3,7°C при сильном северном и северо-восточном ветре. Произошло повреждение завязи косточковых культур и цветков яблони. [4, 9]

Селекция с применением устойчивых к весенним заморозкам сортов сливы позволит получить гибридное потомство для выделения новых сортов, отвечающих требованиям современного адаптивного садоводства.

Цель работы – выделить устойчивые к весенним заморозкам сорта сливы для использования их в селекции на заданный признак.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2022–2023 годах на участках первичного сортоизучения косточковых культур и в лаборатории физиологии устойчивости плодовых растений ВНИИСПК.

Почва на участках темно-серая лесная, с содержанием гумуса 3...4%, мощностью гумусового горизонта 30...35 см. Растения были посажены в 2019 году, схема размещения – 5×3 м. В междурядьях использовали черный пар, в приствольных полосах – гербициды.

Объект изучения – 13 сортов сливы различного генетического происхождения из биоресурсной коллекции ФГБНУ ВНИИСПК.

Слива домашняя (*Prunus domestica*): Венгерка белорусская (Деликатная × Стенлей), Венгерка заречная (Мичуринская × Красная десертная), Евразия 21 (получен от спонтанной гибридизации диплоидного сорта Лакресцент), Стенлей (Д'Аген × Гранд Дюк).

Слива китайская (*Prunus salicina*): Неженка (Скороплодная × Китайка), Орловская мечта (Аленушка – свободное опыление), Скороплодная (Уссурийская красная × Клаймакс), Сувенир Востока (Заря × Гигант (повторная гибридизация сортов первого поколения)), ЭЛС 18473 (Скороплодная – свободное опыление).

Слива русская (*Prunus × rossica* Erem.): Ветразь (Элитная форма 18/1 × Скороплодная), Гек (Скороплодная × Отличница), Злато скифов (свободное опыление сорта Кубанская Комета с применением мутагенов), Кубанская комета (Скороплодная × Пионерка).

Полевые учеты и наблюдения проводили согласно Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. [2] Для искусственного промораживания (температура – минус 1... минус 5°C, продолжительность – 4 ч, скорость снижения температуры – 1°C в час) использовали климатическую камеру Еспес PSL-2КРН (Япония). [5]

Сумма активных температур для каждого изученного сорта была рассчитана сложением среднесуточной температуры воздуха (5°C и выше) в весенний период, которая необходима для начала цветения сливы.

Данные обрабатывали методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с помощью программного пакета MS Excel. Существенные различия между сортами ($HCP_{0,5}$) определены с достоверной вероятностью 95%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2022 году из-за продолжительного похолодания цветение сливы прошло позже на одну-две недели в зависимости от сорта. У изучаемых сортов сливы в I декаде мая отметили выдвигание и окрашивание бутонов. Минимальная температура воздуха в это время (минус 1,7°C) не оказала на них негативного влияния (рис. 1). Цветение у большинства сортов сливы наступило во II декаде мая. Сорта Асалода, Кубанская комета, Скороплодная, Сувенир Востока зацвели при сумме активных температур (САТ) – 281,6°C, Венгерка заречная, Ветразь, Злато скифов, Орловская мечта и ЭЛС 18476 – 289,5°C, Венгерка белорусская, Гек, Золотое руно, Евразия 21, Стенлей – 325,1°C. Цветение и плодоношение сортов сливы в 2022 году было обильное (5 баллов).

В 2023 году цветение сливы наступило в более ранние сроки из-за того, что среднесуточная температура воздуха в апреле (8,7°C) была на 3°C

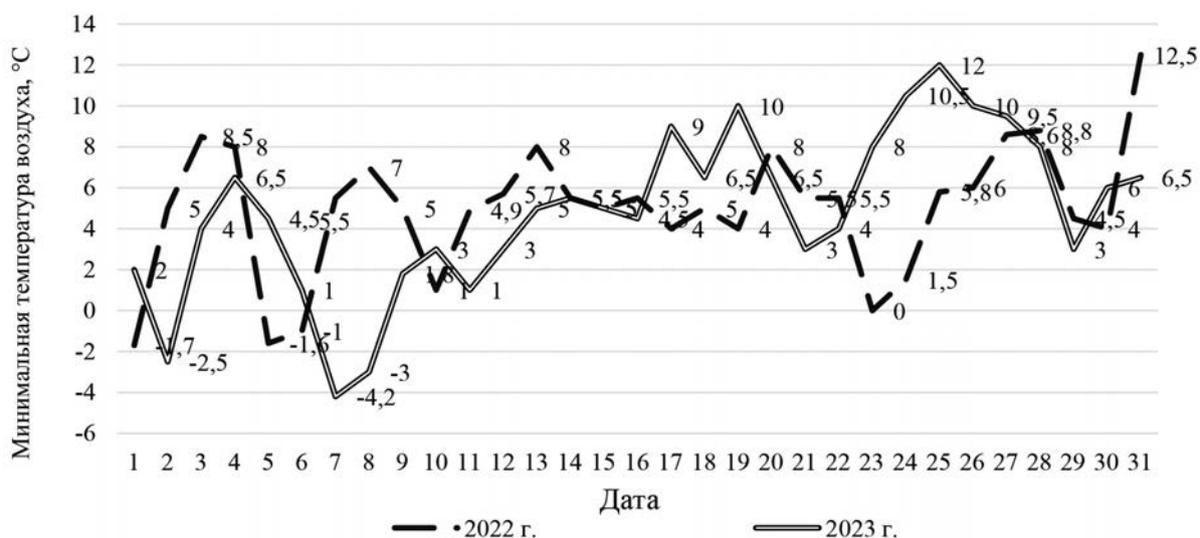


Рис. 1. Минимальная температура воздуха в мае 2022–2023 годов.

выше, чем в 2022 (5,7°C). Большинство сортов зацвели в конце апреля (25.04.23), САТ – 287,0°C, Венгерка белорусская и Стенлей – начале мая (01.05.23), САТ – 328,1°C. Снижение минимальной температуры воздуха до минус 2,5°C в начале мая не вызвало повреждения цветков и бутонов. Только у Евразии 21 и Неженки отметили подмерзание единичных цветков (1...2%). Весенние заморозки повторились 7 и 8 мая (минус 3,0°C и минус 4,2°C). Повреждение цветков варьировало от 18,9 до 66,4%. Максимальный уровень устойчивости отмечен у сортов Кубанская комета, Скороплодная и Орловская мечта. Большинство образцов характеризовались средним уровнем морозостойкости цветков. Сильнее, чем у других сортов они повредились (более 50%) у Злато скифов, Неженки и ЭЛС 18476 (рис. 2).

После воздействия температуры минус 4,2°C у сорта Венгерка заречная произошло слабое подмер-

зание бутонов – 9,4%. У отдельных сортов сливы Злато скифов, Скороплодная, Орловская мечта и Евразия 21 к этому времени образовалась завязь, которая повредилась заморозками по сортам – от 18,9 до 63,2%, в большей степени у Евразии 21 (63,2) и Злато скифов (56,5%).

В 2023 году, несмотря на хорошую и среднюю степень цветения сливы (4...3 балла), плоды сохранились только у некоторых сортов: Орловская мечта, Скороплодная, Венгерка белорусская и Кубанская комета. У Неженки и Евразии 21 отметили единичные плоды. Неблагоприятные погодные условия привели к повреждению генеративных органов сливы, а также плохому лёту пчел и других насекомых, что негативно сказалось на проращении пыльцы, в результате не получилось полноценного оплодотворения и развития завязи.

В контролируемых условиях при снижении температуры до минус 1...2°C сорта сливы имели

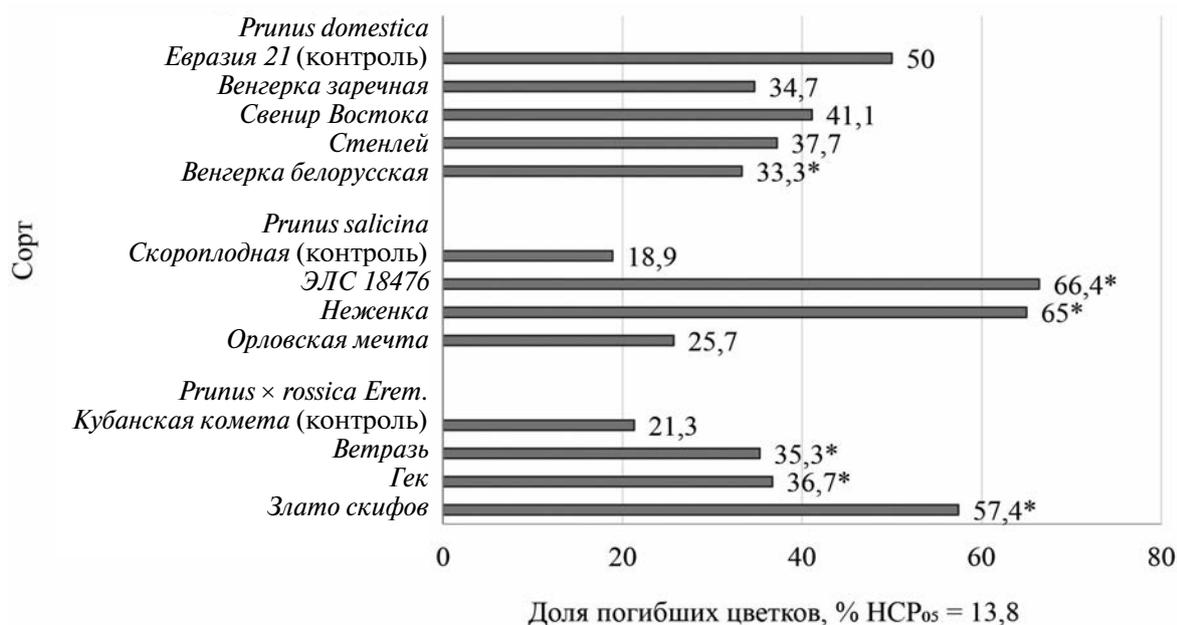


Рис. 2. Доля (%) поврежденных цветков сортов сливы температурой минус 4,2°C в полевых условиях (07.05.23), * – различия с контролем на 5% уровне значимости.

Таблица 1.

Доля поврежденных цветков и бутонов у сливы после действия температуры минус 3°C в контролируемых условиях, среднее за 2022–2023 годы

Сорт	Повреждение, %	
	Бутоны	Цветки
<i>Prúnus doméstica</i>		
Евразия 21 (контроль)	33,5	58,1
Венгерка белорусская	26,5	39,1*
Венгерка заречная	4,5*	9,8*
Стенлей	7,8*	20,9*
<i>Prunus salicina</i>		
Скороплодная (контроль)	0,0	0,0
Орловская мечта	0,0	0,0
Сувенир Востока	0,0	0,0
ЭЛС 18476	0,0	12,7
<i>Prunus × rossica Erem.</i>		
Кубанская комета (контроль)	2,5	17,0
Ветразь	0,0	0,0
Гек	0,0	0,0
Злато скифов	0,0	0,0
НСР ₀₅	15,9	17,1

Примечание. * – различия с контролем на 5% уровне значимости. То же в табл. 2, 3.

Таблица 2.

Доля поврежденных цветков и бутонов у сливы после действия температуры минус 4°C в контролируемых условиях, среднее за 2022–2023 годы

Сорт	Повреждение, %	
	Бутоны	Цветки
<i>Prúnus doméstica</i>		
Евразия 21 (контроль)	46,3	86,8
Венгерка белорусская	47,5	50,0*
Венгерка заречная	33,7	56,7*
Стенлей	13,9*	26,6*
<i>Prunus salicina</i>		
Скороплодная (контроль)	0,8	9,7
Орловская мечта	22,5	34,6
Сувенир Востока	12,2	32,2
ЭЛС 18476	63,2*	75,0*
<i>Prunus × rossica Erem.</i>		
Кубанская комета (контроль)	15,6	21,2
Ветразь	17,7	38,0
Гек	25,4	71,3*
Злато скифов	50,0*	61,4*
НСР ₀₅	28,8	29,6

высокую устойчивость бутонов и цветков, что согласуется с полевыми данными 2022–2023 годов.

Опыты по искусственному промораживанию выявили сорта с высокой устойчивостью цветков и бутонов после действия температуры минус 3°C: слива русская – *Ветразь*, *Гек*, *Злато скифов* и китайская – *Орловская мечта*, *Скороплодная*, *Сувенир Востока*. У *Венгерки заречной*, *Стенлей* и *Кубанской кометы* присутствовала незначительная доля погибших бутонов (не более 10%) и цветков (25%). Самые сильные повреждения обнаружены у сортов сливы домашней – *Евразия 21* и *Венгерка белорусская* (табл. 1).

В контролируемых условиях после действия температуры минус 4,0°C устойчивость цветков выше уровня контрольного сорта (*Евразия 21*) была у сливы домашней: *Венгерка белорусская*, *Венгерка заречная*, *Стенлей*. Сорт *Стенлей* характеризовался устойчивостью бутонов. Хорошую устойчивость цветков и бутонов на уровне контрольного сорта (*Скороплодная*) проявили производные сливы китайской: *Орловская мечта* и *Сувенир Востока*. У *ЭЛС 18476* показатель был ниже уровня контроля. Среди сортов сливы русской хорошей устойчивостью бутонов и цветков на уровне контроля (*Кубанская комета*) выделился

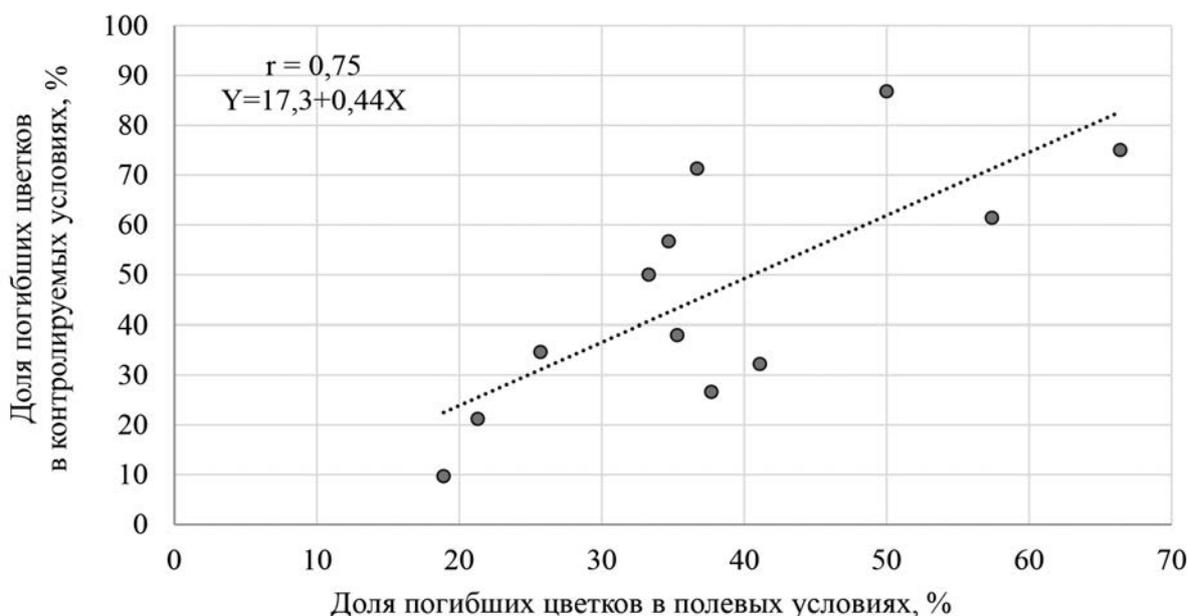


Рис. 3. Зависимость между степенью повреждения отрицательной температурой цветков сливы в полевых и лабораторных условиях.

Таблица 3.
Доля поврежденных цветков и бутонов у сливы после действия температуры минус 5°C в контролируемых условиях, среднее за 2022–2023 годы

Сорт	Повреждение, %	
	Бутоны	Цветки
<i>Prúnus doméstica</i>		
<i>Евразия 21</i> (контроль)	100,0	100,0
<i>Венгерка белорусская</i>	80,0	91,0
<i>Венгерка заречная</i>	87,5	93,3
<i>Стенлей</i>	27,0*	55,5*
<i>Prunus salicina</i>		
<i>Скорплодная</i> (контроль)	39,4	69,0
<i>Орловская мечта</i>	55,0	73,8
<i>Сувенир Востока</i>	39,2	75,5*
<i>ЭЛС 18476</i>	100,0*	100,0*
<i>Prunus × rossica</i> Erem.		
<i>Кубанская комета</i> (контроль)	42,3	69,9
<i>Ветразь</i>	51,3	72,1
<i>Гек</i>	87,5*	94,4*
<i>Злато скифов</i>	100,0*	100,0*
<i>НСР₀₅</i>	19,0	13,5

сорт *Ветразь*. Остальные сорта сливы русской значительно уступали контрольному (табл. 2).

Полученные в контролируемых условиях данные имели тесную корреляцию с полевой оценкой повреждений цветков сортов сливы весенними заморозками (рис. 3).

В результате искусственного промораживания выделили сорта (*Ветразь* и *Орловская мечта*), показавшие среднюю морозостойкость цветков и бутонов при снижении температуры до минус 5°C на уровне своего контроля. Сорт *Стенлей* проявил большую устойчивость, чем контрольный (*Евразия 21*). Для бутонов и цветков остальных изученных сортов сливы такая температура оказалась критической (табл. 3).

Выводы. В результате оценки устойчивости бутонов и цветков к весенним заморозкам сортов *Prúnus doméstica*, *Prunus salicina* и *Prunus × rossica* Erem. из биоресурсной коллекции Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур в полевых и контролируемых условиях выделены и рекомендованы к использованию в селекционном процессе сорта сливы с максимальной выраженностью этого признака — *Кубанская комета*, *Скорплодная* и *Орловская мечта*.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Горина В.М., Лукичева Л.А. Перспективы повышения устойчивости растений алычи (*Prunus cerasifera* Ehrh.) к воздействию отрицательных температур воздуха в условиях степного Крыма // Бюллетень ГНБС. 2019. № 132. С. 67–71. DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.08.
- Джигадло Е.Н., Колесникова А.Ф., Еремин Г.В. и др. Косточковые культуры. В кн.: Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой.

Орел: ВНИИСПК, 1999. С. 300–350. ISBN 5-900705-15-3.

- Ожерельева З.Е., Болгова А.О., Гуляева А.А. Выделение источников высокой устойчивости бутонов и цветков к поздневесенним заморозкам для селекции сливы // Достижение науки и техники АПК. 2022. № 36 (10). С. 49–53. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_10_49.
- Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Устойчивость генеративных органов вишни к весенним заморозкам // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 4. С. 7–10. DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/7-10.
- Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Устойчивость генеративных органов черешни к весенним заморозкам при искусственном промораживании // Юг России: экология, развитие. 2021. № 16 (2). С. 45–54. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-45-54.
- Chitu E., Paltineanu C. Timing of phenological stages for apple and pear trees under climate change in a temperate-continental climate // International Journal of Biometeorology. 2020. Vol. 64. No. 5. PP. 1263–1271. doi: 10.1007/s00484-020-01903-2.
- Demirsoy H., Demirsoy L., Lang G.A. Research on spring frost damage in cherries // Horticultural Science (Prague). 2022. No. 49. PP. 89–94. DOI: 10.17221/91/2021-HORTSCI.
- Hu Y., Asante E.A., Lu Y. et al. A review of air disturbance technology for plant frost protection // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018. Vol. 11. No. 3. PP. 21–28. DOI: 10.25165/j.ijabe.20181103.3172.
- Krasova N., Ozherelieva Z., Galasheva A. et al. Gene pool assessment in terms of apple tree generative organs resistance of different ploidy to spring frost // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 176. No. 03017. DOI: 10.1051/e3sconf/202017603017.
- Lamichhane J.R. Rising risks of late-spring frosts in a changing climate July // Nature Climate Change. 2021. Vol. 11. No. 7. PP. 554–555. DOI: 10.1038/s41558-021-01090-x.
- Pfleiderer P., Menke I., Schleussner C.F. Increasing risks of apple tree frost damage under climate change // Climatic Change. 2019. Vol. 157. PP. 515–525. DOI: 10.1007/s10584-019-02570-y.
- Scedei D.N., Iordănescu O.A., Dragunescu A.A. et al. Plum varieties features from Iugoj, Timis county, Romania, in terms of fruit quality // Scientific Papers. Series B, Horticulture. 2019. Vol. LXIII. No. 1. PP. 123–128.
- Szalay L., Gergő Gyökös I., Békefi Z. Cold hardiness of peach flowers at different phenological stages // Horticultural Science. (Prague). 2018. No. 45. PP. 119–124. DOI: 10.17221/146/2016-HORTSCI.
- Trompiz G. France braces for slump in wine output on weather woes. Reuters. 2021. Available from: <https://www.reuters.com/world/europe/france-forecastsfall-weather-hit-wine-output-historic-low-2021-08-06/> (дата обращения 21.03.2023 г.).
- Unterberger C., Brunner L., Nabernegg S. et al. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate // PLoS ONE. 2018. Vol. 13. No. 7. e0200201. DOI: 10.1371/journal.pone.0200201.
- Vitasse Y., Schneider L., Rixen C. et al. Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. Vol. 248. No. 15. PP. 60–69. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.09.005.
- WAPA. European apple and pear crop forecast. Brussels: World Appel and Pear Organisation; 2018.

REFERENCES

- Gorina V.M., Lukicheva L.A. Perspektivy povysheniya ustojchivosti rastenij alychi (*Prunus cerasifera* Ehrh.) k vozdeystviyu otritel'nyh temperatur vozduha v usloviyah stepnogo Kryma // Byulleten' GNBS. 2019. № 132. S. 67–71. DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.08.
- Dzhigadlo E.N., Kolesnikova A.F., Eremin G.V. i dr. Kostochkovye kul'tury. V kn.: Programma i metodika sortoizucheniya plodovyh, yagodnyh i orekhoplodnyh kul'tur / pod red. E.N. Sedova, T.P. Ogol'covej. Orel: VNIISPK, 1999. S. 300–350. ISBN 5-900705-15-3.
- Ozherel'eva Z.E., Bolgova A.O., Gulyaeva A.A. Vydelenie istochnikov vysokoj ustojchivosti butonov i cvetkov k pozdnevesennim zamorozkam dlya selekcii slivy // Dostizhenie nauki i tekhniki APK. 2022. № 36 (10). S. 49–53. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_10_49.
- Ozherel'eva Z.E., Gulyaeva A.A. Ustojchivost' generativnyh organov vishni k vesennim zamorozkam // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2018. № 4. S. 7–10. DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/7-10.
- Ozherel'eva Z.E., Gulyaeva A.A. Ustojchivost' generativnyh organov chereszni k vesennim zamorozkam pri iskusstvennom promorazhivanii // Yug Rossii: ekologiya, razvitie. 2021. № 16 (2). S. 45–54. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-45-54.
- Chitu E., Paltineanu C. Timing of phenological stages for apple and pear trees under climate change in a temperate-continental climate // International Journal of Biometeorology. 2020. Vol. 64. No. 5. PP. 1263–1271. DOI: 10.1007/s00484-020-01903-2.
- Demirsoy H., Demirsoy L., Lang G.A. Research on spring frost damage in cherries // Horticultural Science (Prague). 2022. No. 49. PP. 89–94. DOI: 10.17221/91/2021-HORTSCI.
- Hu Y., Asante E.A., Lu Y. et al. A review of air disturbance technology for plant frost protection // International Journal Agricultural and Biological Engineering. 2018. Vol. 11. No. 3. PP. 21–28. DOI: 10.25165/j.ijabe.20181103.3172.
- Krasova N., Ozherelieva Z., Galasheva A. et al. Gene pool assessment in terms of apple tree generative organs resistance of different ploidy to spring frost // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 176. No. 03017. DOI: 10.1051/e3sconf/202017603017.
- Lamichhane J.R. Rising risks of late-spring frosts in a changing climate July // Nature Climate Change. 2021. Vol. 11. No. 7. PP. 554–555. DOI: 10.1038/s41558-021-01090-x.
- Pfleiderer P., Menke I., Schleussner C.F. Increasing risks of apple tree frost damage under climate change // Climatic Change. 2019. Vol. 157. PP. 515–525. DOI: 10.1007/s10584-019-02570-y.
- Scedei D.N., Iordănescu O.A., Dragunescu A.A. et al. Plum varieties features from Iugoj, Timis county, Romania, in terms of fruit quality // Scientific Papers. Series B, Horticulture. 2019. Vol. LXIII. No. 1. PP. 123–128.
- Szalay L., Gergő Gyökös I., Békefi Z. Cold hardiness of peach flowers at different phenological stages // Horticultural Science. (Prague). 2018. No. 45. PP. 119–124. DOI: 10.17221/146/2016-HORTSCI.
- Trompiz G. France braces for slump in wine output on weather woes. Reuters. 2021. Available from: <https://www.reuters.com/world/europe/france-forecastsfall-weather-hit-wine-output-historic-low-2021-08-06/> (data obrashcheniya 21.03.2023 g.).
- Unterberger C., Brunner L., Nabernegg S. et al. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate // PLoS ONE. 2018. Vol. 13. No. 7. e0200201. DOI: 10.1371/journal.pone.0200201.
- Vitasse Y., Schneider L., Rixen C. et al. Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. Vol. 248. No. 15. PP. 60–69. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.09.005.
- WAPA. European apple and pear crop forecast. Brussels: World Appel and Pear Organisation; 2018.

Поступила в редакцию 18.07.2023

Принята к публикации 21.07.2023

КЛОНАЛЬНОЕ МИКРОРАЗМНОЖЕНИЕ ЯБЛОНИ

Лариса Владимировна Ташматова, кандидат сельскохозяйственных наук
Ольга Владимировна Мацнева

Татьяна Михайловна Хромова, кандидат биологических наук
Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур,
д. Жилина, Орловская область, Россия
E-mail: tashmatova@orel.vniispk.ru

Аннотация. Представлен обзор материала по изучению вопроса микроразмножения яблони в России и за рубежом. Клональное микроразмножение имеет преимущество по сравнению с традиционным вегетативным (получение оздоровленного генетически однородного материала, скорость процесса, возможность выпуска в течение всего года). За последние десятилетия зарубежными и отечественными исследователями, в том числе учеными нашего института, разработано большое количество протоколов культивирования сортов и подвоев яблони. В связи с гетерозиготностью рода *Malus* часто выпускают протоколы для конкретных генотипов. Проведенный анализ работ показал, что на успешное размножение яблони влияют внешние и внутренние факторы (генотип, физиологическое состояние, компоненты питательной среды, условия адаптации микрорастений). В статье отражены различные подходы к решению таких проблем, как получение асептической культуры на этапе инициации, снижение отрицательного воздействия продуктов окисления фенолов, повышение пролиферативной активности эксплантов при использовании различных питательных сред, а также природных и синтетических гормонов роста — цитокининов, стимуляция корнеобразования, адаптация микрорастений сортов и подвоев яблони в условиях *in vivo*. Появление новых сортов требует разработки индивидуальных условий культивирования.

Ключевые слова: яблоня, клональное микроразмножение, питательная среда, регуляторы роста, пролиферация, укоренение, адаптация

CLONAL MICROPROPAGATION OF APPLE TREES

L.V. Tashmatova, *PhD in Agricultural Sciences*

O.V. Matsneva

T.M. Khromova, *PhD in Biological Sciences*

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilin village, Oryol region, Russia

E-mail: tashmatova@orel.vniispk.ru

Abstract. The purpose of the review is to analyze the state of knowledge of the issue of apple tree reproduction in Russia and abroad. Of all the methods of tissue culture, clonal micropropagation is the most studied, which has a number of advantages in comparison with traditional vegetative multiplication: obtaining healthy material, rapid reproduction, obtaining genetically homogeneous material, the possibility of releasing material throughout the year. Micropropagation has played an important role in the production of healthy, disease-free plants and in the rapid multiplication of apple varieties and rootstocks. This review shows that over the past decades, foreign and domestic researchers, including scientists of our institute, have developed a large number of methods for cultivating varieties and rootstocks of apple trees. Due to the heterozygosity of the genus *Malus*, protocols for specific gene types are often developed. The conducted research analysis showed that the successful reproduction of apple trees is influenced by external and internal factors (genotype, physiological state, components of nutrient media, conditions of adaptation of micro-plants). The review reflects various approaches to solving such problems as obtaining an aseptic culture at the initiation stage, reducing the negative effect of phenol oxidation products, increasing the proliferative activity of explants using various nutrient media, as well as natural and synthetic growth hormones — cytokinins, problems of stimulating root formation as a result of the use of various types of auxins and methods of exposure, the development of conditions for the adaptation of microplants of varieties and rootstocks of apple trees *in vivo*. The emergence of new varieties will require the development of new cultivation conditions.

Keywords: apple tree, clonal micropropagation, nutrient medium, growth regulators, proliferation, rooting, adaptation

Яблоня — одна из ведущих промышленных семечковых культур. Производство плодов яблони находится на третьем месте в мире, уступая кофе и маслине. Главные поставщики — Китай, США, Турция, Польша, Иран, Италия, Индия, Франция, Россия, Чили. С 2000–2019 годов валовый сбор яблок вырос с 59 до 87 млн т, а количество возделываемых площадей снизилось с 5,4 до 4,7 млн га. В Российской Федерации яблони выращивают на 200 тыс. га. Благодаря новым сортам и технологиям мировое производство яблони значительно интенсифицировалось. [1] Эффективность садоводства

зависит от технологии выращивания посадочного материала. [15] Вегетативный метод не гарантирует отсутствие болезней и подчиняется сезону. [30] В развитых странах Европы, Азии, Америки садоводство переведено на безвирусную основу. [13] На территории России посадочный материал высшей категории качества должен быть свободным от вредоносных вирусов. Его размножение возможно при использовании биотехнологических методов. [8, 12]

Достигнуты успехи в области клонального микроразмножения сортов и подвоев яблони. Однако воспроизводимость результатов *in vitro* низкая, и они не

могут быть перенесены с одних объектов на другие, поскольку большинство подвоев и сортов имеют ярко выраженную специфичность морфо- и органогенетической реакции на активность ростовых веществ, витаминов, макро-, микроэлементов и их композиций. [4] Поэтому для наиболее эффективного управления ростом и развитием эксплантов *in vitro* сорта культурных растений нуждаются в индивидуальном подборе компонентов питательных сред и их соотношений. В России получены новые подвои и сорта, размножение которых культурой изолированных меристем мало изучено. [7]

С помощью культуры меристем можно быстро размножить новые сорта или селекционные линии, обеспечивая генетическую стабильность потомства из-за строгого контроля в меристематических клетках. [27, 29]

Растение, выращенное из меристемы, меньше поражается грибными, бактериальными и другими болезнями и, следовательно, не требует большого количества обработок против них, в результате повышается урожайность и регенерационная способность растений в условиях открытого грунта. [14] Такой способ позволяет получить потомство от трудно размножаемых традиционными способами растений. [19]

Процесс клонального микроразмножения можно разделить на четыре этапа: выбор маточных растений, введение в культуру *in vitro*; микроразмножение; укоренение микропобегов; адаптация мериклонов к нестерильным условиям среды. [22, 24]

Этап инициации

Высокая эффективность этапа введения в культуру зависит от схемы стерилизации и типа стерилизаторов, видовых и сортовых особенностей растений, возраста и качества эксплантов. [11]

Для этапа инициации важное значение имеет выбор экспланта. Апоикальная меристема обеспечивает максимальное количество хорошо развитых растений при минимальной доле инфекции и некроза, а также генетическую стабильность регенерантов. Рекомендуемый размер экспланта – 0,1...0,2 мм. [18]

В лаборатории биотехнологии ФГБНУ ВНИИСПК в качестве эксплантов использовали спящие и активно растущие почки. У восьми исследуемых сортов яблони наибольшей регенерационной способностью отличались активно вегетирующие апоикальные почки. [23]

Инициацию культуры *in vitro* яблони можно проводить во время активного роста (конец мая–июль) и в период покоя. [2, 16, 19] В последнем случае процент прижившихся эксплантов ниже. Эти данные подтверждают результаты, полученные в ФГБНУ ВНИИСПК. Приживаемость эксплантов, введенных при активной вегетации (июнь) – 66,5...93,0%, в период затухания роста (август) у всех исследуемых сортов (кроме сорта *Орловское полесье* – 65,6%) – 0%. [21]

На первом этапе важно добиться получения хорошо растущей стерильной культуры, так как на поверхностных тканях растений находятся споры грибов и бактерии. Изучение антисептиков показало неодинаковое влияние их на жизнеспособность и контаминацию эксплантов. [20] Для стерилизации эксплантов яблони многие зарубежные и отече-

ственные исследователи рекомендуют использовать ртутьсодержащие препараты (сулема или диацид 0,1%), хлорсодержащие (1% раствор гипохлорит натрия или Белизна), перекись водорода 12 или 33%. [6, 17, 24, 32] Стерилизация 0,01% раствором диацида или гипохлорита натрия (1:3) в течение 2...5 мин. позволяет получить до 92...99% стерильных эксплантов. [20] Установили, что при стерилизации 0,2% $HgCl_2$ в течение 4 мин. у сорта *Голден Делишес* регенерировало 76% эксплантов, *Восход* – 85, *Максам* – 75%. [31]

Процедура стерилизации включает в себя несколько этапов: промывание однопочковых сегментов в мыльном растворе – 1...2 мин., под проточной водой – 20...40 мин., 70% этанолом – 1 мин., стерильной водой – 10 мин., основным стерилизующим агентом – 5...10 мин., трехкратно стерильной водой по 10 мин. [25]

В лаборатории биотехнологии нашего института изучали влияние ртутьсодержащих стерилизаторов на уровень контаминации и выход жизнеспособных эксплантов яблони. Степень зараженности колебалась от 20,8 (мертиолят) до 98,0% (сулема) в марте-апреле и от 0% (мертиолят) до 10% (сулема) в мае-июне. [21]

Введение в асептическую культуру *in vitro* осложняется окислением фенольных соединений, выделяемых в питательную среду при изоляции экспланта. [5] Было предложено несколько способов предотвращения потемнения эксплантов: выбор времени сбора, добавление в культуральную среду антиоксидантов (аскорбиновая кислота, активированный уголь или поливинилпирролидин). Наши исследования показали, что наибольшее выделение продуктов окисления фенолов было при введении эксплантов в конце весны – начале лета (период активного роста). Для снижения уровня окисления добавляли в питательную среду 10 мг/л аскорбиновой кислоты, почки перед изоляцией меристем выдерживали в растворе аскорбиновой кислоты (3 г/л). Окисление это полностью не снимало, но повышало выход жизнеспособных эксплантов и не требовало дополнительной пересадки на новую среду. [21]

Этап размножения

На эффективность размножения побегов влияют генотип, состав среды, содержание фитогормонов и другое.

Зависимость размножения яблони от генотипа была описана несколькими авторами. Обнаружено, что культурные сорта различаются по их реакции на концентрацию цитокинина 6-бензиламинопурина (БАП) в среде.

О.В. Магушкиной и И.И. Прониной отмечены различия в коэффициенте размножения у девяти сортов яблони. Значения этого показателя колебались от 2,6 (*Имрус*) до 5,0 шт./экспл. (*Синап Орловский*). [9] Сорт *Грушовка Верненская* и дикорастущая форма ТМ-6 также по-разному реагировали на регуляторы роста БАП, ИМК и ГК. [32] Проведенные опыты подтверждают генотипическую реакцию сортов яблони на состав питательной среды, тип и концентрацию цитокининов. [34]

В мировой практике культуру яблони *in vitro* в основном размножают на средах МС с 1/4 содержания

аммонийной формы азота, QL или WPM (для древесных культур), но не все сорта и виды хорошо на них растут и размножаются. [5, 9, 37] На питательной среде WPM наблюдали уменьшение высоты побегов и появление хлороза, возможно, из-за малого количества азота. [30]

В наших работах для повышения коэффициента размножения сортов *Ветеран* и *Имрус* была рекомендована одна из модификаций питательной среды МС, разработанной И.М. Фардиновой для груши, со средним значением компонентов. Коэффициент размножения повышался до 3,3 (*Имрус*) и 2,4 (*Ветеран*). [34]

Некоторые исследователи использовали питательную среду, содержащую комплексные водорастворимые минеральные вещества (Мастер, Акварин), применяемые в садоводстве. Концентрация зависела от генотипических особенностей. [10]

Для культивирования эксплантов плодовых культур можно применять твердые, жидкие и двухслойные питательные среды. На жидких необходимо зафиксировать эксплант с помощью фильтровальных мостиков. [20]

Регуляторы роста в малых дозах активно влияют на обмен веществ высших растений, способствуют снятию апикального доминирования и увеличению коэффициента размножения из-за развития пазушных меристем. [8] К ним относятся природные (метаболиты самих растений) и синтетические (6-бензиламинопуридин (БАП), кинетин, 2-изо-пентениладенин (2-IP), тидиазурон (TDZ), аденин-сульфат) соединения. [26]

Изучение воздействия БАП, кинетина, тидиазурина и зеатина на пролиферацию клоновых подвоев яблони (62-396, 57-195) показало различную реакцию растений на цитокинин, которая также носит генотипический характер. [8]

Для подавляющего большинства исследований по микроразмножению побегов яблони использовали БАП или TDZ. Стимуляция пролиферации с помощью TDZ приводит к деформации листьев и побегов, гипертрофии микроробегов. [36]

При культивировании шести сортов яблони на питательной среде, содержащей TDZ, было отмечено снижение коэффициента размножения, а также витрификация побегов. [35]

Зеатин в концентрации 5,0 мг/л для подвоев яблони несколько снижал коэффициент размножения, по сравнению с БАП, но стимулировал рост побегов, делая их пригодными для укоренения. [8]

В большинстве работ БАП применяли в концентрации от 0,5 до 2 мг/л и установили взаимосвязь между концентрацией 6-БАП и эффективностью пролиферации побегов. [3] При низких концентрациях 6-БАП (0,5 мг/л) было меньше дополнительных почек, побеги развивались из почек экспланта с образованием 3...5 новых микроробегов. Применение высоких концентраций 6-БАП (3 мг/л) вызывало снижение длины микроробегов, делая их не пригодными к укоренению. При концентрации 6-БАП 1 мг/л от одного экспланта в среднем образовывалось 7,5 новых микроробегов.

Оптимальное количество пассажей для клоновых подвоев и сортов яблони — 9...11, с четвертого можно начинать укоренение побегов. [7]

Этап укоренения

Укоренение микроробегов — важный этап процесса микроразмножения. Для этого на питательную среду высаживают побеги длиной 1,5...3,0 см, так как более мелкие хуже укореняются, имеют слабый рост и плохо переносят адаптацию к нестерильным условиям. [7, 23]

Стимулировать ризогенез у размноженных *in vitro* побегов яблони можно, изменяя состав питательной среды на этапе, предшествующем укоренению, способ аппликации индуктора ризогенеза и, в отдельных случаях, температурные условия культивирования.

Исследования показали, что наивысшая степень укоренения (76%) микроробегов яблони сорта *Royal Gala* была достигнута при культивировании на среде, содержащей 1,0 мг/л бензиладенина в течение четырех недель. [33]

Основной индуктор ризогенеза в условиях *in vitro* — это индолилмасляная кислота (ИМК). [26] Используют также индолилуксусную (ИУК) и нафтилуксусную кислоту (НУК), но последняя может вызывать обильный рост каллуса, который ингибирует процессы корнеобразования. [7, 36]

Наиболее распространенный способ аппликации — введение ауксина в состав питательной среды концентрацией 1,0...2,0 мг/л. Но ауксин требуется только на ранней стадии процесса укоренения — индукции корневых зачатков. Длительное воздействие ауксина ингибирует рост корневой и стимулирует каллусообразование. [7] Базальную часть микроробегов обрабатывают ИМК в различных концентрациях и экспозиции: 100 мг/л в течение 30 мин., 30 мг/л — 18 ч, 2,0...3,0 мг/л — 4...7 дн. в темноте. После этого побеги пересаживают на среду, свободную от гормонов. Поэтому происходит более раннее начало корнеобразования (на 4...5 дн.), повышение укореняемости на 10...39%, лучшее развитие корневой системы. [19, 33]

У подвоев частота укоренения выше, чем у сортов, что считается селекционным признаком. [30]

Этап адаптации

Переход от условий *in vitro* к *ex vitro* — важный шаг в структурной и физиологической адаптации растений, так как побеги и растения должны переносить стрессовые условия пересадки. На процесс адаптации оказывают влияние внешние (влажность воздуха, pH, температура, освещение, почвенный субстрат и другие) и внутренние факторы. [3, 30]

Определяющую роль играет влажность воздуха, поскольку при произрастании в культуральном сосуде растения теряют способность регулировать водный режим, гибель может достигать до 80%. [34] Некоторые ученые рекомендуют для создания 100%-й влажности высаживать растения в условия искусственного тумана, в ящики под пленочные каркасы или стаканы. Через две недели снижать влажность до 50...60%, постепенно открывая, а затем удаляя пленку. Начало нового роста адаптируемых регенерантов свидетельствует о завершении процесса. Процент растений, успешно прошедших адаптацию, может достигать в среднем 74. Например, для обеспечения высокой влажности использовали пластиковый купол две-три недели. Растения адаптировали в камере для выращивания с теми же

условиями, что и при микроразмножении. Горшки с микрорастениями накрывали пластиковыми пакетами, которые постепенно снимали в течение одной недели. В итоге несколько сортов яблони были успешно закалены (70...100%). [28]

В качестве субстрата многие исследователи предлагают применять готовые смеси почв, чернозем, торф, перлит, вермикулит, песок, щебень, опилки и другие в различных сочетаниях и пропорциях.

Н.В. Кухарчик с соавторами успешно акклиматизировали подвои яблони на ионообменном субстрате БИОНА-112. Приживаемость растений достигала в среднем 90%. [6]

Метод клонального микроразмножения дает возможность решать проблемы при получении сертифицированного посадочного материала высших категорий. Разработано множество протоколов культивирования яблони, в которых отражены как общие условия, применяемые для широкого спектра сортов и подвоев, так и индивидуальные, для конкретных генотипов. Исследования, проведенные в течение последних лет, значительно их улучшили и расширили из-за внедрения новых регуляторов роста, модификаций питательных сред. Увеличился список сортов, культивируемых в условиях *in vitro*.

Остаются нерешенными вопросы низкой регенерационной способности отдельных генотипов, витрификации тканей, ингибирования ростовых процессов фенольными соединениями, отсутствия знаний о закономерностях процессов регенерации, больших материальных затрат, недостаточного количества высококвалифицированного персонала. Необходимо дальнейшее усовершенствование методики клонального микроразмножения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Атажанова Е.В., Лукичева Л.А. Анализ состояния и мировые тенденции выращивания и селекции яблони // Журнал Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2021. № 3(160). С. 76–85. DOI:10.3605/2712-7788-2021-3-160-76-85
- Беседина Е.Н., Бунцевич Л.Л. Усовершенствования технологии клонального микроразмножения подвоя яблони на этапе введения в культуру *in vitro* // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 111. С. 1716–1734.
- Бочарова Т.Е., Тарасова А.М. Особенности пролиферации при клональном микроразмножении клонового подвоя 54-118 // Плодоводство и ягодоводство России. 2011. Т. 28. № 1. С. 59–64.
- Бунцевич Л.Н., Киян А.Т., Беседина Е.Н., Костюк М.А. Оптимизация питательных сред при клональном микроразмножении подвоев яблони серии СК // Плодоводство и ягодоводство России. 2013. Т. 37. № 1. С. 46–51.
- Ковальчук И.Ю., Кабылбекова Б.Ж., Чуканова Н.И. и др. Клональное микроразмножение в производстве посадочного материала яблони Казахстана // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3 (27). С. 5–12.
- Кухарчик Н.В., Кастрицкая М.С., Семенов С.Э., и др. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro*. Под общ. ред. Н.В. Кухарчик. Минск: Белорусская наука, 2016. 208 с. ISBN: 978-985-08-1952-9.
- Матушкина О.В., Пронина И.Н. Клональное микроразмножение яблони и груши в системе производства высококачественного посадочного материала // АГРО XXI. 2009. № 4–6. С. 28–29.
- Матушкина О.В., Пронина И.Н. Особенности воздействия экзогенных цитокининов и их производных на регенерацию яблони и груши *in vitro* // Достижения науки и практики АПК. 2010. № 8. С. 34–35.
- Матушкина О.В., Пронина И.Н. Регенерационная способность перспективных сортов яблони *in vitro* // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. Т. 47. С. 211–215.
- Матушкина О.В., Пронина И.Н. Технология клонального микроразмножения яблони и груши на основе использования новых питательных сред // Сборник научных трудов Государственно Никитского ботанического сада. 2017. Т. 144-2. С. 77–81.
- Никитина А.В., Леконцева Т.Г., Федоров А.В., Ленточкин А.М. Влияние способа стерилизации и срока введения в культуру *in vitro* на жизнеспособность эксплантов клонового подвоя 54-118 // Вестник Удмуртского университета. 2020. Т. 30. Вып. 4. С. 411–416.
- Посадочный материал плодовых, ягодных, субтропических, орехоплодных, цитрусовых культур и чая. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 45 с.
- Производство и сертификация посадочного материала ягодных культур и винограда в России. Контроль качества. Ягодные культуры. под ред. И.М. Куликова. 2005. Ч. I. 156 с.
- Пронина И.Н., Матушкина О.В. Продуктивность меристемных растений плодовых и ягодных культур *in vitro* // Мат. Всерос. Конф. Перспективы развития интенсивного садоводства. 2016. С. 90–95.
- Ромаданова Н.В. Биотехнология получения оздоровленных саженцев яблони. Алматы, 2020. 126 с. ISBN: 978-601-80631-7-6.
- Ромаданова Н.В., Кушнарченко С.В. Биотехнология для получения безвирусных посадочных материалов яблони // Вестник Карагандинского университета. 2021. № 3 (103). С. 102–118. DOI: 10.31489/2021BMG3/102-118
- Ромаданова Н.В., Мишустина Г.Н., Матакова Г.Н. и др. Введение в культуру *in vitro* и микроразмножение перспективных сортов, клоновых подвоев и дикорастущих форм яблони // Исследования, результаты. Научный журнал. 2013. № 3 (059). С. 142–146. DOI: 10/31489/2021BMG3/102-118
- Семенов С.Э., Змушко А.А., Кухарчик Н.В. Технология производства оздоровленных клоновых подвоев яблони // Плодоводство. 2014. Т. 26. С. 64–78.
- Сулейманова С.Д. Микроразмножение плодовых культур (обзор) // Восточно-европейский научный журнал. 2016. С. 47–54.
- Собралиева Э.А., Палаева Д.О., Батукаев М.С., Батукаев А.А. Состояние изученности микроразмножения плодово-ягодных культур и винограда (обзор литературы) // Мат. междунар. конф. Инновационная деятельность как фактор развития агропромышленного комплекса в современных условиях. Грозный, 2020. С. 100–118. DOI: 10.36684/22-2020-1-100-118.
- Ташматова Л.В., Мацнева О.В., Шахов В.В., Хромова Т.М. Особенности первого этапа клонального микроразмножения иммунных сортов яблони // Современное садоводство. 2018. № 3 (27). DOI: 10.24411/2312-6701-2018-10315.

22. Ташматова Л.В., Мацнева О.В., Шахов В.В., Хромова Т.М. Клональное микроразмножение сортов яблони с геном Vf // Современное садоводство. 2019. № 4. С. 127-134. DOI:10.24411/2312-6701-2019-10413.
23. Ташматова Л.В., Мацнева О.В., Хромова Т.М., Шахов В.В. Регенерационная способность сортов яблони в культуре *in vitro* // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 22-25. DOI:10.30850/vrsn/22-25.
24. Фролова Л.В. Оптимизация некоторых этапов клонального микроразмножения яблони // Плодоводство и ягодоводство России. 2011. Т. 26. С. 250–254.
25. Шевелуха В.С., Калашникова У.А., Дегтярев С.В. и др. Сельскохозяйственная биотехнология. М.: Высшая школа, 1998. 416 с. ISBN: 5-06-003535-2.
26. Amiri E., Elahinia A. Optimization of medium composition for apple rootstocks // Afr. J Biotech. 2011. 30. PP. 3594–3601. DOI: 10.4314/AJB.V1018.
27. Amirchakmaghi N., Hosseinpour B., Yousefzadeh H. Development of a micropropagation protocol for *Malus orientalis* using axillary buds // In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. 2019. Vol. 55, PP. 625–634. <https://doi.org/10.1007/s11627-019-09992-4>.
28. Bolar J.P., Norelli J.L., Aldwinckle H.S. An efficient method for rooting and acclimation of micropropagated apple cultivars // HortScience. 1998. Vol. 33. PP. 1251–1252. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.33.7.1251>.
29. Caboni E., Lauri P., Damiano C., D’Angeli S. Somaclonal variation induced by adventitious shoot regeneration in pear and apple // Acta Hort. 2000. Vol. 530. PP. 195–201. DOI: 10.17660/ActaHortic.2000.530.22.
30. Dobránszki J., Teixeira da Silva J.A. Micropropagation of apple — A review // Biotechnology Advances. 2010. V. 28. No. 4, P. 462–488. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.02.008>.
31. Kabylbekova B.Zh., Chukanova N.I., Turdiyev T.T. et al. Optimization of the cloning *in vitro* different apple genotypes // Experimental Biology. 2019. № 3 (80). PP. 48-57. <https://doi.org/10.26577/eb-2019-3-b5>.
32. Kakimzhanova A., Dyussembekova D., Nurtaza A. et al. An Efficient Micropropagation System for the Vulnerable Wild Apple Species, *Malus silversii*, and Confirmation of Its Genetic Homogeneity // Erwerbs-Obstbau_2022. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00720-8> E.
33. Magyar-Tabori K., Dobranszki J., Hudak I. Effect of cytokinin content of the regeneration media on *in vitro* rooting ability of adventitious apple shoots // Scientia Horticulturae. 2011. Vol. 129. P. 910–913. <https://doi.org/10.1016/j.scienta>.
34. Tashmatova L.V., Matsneva O.V., Khromova T.M., Shakhov V.V. Optimization of individual elements of clonal micropropagation of fruit and berry crops in the production system of healthy planting material // E3S Web of Conferences. Ser. “International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations”, FARBA 2021”. 2021. C. 04001. DOI: 10.1051/e3sconf/202125404001.
35. Tashmatova L.V., Matsneva O.V., Khromova T.M., Shakhov V.V. Influence of different concentrations of 6-benzylaminopurine and thidiazuron on the proliferative activity of apple varieties in *in vitro* culture // BIO Web of Conf. Sciences, 2021.36 03012 DOI: 10.31360/2225-3068-2021-78-76.
36. Teixeira da Silva J.A., Gulyás A., Magyar-Tábori K. et al. *In vitro* tissue culture of apple and other *Malus* species: recent advances and applications // Planta. 2019. Vol. 249. PP. 975–1006. <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03100-x>.
37. Zhang Y., Bozorov T.A., Li D. X. et al. An efficient *in vitro* regeneration system from different wild apple (*Malus sieversii*) // Plant Methods. 2020. Vol. 56. PP. 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00599-0>

REFERENCES

- Atazhanova E.V., Lukicheva L.A. Analiz sostoyaniya i mirovye tendencii vyrashchivaniya i selekcii yablони // Zhurnal Biologiya rastenij i sadovodstvo: teoriya, innovacii. 2021. № 3(160). S. 76-85. DOI: 10.3605/2712-7788-2021-3-160-76-85
- Besedina E.N., Buncevich L.L. Uovershenstvovaniya tekhnologii klonal'nogo mikrorazmnozheniya podvoya yablони na etape vvedeniya v kul'turu *in vitro* // Politematicheskij setevoy elektronnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 111. S. 1716-1734.
- Bocharova T.E., Tarasova A.M. Osobennosti proliferacii pri klonal'nom mikrorazmnozhenii klonovogo podvoya 54-118 // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2011. T.28. № 1. S. 59-64.
- Buncevich L.N., Kiyani A.T., Besedina E.N., Kostyuk M.A. Optimizaciya pitatel'nyh sred pri klonal'nom mikrorazmnozhenii podvoev yablони serii SK // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2013. T.37. № 1. S. 46-51.
- Koval'chuk I.Yu., Kabylbekova B.Zh., Chukanova N.I. i dr. Klonal'noe mikrorazmnozhenie v proizvodstve posadochnogo materiala yablони Kazah-stana // Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2020. № 3(27). S. 5-12.
- Kuharchik N.V., Kastrickaya M.S., Semenas S.E., i dr. Razmnozhenie plodovyh i yagodnyh rastenij v kul'ture *in vitro*. Pod obshch. red. N.V. Kuharchik. Minsk: Belaruskaya navuka, 2016. 208 s. ISBN: 978-985-08-1952-9.
- Matushkina O.V., Pronina I.N. Klonal'noe mikrorazmnozhenie yablo-ni i grushi v sisteme proizvodstva vysokokachestvennogo posadochnogo materiala // AGRO XXI. 2009. № 4-6. S. 28-29.
- Matushkina O.V., Pronina I.N. Osobennosti vozdejstviya ekzogenykh citokininov i ih proizvodnyh na regeneraciyu yablони i grushi *in vitro* // Dostizheniya nauki i praktiki APK. 2010. № 8. S. 34-35.
- Matushkina O.V., Pronina I.N. Regeneracionnaya sposobnost' perspektivnyh sortov yablони *in vitro* // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2016. T.47. S. 211-215.
- Matushkina O.V., Pronina I.N. Tekhnologiya klonal'nogo mikrorazmnozheniya yablони i grushi na osnove ispol'zovaniya novykh pitatel'nyh sred // Sbornik nauchnyh trudov Gosudarstvenno Nikitskogo botanicheskogo sada. 2017. T.144-2. S. 77-81.
- Nikitina A.V., Lekonceva T.G., Fedorov A.V., Lentochkin A.M. Vliyanie sposoba sterilizacii i sroka vvedeniya v kul'turu *in vitro* na zhiznesposobnost' eksplantov klonovogo podvoya 54-118 // Vestnik Udmurtskogo uni-versiteta. 2020. T.30. Vyp.4. S. 411-416.
- Posadochnyj material plodovyh, yagodnyh, subtropicheskikh, orekhoplodnyh, citrusovyh kul'tur i chaya. Tekhnicheskie usloviya. M.: Standartin-form, 2009. 45 s.
- Proizvodstvo i sertifikaciya posadochnogo materiala yagodnyh kul'tur i vinograda v Rossii. Kontrol' kachestva. Yagodne kul'tury. pod red. I.M. Kulikova. 2005. Ch.I. 156 s.
- Pronina I.N., Matushkina O.V. Produktivnost' meristemnyh rastenij plodovyh i yagodnyh kul'tur *in vitro* // Mat. Vseros. Konf. Perspektivy razvitiya intensivnogo sadovodstva. 2016. S. 90-95.

15. Romadanova N.V. Biotekhnologiya polucheniya ozdorovlennykh sazhencev yabloni. Almaty, 2020. 126 s. ISBN: 978-601-80631-7-6.
16. Romadanova N.V., Kushnarenko S.V. Biotekhnologiya dlya polucheniya bez-virusnykh posadochnykh materialov yabloni // Vestnik Karagandinskogo uni-versiteta. 2021. № 3(103). S. 102–118. DOI: 10.31489/2021BMG3/102-118
17. Romadanova N.V., Mishustina G.N., Matakova G.N. i dr. Vvedenie v kul'turu in vitro i mikroklonal'noe razmnnozhenie perspektivnykh sortov, klonovykh podvoev i dikorastushchih form yabloni // Issledovaniya, rezul'taty. Nauchnyy zhurnal. 2013. № 3 (059). S. 142–146. DOI: 10/31489/2021BMG3/102-118
18. Semenas S.E., Zmushko A.A., Kuharchik N.V. Tekhnologiya proizvodstva ozdorovlennykh klonovykh podvoev yabloni // Plodovodstvo. 2014. T. 26. S. 64–78.
19. Sulejmanova S.D. Mikroklonal'noe razmnnozhenie plodovoy kul'tur (obzor) // Vostochno-evropejskij nauchnyy zhurnal. 2016. S. 47–54.
20. Sobralieva E.A., Palaeva D.O., Batukaev M.S., Batukaev A.A. Sostoya-nie izuchennosti mikroklonal'nogo razmnnozheniya plodovo-yagodnykh kul'tur i vinograda (obzor literatury) // Mat. mezhd. konf. Innovacionnaya deyatelnost' kak faktor razvitiya agropromyshlennogo kompleksa v sovremen-nykh usloviyah. Groznyj, 2020. S. 100–118. DOI: 10.36684/22-2020-1-100-118
21. Tashmatova L.V., Macneva O.V., Shahov V.V., Hromova T.M. Osobenno-sti pervogo etapa klonal'nogo mikrorazmnnozheniya immunnykh sortov yabloni // Sovremennoe sadovodstvo. 2018. № 3 (27). DOI: 10.24411/2312-6701-2018-10315
22. Tashmatova L.V., Macneva O.V., Shahov V.V., Hromova T.M. Klonal'noe mikrorazmnnozhenie sortov yabloni s genom Vf // Sovremennoe sadovodstvo. 2019. № 4. S. 127–134. DOI: 10.24411/2312-6701-2019-10413
23. Tashmatova L.V., Macneva O.V., Hromova T.M., Shahov V.V. Regeneracionnaya sposobnost' sortov yabloni v kul'ture in vitro // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2020. № 1. S. 22–25. DOI: 10.30850/vrsn/22-25
24. Frolova L.V. Optimizaciya nekotorykh etapov klonal'nogo mikrorazmnnozheniya yabloni // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2011. T. 26. S. 250–254.
25. Sheveluha V.S., Kalashnikova U.A., Degtyarev S.V. i dr. Sel'skohozyajstvennaya biotekhnologiya. M.: Vysshaya shkola, 1998. 416 s. ISBN:5-06-003535-2.
26. Amiri E., Elahinia A. Optimization of medium composition for apple root-stocks // Afr. J Biotech. 2011. 30. PP. 3594–3601. DOI: 10.4314/AJB.V1018
27. Amirchakhmaghi N., Hosseinpour B., Yousefzadeh H. Development of a micropropagation protocol for Malus orientalis using axillary buds // In vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. 2019. Vol. 55, PP. 625–634. <https://doi.org/10.1007/s11627-019-09992-4>
28. Bolar J.P., Norelli J.L., Aldwinckle H.S. An efficient method for rooting and acclimation of micropropagated apple cultivars // HortScience. 1998. Vol. 33. PP. 1251–1252. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.33.7.1251>
29. Caboni E., Lauri P., Damiano C., D'Angeli S. Somaclonal variation induced by adventitious shoot regeneration in pear and apple // Acta Hort. 2000. Vol. 530. PP. 195–201. DOI: 10.17660/ActaHortic.2000.530.22
30. Dobránszki J., Teixeira da Silva J.A. Micropropagation of apple — A re-view // Biotechnology Advances. 2010. V. 28. No. 4, P. 462–488. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.02.008>
31. Kabybekova B.Zh., Chukanova N.I., Turdiyev T.T. et al. Optimization of the cloning in vitro different apple genotypes // Experimental Biology. 2019. № 3 (80). PP. 48–57. <https://doi.org/10.26577/eb-2019-3-b5>
32. Kakimzhanova A., Dyussembekova D., Nurtaza A. et al. An Efficient Micropropagation System for the Vulnerable Wild Apple Species, Malus silversii, and Confirmation of Its Genetic Homogeneity // Erwerbs-Obstbau. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00720-8>
33. Magyar-Tabori K., Dobranszki J., Hudak I. Effect of cytokinin content of the regeneration media on in vitro rooting ability of adventitious apple shoots // Scientia Horticulturae. 2011. Vol. 129. P. 910–913. <https://doi.org/10.1016/j.scienta>
34. Tashmatova L.V., Matsneva O.V., Khromova T.M., Shakhov V.V. Optimization of individual elements of clonal micropropagation of fruit and berry crops in the production system of healthy planting material // E3S Web of Conferences. Ser. “International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations”, FARBA 2021”. 2021. S. 04001. DOI: 10.1051/e3sconf/202125404001
35. Tashmatova L.V., Matsneva O.V., Khromova T.M., Shakhov V.V. Influence of different concentrations of 6-benzylaminopurine and thidiazuron on the proliferative activity of apple varieties in in vitro culture // BIO Web of Conf. Sciences, 2021.36 03012. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-78-76
36. Teixeira da Silva J.A., Gulyás A., Magyar-Tábori K. et al. In vitro tissue culture of apple and other Malus species: recent advances and applications // Planta. 2019. Vol. 249. PP. 975–1006. <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03100-x>
37. Zhang Y., Bozorov T.A., Li D. X. et al. An efficient in vitro regeneration system from different wild apple (Malus sieversii) // Plant Methods. 2020. Vol. 56. PP. 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00599-0>

*Поступила в редакцию 26.06.2023
Принята к публикации 10.07.2023*

АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОРТОВ И ГИБРИДОВ ЗЕМЛЯНИКИ КРУПНОПЛОДНОЙ (*FRAGARIA* × *ANANASSA DUCH.*) В УСЛОВИЯХ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

Тимофей Григорьевич Дахно, *старший научный сотрудник*

Ольга Александровна Дахно, *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*

Ольга Геннадьевна Мурзина, *младший научный сотрудник*

Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –
филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения

«Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова» (Камчатский НИИСХ – филиал ВИР), п. Сосновка, Камчатский край, Россия

E-mail: o_dakhno@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты оценки продуктивности, экологической пластичности, стабильности, гомеостатичности и селекционной ценности сортообразцов земляники крупноплодной в условиях Камчатского края. По результатам исследований выделен сорт Александрина и гибриды 4-0-1, 5-0-2 с высокой продуктивностью и экологической пластичностью для использования в селекционных программах при создании новых агроэкологически специализированных сортов.

Ключевые слова: *Fragaria* × *ananassa*, сорта, гибриды, продуктивность, экологическая пластичность, стабильность, селекционная ценность, Камчатский край

ADAPTIVE POTENTIAL LARGE-FRUITED STRAWBERRY VARIETIES AND HYBRIDS (*FRAGARIA* × *ANANASSA DUCH.*) IN THE CONDITIONS OF THE KAMCHATKA TERRITORY

T.G. Dakhno, *Senior Researcher*

O.A. Dakhno, *PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher*

O.G. Murzina, *Junior Researcher*

Kamchatka Research Institute of Agriculture is a branch of the Federal State

Budgetary Scientific Institution «Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources
named after N.I. Vavilov» (Kamchatka Research Institute of Agriculture – branch of VIR),

Sosnovka village, Kamchatka Krai, Russia

E-mail: o_dakhno@mail.ru

Abstract. The article presents the results of assessing the productivity, ecological plasticity, stability, homeostasis and breeding value of large-fruited strawberry varieties in the conditions of the Kamchatka Territory. According to the results of the research, the Alexandrina variety and hybrids 4-0-1, 5-0-2 with high productivity and ecological plasticity were identified for use in breeding programs when creating new agroecologically specialized varieties.

Keywords: *Fragaria* × *ananassa*, varieties, hybrids, productivity, ecological plasticity, stability, breeding value, Kamchatka Krai

Земляника крупноплодная (*Fragaria* × *ananassa Duch.*) благодаря экологической пластичности, высокой продуктивности и ценным пищевым качествам считается одной из наиболее распространенных ягодных культур в мире. Ее валовое производство постоянно растет, ежегодно увеличивая рынок ягодной продукции. [1, 8] Для рентабельного возделывания культуры в экстремальных условиях Камчатского края необходимо выявление и создание продуктивных сортов, устойчивых к неблагоприятным факторам среды. [4] Особое внимание уделено их экологической пластичности, учитывая, что в настоящее время перед селекционерами стоит задача не только повышения продуктивности растений, но и получения генотипов, обладающих широким спектром приспособительных реакций к абиотическим и биотическим факторам. [2, 5, 6, 10, 11]

Цель работы – оценить продуктивность, экологическую пластичность сортов и гибридов земляники крупноплодной в условиях Камчатского края

для использования в селекционных программах при создании новых агроэкологически специализированных сортов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на экспериментальном участке Камчатского НИИСХ – филиала ВИР в 2020–2022 годах. Объект изучения – 15 сортов и 5 гибридов земляники крупноплодной различного генетического происхождения. Опыт заложен весной 2019 года. Стандарт – сорт *Фестивальная*. Каждый сортообразец представлен 30 растениями, высаженными в борозды однострочным способом по схеме 0,3×0,9 м, размещение рендомизированное, повторность трехкратная. Агрохимические показатели перед закладной опыта: содержание гумуса – 7,1%, азота гидролизного – 118 мг/кг, NO₃ – 8,3 мг/кг, P₂O₅ – 21,6 мг/л, CaO – 1,8 ммоль/100 г почвы, MgO – 0,19 ммоль/100 г почвы, pH_{con} –

4,75 мг экв/100 г. Почва участка охристая, вулканическая. Предшественник – чистый пар. Учеты продуктивности сортообразцов осуществляли с использованием общепринятой программы и методики сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. [9] Для оценки экологической пластичности (b_i), стабильности (S_i^2), гомеостатичности (Hom) и селекционной ценности (Sc) сортообразцов земляники крупноплодной применяли методику S.A. Eberchart и W.A. Russel в изложении В.А. Зыкина. [7]

Метеорологические условия в годы исследований отличались по тепло- и влагообеспеченности от средней многолетней величины. Сумма среднесуточных температур выше 10°C с июня по сентябрь 2021 и 2022 годов превысила среднемноголетнюю норму (1092,0°C) на 205,5 и 285,0°C соответственно. Недостаток влаги ощущался в летние месяцы 2021 года, осадков выпало 151,3 мм, что составило 56,2% среднемноголетней нормы (369 мм). В 2020 году температура воздуха выше 10°C незначительно превышала среднемноголетние значения (1121,0°C), количество осадков – 297,3 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пластичность, то есть способность к изменчивости морфолого-анатомических и продукционных признаков, а также стабильность их под действием экологических факторов считаются неотъемлемыми свойствами адаптивности. [3] Продуктивность сортов и гибридов земляники крупноплодной варьировала в широких пределах: минимальная (102,3 г/куст) у сорта *Подольнка*, максимальная – у *Александрины* (684,9 г/куст) и гибридов 5-0-2 (507,0), 4-0-1 (495,7 г/куст), превысив стандарт на 217,2; 39,3 и 28,0 г/куст соответственно (см. таблицу).

Параметры пластичности (b_i) и стабильности (S^2d) определяют реакцию сорта на изменение внешней среды, а коэффициент регрессии (b_i) служит мерой фенотипической стабильности. Анализ продуктивности сортов и гибридов земляники крупноплодной позволил разделить их на три группы по реакции на воздействие факторов внешней среды. Первая – с коэффициентом регрессии больше 1, что характеризует их положительную реакцию на улучшение условий выращивания, которая свойственна сортам и гибридам интенсивного типа: *Александрина*, *Фестивальная*, *Элан*, 4-0-1, 5-0-2 ($b_i = 1,57...2,82$). Вторая группа включает сорта, коэффициент регрессии которых близок или равен 1, что говорит о полном соответствии продуктивности сортов изменению условий выращивания: *Мидвей*, *Сюрприз Олимпиаде*, *Танюша*, *Текстильщица*, *Юния Смайдс* и гибриды 6-0-3, 8-0-5 ($b_i = 0,6...1,49$). Третья отличается слабой реакцией на улучшение условий выращивания ($b_i = -0,48...0,47$), что свойственно сортам экстенсивного и полунинтенсивного типов. Дополнительная характеристика изучения сортов – относительная стабильность (S^2d), которая указывает насколько сорт отзывчив к условиям среды и стабилен ли он в них. Наиболее стабильные сортообразцы интенсивного типа – *Александрина* ($S^2d = 1640,33$), *Элан* (19808,24), экстенсивного – *Балерина* (5909,73) и гибрид 7-0-4 ($S^2d = 9159,75$).

Продуктивность, параметры экологической пластичности, гомеостатичности и селекционной ценности сортообразцов земляники крупноплодной, 2020–2022 годы

Сорт, гибрид	Продуктивность, г/куст		b_i	S^2d	Hom	Sc
	$X_{\text{ф}}$	min...max				
<i>Александрина</i>	684,9	532...953	2,6	1640,33	4,79	382,39
<i>Балерина</i>	145,0	99...131	-0,01	5909,73	12,08	109,58
<i>Даренка</i>	123,7	112...102	-0,16	1336,64	-52,2	135,79
<i>Мидвей</i>	411,7	336...489	0,82	1021,03	14,48	282,87
<i>Орлец</i>	151,0	158...209	0,47	4135,07	7,23	114,15
<i>Подольнка</i>	102,3	124...113	0,04	1603,48	-33,36	112,29
<i>Рубиновый кулон</i>	277,0	281...221	-0,48	2226,96	-23,63	352,2
<i>Сюрприз Олимпиаде</i>	135,6	81...224	0,87	56,2	1,67	49,06
<i>Танюша</i>	212,7	174...274	0,6	17,9	8,42	135,05
<i>Текстильщица</i>	214,0	97...345	1,37	1494,05	1,48	60,17
Фестивальная (st)	467,7	272...751	2,82	17,54	1,82	169,38
<i>Чебурашка</i>	170,3	189...142	-0,28	0,7	-24,74	226,71
<i>Элан</i>	195,6	174...377	1,57	19808,24	1,1	90,31
<i>Этна</i>	348,7	349...392	0,36	1702,82	64,99	310,42
<i>Юния Смайдс</i>	302,7	279...439	1,2	9139,6	4,54	192,36
4-0-1	495,7	297...775	2,8	145,44	2,06	189,95
5-0-2	507,0	346...763	2,52	328,71	2,75	229,91
6-0-3	312,0	215...454	1,41	0,55	3,24	147,75
7-0-4	253,3	196...236	-0,01	9159,75	23,7	210,39
8-0-5	347,3	180...479	1,49	11602,68	2,64	130,52

Важный показатель – гомеостаз, характеризующий способность генотипа сводить к минимуму последствия воздействия неблагоприятных внешних условий. В наших исследованиях высокой гомеостатичностью обладали: *Даренка*, *Этна*, гибрид 7-0-4 (Hom = -52,2...64,99). Наибольшую селекционную ценность представляют сортообразцы: *Александрина*, *Мидвей*, *Рубиновый кулон*, *Чебурашка*, *Этна*, 5-0-2, 7-0-4 (Sc = 210,39 ...382,39).

Таким образом, выявлен сорт *Александрина* и гибриды 4-0-1, 5-0-2 земляники крупноплодной, характеризующиеся сравнительно высокой продуктивностью и экологической пластичностью для использования в селекционных программах при создании новых агроэкологически специализированных сортов на повышение общей адаптивности культуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Акимов М. Ю., Лукьянчук И. В., Жбанова Е. В., Лыжин А. С. Плоды земляники садовой (*Fragaria x ananassa* Duch.) как ценный источник пищевых и биологически активных веществ (обзор) // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 5–18.
- Андропова Н. В. Оценка сортов земляники по устойчивости к неблагоприятным абиотическим факторам в условиях юго-западной части Нечерноземья России // Садоводство и виноградарство. 2018. № 4. С. 32–37.
- Васильев А. А., Гасымов Ф. М. Экологическая пластичность сортов сливы в условиях Челябинской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. № 2. С. 25–29.

4. Дахно Т.Г., Дахно О.А. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов земляники крупноплодной по продуктивности и качеству плодов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 3. С. 40–43.
5. Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). Кишинев: Штиинца, 1988. 767 с.
6. Жученко А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические аспекты). М.: Издательство РУДН, 2001. Т. I. 779 с.
7. Зыкин В.А., Мешкова В.В., Сапега В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ. Методические рекомендации. Новосибирск: Редакционно-полиграфическое объединение СО ВАСХНИЛ, 1984. 24 с.
8. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В., Гринь А.М., Сомин В.В. Динамика производства ягод земляники садовой по странам мира // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4 (74). С. 60–66.
9. Програма и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Всерос. науч.-исслед. институт селекции плодовых культур; [Под общ. ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой]. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.
10. Салимова Р.Р., Авдеева З.А., Аминова Е.В. Селекция земляники в условиях Оренбургского Приуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (86). С. 105–110.
11. Sturzeanu M., Calinescu M., Nicola C., Titirica I., Ciucu M. Study of new strawberry selections from the Romanian strawberry breeding programme // Fruit Growing Research. 2018. V. 34. P. 57–62.
2. Andronova N.V. Ocenka sortov zemlyaniki po ustojchivosti k neblagopriyatnym abioticheskim faktoram v usloviyah yugo-zapadnoj chasti Nechernozem'ya Rossii // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2018. № 4. S. 32–37.
3. Vasil'ev A.A., Gasmov F.M. Ekologicheskaya plastichnost' sortov slivy v usloviyah Chelyabinskoy oblasti // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2019. T. 180. № 2. S. 25–29.
4. Dahno T.G., Dahno O.A. Ocenka ekologicheskoy plastichnosti i stabil'nosti sortov zemlyaniki krupnoplodnoj po produktivnosti i kachestvu plodov // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2022. № 3. S. 40–43.
5. Zhuchenko A.A. Adaptivnyj potencial kul'turnyh rastenij (ekologo-geneticheskie osnovy). Kishinev: Shtiinca, 1988. 767 s.
6. Zhuchenko A.A. Adaptivnaya sistema selekcii rastenij (ekologo-geneticheskie aspekty). M.: Izdatel'stvo RUDN, 2001. T. I. 779 s.
7. Zykin V.A., Meshkova V.V., Sapega V.A. Parametry ekologicheskoy plastichnosti sel'skohozyajstvennyh rastenij, ih raschet i analiz. Metodicheskie rekomendacii. Novosibirsk: Redakcionno-poligraficheskoe ob'edinenie SO VASKHNIL, 1984. 24 s.
8. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V., Grin' A.M., Somin V.V. Dinamika proizvodstva yagod zemlyaniki sadovoj po stranam mira // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2019. № 4 (74). S. 60–66.
9. Programma i metodika sortoizucheniya plodovyh, yagodnyh i orekhoplodnyh kul'tur / Vseros. nauch.-issled. institut selekcii plodovyh kul'tur; [Pod obshch. red. E.N. Sedova i T.P. Ogol'covoj]. Orel: VNIISPK, 1999. 608 s.
10. Salimova R.R., Avdeeva Z.A., Aminova E.V. Selekcija zemlyaniki v usloviyah Orenburgskogo Priural'ya // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 6 (86). S. 105–110.
11. Sturzeanu M., Calinescu M., Nicola C., Titirica I., Ciucu M. Study of new strawberry selections from the Romanian strawberry breeding programme // Fruit Growing Research. 2018. V. 34. P. 57–62.

REFERENCES

1. Akimov M. Yu., Luk'yanchuk I.V., Zhanova E.V., Lyzhin A.S. Plody zemlyaniki sadovoj (Fragaria h ananassa Duch.) kak cennyj istochnik pishchevyh i biologicheski aktivnyh veshchestv (obzor) // Himiya rastitel'nogo syr'ya. 2020. № 1. S. 5–18.

*Поступила в редакцию 07.09.2023
Принята к публикации 21.09.2023*

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КАЛМЫЦКОЙ ПОРОДЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛНОГЕНОМНОГО АНАЛИЗА*

Иван Федорович Горлов^{1,2}, академик РАН
 Марина Ивановна Сложенкина^{1,2}, член-корреспондент РАН
 Юрий Николаевич Федоров³, член-корреспондент РАН
 Елена Юрьевна Анисимова¹, кандидат биологических наук
 Екатерина Владимировна Карпенко¹, кандидат биологических наук
 Кермен Евгеньевна Бадмаева¹, кандидат биологических наук
 Виктория Саналовна Убушиева¹, соискатель

¹ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции», г. Волгоград, Россия

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград, Россия

³ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности, Московская обл., пос. Биокомбината, Россия
 E-mail: niimmp@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты оценки биоразнообразия аборигенных породных ресурсов крупного рогатого скота Республики Калмыкия на основе полногеномного генотипирования. Объект изучения — биоматериал, полученный от поголовья КРС калмыцкой породы, выращиваемого в Калмыкии ($n = 20$). Дополнительно были взяты генотипы калмыцкой породы, имеющиеся в ОНИС БиоТехЖ (ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста, г. Москва). Препараты по своим качественным и количественным характеристикам пригодны для проведения полногеномных исследований с применением ДНК-чипов. Концентрация двухцепочечной ДНК в образцах варьировала от 16 до 80 нг/мкл, соотношение OD260/OD280 — от 1,77 до 2,12, эффективность генотипирования (call rate) — от 99,72 до 99,84%. Впервые получены данные об уровне генетического разнообразия в популяциях калмыцкой породы крупного рогатого скота Республики Калмыкия с применением ДНК-чипов высокой плотности, и выполнено сравнение рассчитанных популяционно-генетических показателей с тремя породами турано-монгольского происхождения. Калмыцкая порода характеризовалась наиболее высоким уровнем генетического разнообразия, что может быть следствием использования естественной случки при разведении, а также относительно высокой численности популяции, по сравнению с другими породами. Из-за малочисленности поголовья в якутской породе минимальный уровень генетического разнообразия. Результаты исследования найдут применение при разработке программ разведения и сохранения калмыцкой породы КРС.

Ключевые слова: крупный рогатый скот (КРС), биоразнообразие, калмыцкая порода, полногеномный анализ, Bovine SNP HD BeadChip

ASSESSMENT THE KALMYK CATTLE BREED GENETIC DIVERSITY IN THE KALMYKIA REPUBLIC BASED ON GENOME-WIDE ANALYSIS

I.F. Gorlov^{1,2}, Academician of the RAS
 M.I. Slozhenkina^{1,2}, Corresponding Member of the RAS
 Yu.N. Fedorov³, Correspondent Member of the RAS
 E.Yu. Anisimova¹, PhD in Biological Sciences
 E.V. Karpenko¹, PhD in Biological Sciences
 K.E. Badmaeva¹, PhD in Biological Sciences
 V.S. Ubushieva¹, Graduate Student

¹Volga region Research Institute of manufacture and processing of meat-and-milk production, Volgograd, Russia

²Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

³All-Russian Research and Technological Institute of Biological industry, Moscow region, Bio-plant settlement, Russia
 E-mail: niimmp@mail.ru

Abstract. In the article results of the biodiversity evaluation of the indigenous breed resources of cattle of the Republic of Kalmykia by whole-genome genotyping are presented. The objects of research were samples of biomaterial obtained from two herds of Kalmyk cattle raised in the Republic of Kalmykia ($n = 20$). Other samples for population-genetic studies were taken from L.K. Ernst FRC (Podolsk, Russia). Modern molecular-genetics and bioinformatics methods were used in this research. As a result, DNA was isolated and comparative study was carried out. The obtained DNA samples are suitable for carrying out whole-genome SNP studies using Bovine SNP HD BeadChip according to their qualitative and quantitative characteristics. The concentration of double-stranded DNA in the studied samples varied up to 80 ng/μl, the ratio of OD260/OD280 varied up to 2.12. The efficiency of genotyping (call rate) varied

* Научные исследования проведены в рамках Проекта РФФ № 22-16-00041, ГНУ НИИММП / Scientific research was carried out within the framework of the RSF Project # 22-16-00041 NIIMMP.

up 99.72 to 99.84%. The novelty of this research is the genetic diversity of two populations of Kalmyk cattle raised in the Republic of Kalmykia was established at the first time using high-density DNA chips and population-genetic estimation was also carried out for comparison with three breeds of Turano-Mongolian origin. Kalmyk breed have shown the highest level of genetic diversity compared to other breeds of Turano-Mongolian origin. This fact may be a consequence of the use of free mating in the breeding, as well as a relatively high number of Kalmyk cattle compared to other breeds. The minimum level of genetic diversity established in the Yakut breed is a consequence of the small number of livestock. The results obtained will be useful in the development of breeding and conservation programs of the Kalmyk cattle.

Keywords: cattle, biodiversity, Kalmyk breed, genome-wide analysis, Bovine SNP HD BeadChip

Скотоводство – одна из ведущих и приоритетных отраслей сельского хозяйства России, цель которой – обеспечить население страны высококачественным отечественным животноводческим сырьем. В процессе эволюции, селекции и миграции скота формируются уникальные породные признаки, обусловленные как внешними (паратипические) факторами, так и генетическими детерминантами. [8, 10] Высокоэффективный инструмент, позволяющий идентифицировать генетические профили сельскохозяйственных животных, – ДНК-чипы для генотипирования однонуклеотидных полиморфизмов (SNP). [2, 13]

Популярные в России породы крупного рогатого скота мясного направления продуктивности: *калмыцкая; казахская белоголовая; абердин-ангусская; геррефордская. Калмыцкий скот*, благодаря своим адаптационным способностям, распространен наиболее широко, но мало изучен на молекулярно-генетическом уровне. [4–6]

Ранее учеными получены сведения о генетическом разнообразии поголовья данной породы иммуногенетическими методами, а также с помощью мультилокусного межмикросателлитного анализа. [1, 7, 9, 11, 12] Приведены данные об использовании результатов полногеномного SNP анализа в селекции крупного рогатого скота *казахской белоголовой* породы. [3]

Цель работы – изучение параметров биоразнообразия скота *калмыцкой* породы Республики Калмыкия на основе полногеномного анализа с применением ДНК-чипов высокой плотности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В двух популяциях крупного рогатого скота *калмыцкой* породы (НАО ПЗ «Кировский» Яшкульского района и ООО «Агрофирма Адучи» Целинного района, Республика Калмыкия) у животных были отобраны ушные выщипы для выделения ДНК (n = 20). Дополнительно для популяционно- и филогенетического анализ использовали генотипы 28 животных изучаемой породы из ОНИС БиоТехЖ (ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста, г. Москва). Для сравнительных исследований взяты генотипы трех пород скота турано-монгольского происхождения – *бурятской* (n = 20), *киргизской* (n = 20) и *якутской* (n = 23) (табл. 1). В работе применяли современные молекулярно-генетические и биоинформационные методы.

Исследования проводили в лаборатории функциональной и эволюционной геномики животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста и ОНИС БиоТехЖ на оборудовании Центра «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных».

ДНК выделяли с помощью набора реагентов ДНК Экстран-2 в соответствии с протоколом производителя (ООО НПФ «Синтол», г. Москва).

Чистоту выделенных препаратов ДНК определяли по соотношению A260/280 на спектрофотометре NanoDrop 8000 (ThermoFisher, США), концентрацию – на флуориметре Quantus (Promega Corp., США).

Полногеномное сканирование SNP полиморфизмов (~777 тыс.) проводили с применением ДНК-чипов высокой плотности (Bovine HD BeadChip, Illumina Inc., США), биоинформационную обработку полученных данных – в программной среде PLINK 1.9 (<http://zzz.bwh.harvard.edu/plink/>). Использовали фильтры (в скобках даны соответствующие команды в программе PLINK): Call-rate по всем SNP для индивидуального образца не ниже 90% (--mind); Call-rate для каждого из SNP по всем генотипированным образцам не ниже 90% (--geno); частота встречаемости минорных аллелей (MAF) более 0,01 или 0,05 (--maf 0,01); отклонение SNP генотипов от распределения Харди-Вайнберга в совокупности протестированных образцов с достоверностью p-value < 10⁻⁶ (--hwe). Устанавливали неравновесное сцепление исследуемых SNP (LD оценка) с r² < 0,2, шаг – 50 kb (--indep-pairwise).

На заключительном этапе рассчитывали популяционно-генетические параметры (R пакет diveRsity): наблюдаемая гетерозиготность (Ho), несмещенная ожидаемая гетерозиготность (uHe), аллельное разнообразие (Ar), несмещенный коэффициент инбридинга (uFis, доверительный интервал – 95%), рассчитанный на основании значений uHe.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выделена ДНК из 20 образцов биоматериала особей *калмыцкой* породы крупного рогатого скота. Концентрация двухцепочечной ДНК в образцах – 16...80 нг/мкл, соотношение OD260/OD280 – 1,77...2,12. Эффективность генотипирования варьировала от 99,72 до 99,85% (средняя – 99,74%) (табл. 2).

Таблица 1.

Характеристика образцов, участвовавших в сравнительных популяционно-генетических исследованиях

Порода	Обозначение	n	Страна	Регион
<i>Бурятская</i>	Buryat	20	Россия	
<i>Калмыцкая</i>	Kalmyk	48	Россия	Азия
<i>Киргизская</i>	Kyrgyz	20	Кыргызстан	
<i>Якутская</i>	Yakut	23	Россия	

Таблица 2.

Эффективность генотипирования (call rate) образцов ДНК крупного рогатого скота калмыцкой породы с использованием Bovine HD BeadChip (777K, Illumina)

№пробы	ID ВИЖ	Позиция на чипе	Call rate
781	kirovskij_CKP_BOS_201	204661000003_R01C01	0,9972
1044	kirovskij_CKP_BOS_202	204661000003_R02C01	0,9973
746	kirovskij_CKP_BOS_203	204661000003_R03C01	0,9974
786	kirovskij_CKP_BOS_204	204661000003_R04C01	0,9974
130	kirovskij_CKP_BOS_205	204661000003_R05C01	0,9972
693	kirovskij_CKP_BOS_206	204661000003_R06C01	0,9973
699	kirovskij_CKP_BOS_207	204661000003_R07C01	0,9973
1438	kirovskij_CKP_BOS_208	204661000003_R08C01	0,9973
1332	kirovskij_CKP_BOS_209	204612120004_R01C01	0,9972
725	kirovskij_CKP_BOS_210	204612120004_R02C01	0,9974
696	kirovskij_CKP_BOS_211	204612120004_R03C01	0,9975
733	kirovskij_CKP_BOS_212	204612120004_R04C01	0,9974
783	kirovskij_CKP_BOS_213	204612120004_R05C01	0,9973
1053	kirovskij_CKP_BOS_214	204612120004_R06C01	0,9974
20938	kirovskij_CKP_BOS_215	204612120004_R07C01	0,9974
4428	kirovskij_CKP_BOS_216	204612120004_R08C01	0,9982
30000	aduchi_CKP_BOS_217	204612120005_R01C01	0,9973
30002	aduchi_CKP_BOS_218	204612120005_R02C01	0,9973
30004	aduchi_CKP_BOS_219	204612120005_R03C01	0,9973
40100	aduchi_CKP_BOS_220	204612120005_R04C01	0,9974

Таблица 3.

Параметры генетического разнообразия калмыцкой породы крупного рогатого скота, по сравнению с другими породами турано-монгольского происхождения

Порода	n	Ho	Ar	uHe	uFis
Калмыцкая	48	0,373±0	1,981±0	0,375±0	0,005 [0,004;0,006]
Киргизская	20	0,366±0	1,971±0	0,369±0	0,007 [0,006;0,008]
Бурятская	20	0,363±0	1,964±0	0,363±0	0,002 [0,001;0,003]
Якутская	23	0,290±0	1,810±0.001	0,288±0	-0,005 [-0,006;-0,004]

Примечание. Породы представлены в порядке снижения показателей: Ho – наблюдаемая гетерозиготность; Ar – аллельное разнообразие; uHe – несмещенная ожидаемая гетерозиготность. uFis – несмещенный коэффициент инбридинга [доверительный интервал].

По сравнению с другими породами КРС турано-монгольского происхождения, калмыцкий скот из Республики Калмыкия характеризовался наиболее высоким уровнем генетического разнообразия, что может быть следствием использования при разведении естественной случки, а также относительно высокой численностью популяции. Минимальный уровень генетического разнообразия в якутской породе – результат ее малочисленности (табл. 3).

Выводы. Создан банк ДНК 20 животных калмыцкой породы, выращиваемых в Республике Калмыкия, для полногеномного сканирования, осуществлено генотипирование по SNP-маркерам с помощью Bovine HD BeadChip (777K Illumina). Выполнен контроль качества генотипирования и отбор SNP-маркеров для исследований. Впервые

получены данные о генетическом разнообразии двух популяций крупного рогатого скота калмыцкой породы с применением ДНК-чипов высокой плотности и проведены популяционно-генетические расчеты для сравнения с тремя породами турано-монгольского происхождения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Генджиева О.Б., Сулимова Г.Е. Изучение генетического разнообразия калмыцкого скота с использованием ISSR-фингерпринтинга // Зоотехния. 2009. № 3. С. 4–5.
- Зиновьева Н.А., Доцев А.В., Сермягин А.А. и др. Изучение генетического разнообразия и популяционной структуры российских пород крупного рогатого скота с использованием полногеномного анализа SNP // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 6. С. 788–800.
- Ковальчук А.М. Генетическое разнообразие казахской белоголовой породы крупного рогатого скота // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (92). С. 283–289.
- Моисейкина Л.Г., Каюмов Ф.Г., Чимидова Н.В. и др. Аллелофонд крупного рогатого скота калмыцкой породы разных зональных типов // Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 49. № 4. С. 6–12.
- Улимбашев М.Б., Гостева Е.Р., Краснова О.А. и др. Состояние мясных породных ресурсов крупного рогатого скота России (обзор) // Генетика и разведение животных. 2023. № 1. С. 52–64.
- Федоров В.Х., Приступа В.Н., Бабкин О.А., Торсян Д.С. Совершенствование скота калмыцкой породы: монография / под общей редакцией О.А. Бабкина. Персиановский: Донской ГАУ, 2021. 168 с.
- Чимидова Н.В., Моисейкина Л.Г., Болдырев Б.А., Черунова И.В. Генетическое сходство калмыцкого скота племенных хозяйств республики Калмыкия // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 486.
- Чимидова Н.В., Моисейкина Л.Г., Убушиева А.В. и др. Изменения генофонда скота калмыцкой породы // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 4. С. 65–73.
- Чимидова Н.В., Моисейкина Л.Г., Убушиева А.В. и др. Генетическое сходство калмыцкого скота в племенных хозяйствах республики Калмыкия // Аграрно-пищевые инновации. 2021. № 4 (16). С. 28–35.
- Юдин Н.С., Ларкин Д.М. Происхождение, селекция и адаптация российских пород крупного рогатого скота по данным полногеномных исследований // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 5. С. 559–568.
- Abdelmanova A.S., Kharzinova V.R., Volkova V.V. et al. Comparative Study of the Genetic Diversity of Local Steppe Cattle Breeds from Russia, Kazakhstan and Kyrgyzstan by Microsatellite Analysis of Museum and Modern Samples // Diversity. 2021. Vol. 13. № 8. Article 351. <https://doi.org/10.3390/d13080351>.
- Chimidova N.V., Moiseikina L.G., Ubushieva A.V. et al. Genetic structure of population of the Kalmyk breed cattle // E3S WEB OF CONFERENCES. XV International Scientific Conference on Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry “State and Prospects for the Development of Agribusiness – Interagromash 2022”. Rostov-on-Don, 2022.
- Sermyagin A.A., Dotsev A.V., Gladyr E.A. et al. Whole-genome SNP analysis elucidates the genetic structure of

Russian cattle and its relationship with Eurasian taurine breeds // Genetics Selection Evolution. 2018. Vol. 50. Article 37. <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0408-8>.

REFERENCES

- Gendzhieva O.B., Sulimova G.E. Izuchenie geneticheskogo raznoobraziya kalmyckogo skota s ispol'zovaniem ISSR-fingerprintinga // Zootekhniya. 2009. № 3. S. 4–5.
- Zinov'eva N.A., Docev A.V., Sermyagin A.A. i dr. Izuchenie geneticheskogo raznoobraziya i populyacionnoj struktury rossijskih porod krupnogo rogatogo skota s ispol'zovaniem polnogenomnogo analiza SNP // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2016. T. 51. № 6. S. 788–800.
- Koval'chuk A.M. Geneticheskoe raznoobrazie kazahskoj belogolovoj porody krupnogo rogatogo skota // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 6 (92). S. 283–289.
- Moisejkina L.G., Kayumov F.G., Chimidova N.V. i dr. Allelofond krupnogo rogatogo skota kalmyckoj porody raznyh zonal'nyh tipov // Sbornik nauchnyh trudov SWorld. 2013. T. 49. № 4. S. 6–12.
- Ulimbashev M.B., Gosteva E.R., Krasnova O.A. i dr. Sostoyanie myasnyh porodnyh resursov krupnogo rogatogo skota Rossii (obzor) // Genetika i razvedenie zhivotnyh. 2023. № 1. S. 52–64.
- Fedorov V.H., Pristupa V.N., Babkin O.A., Torosyan D.S. Sovershenstvovanie skota kalmyckoj porody : monografiya / pod obshej redakciej O.A. Babkina. Persianovskij: Donskoj GAU, 2021. 168 s.
- Chimidova N.V., Moisejkina L.G., Boldyrev B.A., Cherunova I.V. Geneticheskoe skhodstvo kalmyckogo skota plemennyh hozyajstv respubliky Kalmykiya // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. № 2. S. 486.
- Chimidova N.V., Moisejkina L.G., Ubushieva A.V. i dr. Izmeneniya genofonda skota kalmyckoj porody // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2020. T. 103. № 4. S. 65–73.
- Chimidova N.V., Moisejkina L.G., Ubushieva A.V. i dr. Geneticheskoe skhodstvo kalmyckogo skota v plemennyh hozyajstvakh respubliky Kalmykiya // Agrarno-pishchevye innovacii. 2021. № 4 (16). S. 28–35.
- Yudin N.S., Larkin D.M. Proiskhozhdenie, selekciya i adaptaciya rossijskih porod krupnogo rogatogo skota po dannym polnogenomnyh issledovanij // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2019. T. 23. № 5. S. 559–568.
- Abdelmanova A.S., Kharzinova V.R., Volkova V.V. et al. Comparative Study of the Genetic Diversity of Local Steppe Cattle Breeds from Russia, Kazakhstan and Kyrgyzstan by Microsatellite Analysis of Museum and Modern Samples // Diversity. 2021. Vol. 13. № 8. Article 351. <https://doi.org/10.3390/d13080351>.
- Chimidova N.V., Moisejkina L.G., Ubushieva A.V. et al. Genetic structure of population of the Kalmyk breed cattle // E3S WEB OF CONFERENCES. XV International Scientific Conference on Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry "State and Prospects for the Development of Agribusiness – Interagromash 2022". Rostov-on-Don, 2022.
- Sermyagin A.A., Dotsev A.V., Gladyr E.A. et al. Whole-genome SNP analysis elucidates the genetic structure of Russian cattle and its relationship with Eurasian taurine breeds // Genetics Selection Evolution. 2018. Vol. 50. Article 37. <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0408-8>.

Поступила в редакцию 12.07.2023

Принята к публикации 26.07.2023

УДК636.593

DOI: 10.31857/2500-2082/2023/6/83-86, EDN: WRFPHW

ПЛЕМЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФЕРМЕРСКИХ ЦЕСАРОК*

Владимир Александрович Забиякин^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: 0000-0003-4246-8472

Сергей Анатольевич Замятин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: 0000-0002-3999-9179

Сергей Аркадьевич Максуткин¹, научный сотрудник

¹Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», п. Руэм, Республика Марий Эл, Россия

²ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола, Россия

E-mail: zamyatin.ser@mail.ru

Аннотация. *Время наступления половой зрелости птицы отражается на экономической рентабельности хозяйства. Сроки могут варьировать под влиянием кормления, освещения и других условий содержания, стабильность которых в индивидуальных хозяйствах трудно сохранять на одном уровне. Испытания птицы по продуктивным качествам и племенным показателям проводили в 2021–2022 годах в КФХ К.А. Жданова (Воронежская обл., Рамонский р-н, деревня Новоподклетное) на цесарках селекционного ядра линии ВБА-1 (волжские белые аутосексные). Проведенные исследования показали, что ранний отбор несушек и племенных самцов до начала воспроизводства стада повышает долю высокопродуктивных птиц. Максимальное количество оплодотворенных яиц (90,42±4,29 – 92,71±3,07%) получено от ранне- и среднеспелых несушек, достигших возраста полового созревания на 231–244 день. Раннеспелые цесарки имели достоверное (P < 0,05) превосходство над позднеспелыми по большинству качественных и количественных показателей спермы (объем эякулята 0,097–0,1 см³, концентрация – 4,01–4,45 млрд/см³). Отбор птицы по признаку скороспелости позволит улучшить состав родительского стада цесарок, повысить рентабельность хозяйства благодаря повышению качества получаемых от них яиц и увеличению количества вывода молодняка.*

Ключевые слова: *цесарки, скороспелость птицы, продуктивные показатели, оплодотворенность, интенсивность яйцекладки, спермопродукция, воспроизводительные качества, родительское стадо*

* Работа проведена в рамках государственного задания (тема № FNWE-2022-0003) / The work was carried out within the framework of the state task (topic No. FNWE-2022-0003).

BREEDING CHARACTERISTICS OF FARM GUINEA FOWLS

V.A. Zabyakin^{1,2}, *Grand PhD in Agricultural Sciences*

S.A. Zamyatin¹, *PhD in Agricultural Sciences*

S.A. Maksutkin¹, *Researcher*

¹Mari Agricultural Research Institute – Mari Agricultural Research Institute –

Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Ruem, Mari El Republic, Russia

²Mari State University, Yoshkar Ola, Russia

E-mail: zamyatin.ser@mail.ru

Abstract. *The time at which poultry reaches sexual maturity affects the economic profitability of the farm. The timing may vary under the influence of feeding, lighting and other conditions, the stability of which in individual farms is difficult to maintain at the same level. Tests of poultry for productive qualities and breeding indicators were carried out in 2021–2022 at the K.A. Zhdanov peasant (farming) economy, (Voronezh region, Ramonsky district, Novopodkletnoye village) on guinea fowl of the selection core line VBA-1 (Volga white autosex). Studies have shown that early selection of laying hens and breeding males before the start of flock reproduction increases the proportion of highly productive birds. The maximum number of fertilized eggs (90.42±4.29 – 92.71±3.07%) was obtained from early and mid-ripening laying hens that reached the age of puberty at 231–244 days. Early-ripening guinea fowl had a significant (P<0.05) superiority over late-ripening ones in most qualitative and quantitative indicators of sperm (ejaculate volume 0.097–0.1 cm³, concentration – 4.01–4.45 billion/cm³). Selection of poultry based on early maturity will improve the composition of the parent flock of guinea fowl, increase the farm profitability by improving the quality of the eggs obtained from them and increasing the number of young animals hatched.*

Keywords: *guinea fowl, precocity of birds, productive indicators, fertility, egg-laying intensity, sperm production, reproductive qualities, parent flock*

Для создания линий цесарок, приспособленных к содержанию в крестьянских и фермерских хозяйствах, были изучены племенные воспроизводительные показатели, проанализирована их связь с различной скороспелостью у самок. На основании проведенных исследований предложены методы отбора и подбора птицы в родительское стадо для получения потомков с лучшими продуктивными и воспроизводительными качествами.

Уровень яичной продуктивности самок оценивают за биологический цикл яйцекладки – период от ее начала, достижения наивысшего уровня и до спада или прекращения. Самцы сохраняют воспроизводительную способность в течение всего племенного сезона, она зависит от возраста наступления половой зрелости и появления первого эякулята. [1, 2, 5, 7, 9]

У большинства видов сельскохозяйственных птиц в конце биологического цикла яйцекладки, особенно в условиях экстенсивного содержания, происходит естественная линька, влияющая на продуктивные показатели. [3, 6] Продолжительность такого цикла у кур составляет около года, у цесарок он зависит от сезона года и длится 6...8 мес. Воспроизводительные качества птиц – сложный количественный признак, обусловленный взаимодействием многих генов, а также внутренними и внешними факторами. [4, 10] Положительное влияние на яйценоскость оказывает порода, наследственность, оптимальные условия внешней среды (микроклимат, кормление, плотность посадки, световые режимы), отрицательное – нарушения в условиях содержания, болезни, стрессы. Яйценоскость в хозяйствах оценивают по половой зрелости, темпу нарастания, возрасту при достижении пика яйценоскости и высоте пика, темпу снижения и выравнивания или устойчивости. [8, 9] Важный показатель для птицы – половая зрелость, у цесарок она наступает в 26...34 недели. Этот признак выражается возрастом в днях у самок

при снесении первого яйца, самцов – получении кондиционной спермы. Половая зрелость изменяется под влиянием кормления, освещения и других условий содержания, стабильность которых в индивидуальных хозяйствах трудно сохранять на одном уровне.

Длительное содержание цесарок *волжской белой* породы на ферме привело к ухудшению воспроизводительных качеств взрослой птицы, сбою и увеличению срока полового созревания.

Цель работы – изучить связь некоторых племенных и воспроизводительных показателей у самцов и самок цесарок с различной скоростью наступления половой зрелости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Испытания птицы по продуктивным качествам и племенным показателям проводили сотрудники Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2021–2022 годах в КФХ К.А. Жданова (Воронежская обл., Рамонский р-н, деревня Новоподклетное) на цесарках селекционного ядра линии ВБА-1 (*волжские белые* аутосексные).

Выполняли селекционные мероприятия: воспроизводство стада, бонитировка птицы, комплектование селекционных гнезд, массовый, семейный и индивидуальный учет продуктивности цесарок. [4–6, 8]

Для наблюдений отобрали 100 яиц, 50 самцов и 50 самок суточных цесарят, 50 самцов и 50 самок в 12-недельном возрасте, 15 самцов и 100 самок не моложе 52-недельного возраста.

В селекционной группе учет яйценоскости осуществляли индивидуально, в множителе линий – по группам. Предварительную оценку цесарок проводили за 44 недели жизни, полную – 64.

Массу яиц определяли у цесарок в 36-недельном возрасте. От каждой несушки взвешивали по 3...5 последовательно снесенных яиц и отбирали

для дальнейшей селекционной работы птиц, у которых масса яиц составляла 40 г и выше.

Оплодотворенность яиц и вывод цесарят фиксировали по каждой цесарке и гнезду в период воспроизводства поголовья.

Сохранность цесарок устанавливали, ежедневно отмечая павших и вынужденно выбракованных птиц с учетом причин выбытия.

Кормление и содержание цесарок, а также технология инкубации яиц было максимально приближено к рекомендациям ВНИТИП (1993 год). [4, 6]

Самки цесарок были разделены на шесть групп по возрасту полового созревания (снесение первого яйца). Интервал по этому показателю в пределах группы составил семь дней. Всего проанализированы воспроизводительные качества 635 самок цесарок с возрастом половой зрелости от 224 до 265 дней.

В первую группу вошли несушки со временем снесения первого яйца на 224...230 день жизни, вторую – 231...237, третью – 238...244, четвертую – 245...251, пятую – 252...258, шестую – 259...265 день. Птицы первой и второй группы были определены как скороспелые, третьей и четвертой – среднеспелые, пятой и шестой – позднеспелые. Достоверную разницу между показателями в группах определяли по t-критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Воспроизводство птицы осуществляли с помощью искусственного осеменения. Наибольшей яйценоскостью обладали птицы второй и третьей групп, наименьшей – шестой (табл. 1).

Результаты согласуются с данными, полученными на других видах птицы. [1, 6, 7] Скороспелые цесарки имеют более длинный цикл яйценоскости и короткие перерывы яйцекладки в отличие от позднеспелых.

Наибольшее количество оплодотворенных яиц снесли раннеспелые цесарки второй группы и среднеспелые третьей, наименьшее – раннеспелые первой и позднеспелые пятой и шестой групп.

Показатели вывода молодняка были стабильными и однородными ($P > 0,05$), максимальный отмечен у несушек второй группы, минимальный – третьей.

Цель работы с самцами – определение возраста наступления половой зрелости и качества спермы разнопородных цесарей.

Для проведения исследования были созданы две группы цесарей по 20 в каждой. Группы формировали из птиц, имевших в 12- и 20-недельном возрасте одинаковую живую массу и показатели обмускуленности. В первую группу вошли цесари волжской белой породы, с которой на протяжении пяти лет вели селекцию на сохранение породных фенотипических и продуктивных признаков (селекционное ядро). Цесари второй группы были подобраны из популяций птицы, не проходившей отбор по фенотипу и однородности показателей (множители). Самцы этой группы имели белую, пегую или серо-крапчатую окраску пера. От всех цесарей с 26- до 35-недельного возраста один раз в семь дней с помощью ручного массажа получали сперму. Оценивали цвет, густоту и объем эякулята. Качество и количество спермы опытных цесарей 34-недельного возраста изучали по общепринятой методике. Была проведена биологическая оценка спермы птиц 35-недельного возраста путем искусственного осеменения цесарок – аналогов по продуктивным показателям и происхождению для определения оплодотворенности и выводимости яиц. По мере полового созревания все цесари были разделены на раннеспелых (первые эякуляты в виде следов с 26 по 28 недели жизни) и позднеспелых (29...31). Раннеспелых цесарей в первой группе – 8 (40,0%), позднеспелых – 12 (60,0%), во второй – 11 (55,0%) и 9 (45,0%) соответственно. Все птицы достигли половой зрелости к 31-недельному возрасту. Средний возраст появления первого эякулята у цесарей по группам различался: в первой – $29,0 \pm 0,35$ недель, второй – $28,0 \pm 0,34$ ($P < 0,05$). При этом выделенная сперма имела ровный белый цвет и хорошую консистенцию. Наивысшая интенсивность полового созревания цесарей первой группы – 28...30 недели жизни (12 самцов), второй – 27...29 (13) соответственно. Таким образом, у множителей половая зрелость наступает раньше в среднем на 1...2 недели. При этом раннеспелые цесари имели достоверное ($P < 0,05$) превосходство над позднеспелыми самцами по некоторым качественным и количественным показателям спермы (табл. 2).

Оплодотворяющая способность спермы цесарей всех групп в 34...35-недельном возрасте высокая (81,8...92,8%). Причем у цесарей с ранним наступлением половой зрелости она была на 6,2...8,6% выше, по сравнению с позднеспелыми самцами. Процент вывода цесарят, полученных от осеменения спермой раннеспелых самцов был так же выше на 1,7...3,3%.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что раннеспелые и среднеспелые самки цесарок волжской белой породы со временем снесения первого яйца на 231...244 день жизни имели большую яйценоскость. Они характеризовались наибольшим количеством оплодотворенных яиц и вывода молодняка. Таким образом, при подборе цесарок в родительское стадо или группы для промышленного получения пищевого яйца рекомендуем формировать селекционные гнезда такими несушками.

Применяя сперму раннеспелых самцов при искусственном осеменении цесарок, можно значительно повысить результаты инкубации селекционной птицы. Самцы селекционного ядра до-

Таблица 1.

Воспроизводительные качества цесарок с разной половой зрелостью

Группа	Количество яиц за сезон, шт.	Оплодотворенность, %	Выводимость, %	Вывод, %
Первая	143,92±6,06	80,04±4,60	75,87±5,38	60,73±5,16
Вторая	148,60±8,22	92,71±3,07	71,83±7,50	66,59±7,47
Третья	148,14±2,75	90,42±4,29	63,97±5,24	57,84±6,29
Четвертая	144,18±4,27	88,30±1,28	68,88±2,16	60,82±2,24
Пятая	143,63±7,28	83,28±3,15	74,79±2,39	62,29±2,78
Шестая	138,12±3,59	84,73±2,98	70,40±3,65	59,65±3,92
$P < 0,05$	6/1,3,4	1/2		

Таблица 2.

Оценка спермы опытных групп цесарей

Показатель	Первая группа		Вторая группа	
	раннеспелые	позднеспелые	раннеспелые	позднеспелые
Количество птиц в группе	8	12	11	9
Объем эякулята, см ³	0,097±0,001	0,081±0,001	0,100±0,001	0,084±0,001
Концентрация спермиев, млрд/см ³	4,01±0,03	3,58±0,04	4,45±0,03	3,88±0,05
Активность спермиев, балл	8,78±0,20	8,45±0,40	8,95±0,20	8,61±0,30
Заложено яиц, шт.	60	60	60	60
Оплодотворено яиц, %	90,4±2,21	81,8±2,13	92,8±2,46	86,0±,06
Выводимость яиц, %	70,0±2,34	73,3±2,52	70,0±2,64	71,7±2,40
Вывод молодняка, %	63,3±2,72	60,0±2,68	65,0±2,81	61,7±,65

стоверно ($P < 0,05$) отстают в половом развитии от своих сверстников из группы множителей в среднем на одну неделю. В связи с этим, для поддержания высокой оплодотворяющей способности самцов в сохраняемых группах волжских белых цесарок и их помесей, необходимо усилить селекционный отбор птицы в родительское стадо по воспроизводительным качествам, используя только раннеспелых самцов по качественным и количественным показателям спермы в 28...29-недельном возрасте, вне зависимости от племенной принадлежности.

Выводы. Для увеличения племенной ценности цесарок, разводимых в фермерском хозяйстве, наряду с яйценоскостью, необходимо контролировать возраст достижения половой зрелости птицы, отобранной в родительское стадо.

Раннеспелые цесари имеют достоверное ($P < 0,05$) превосходство над позднеспелыми самцами по качеству и количеству спермы.

Отбор птицы по признаку скороспелости позволит улучшить состав родительского стада цесарок, повысить рентабельность хозяйства благодаря улучшению качества получаемых от них яиц и увеличению количества вывода молодняка.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Буяров В.С., Ройтер Я.С., Кавтарашвили А.Ш. и др. Оценка племенных качеств сельскохозяйственной птицы мясного направления продуктивности (обзор) // Вестник аграрной науки. 2019. № 3 (78). С. 30-38.
2. Забиякин В.А., Замятин С.А. Скорость роста и мясные качества цесарок? содержащихся в условиях фермерского хозяйства // Аграрная наука Евро-Се-

- веро-Востока. 2021. № 22 (4). С. 581–588. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.581-588>
3. Забиякин В.А. Разведение цесарок в России // Эффективное животноводство. – 2017. № 3 (57). С. 24–28.
4. Производство мяса и яиц цесарок: Методические рекомендации. Под общ. ред. Я.С. Ройтера. Сергиев Посад, 1993. 22 с.
5. Ройтер Я.С., Шашина Г.В., Дегтярева Т.Н. и др. Разведение цесарок в фермерских и приусадебных хозяйствах // Птица и птицепродукты. 2017. № 2. С. 29–31.
6. Ройтер Я.С. Цесарки // Руководство по содержанию и разведению / М. 2014. 218 с.
7. Ройтер Я.С. Использование генофонда сельскохозяйственной птицы в селекционной работе. Птица и птицепродукты. 2016. № 3. С. 45–47.
8. Ройтер Я.С., Шашина Г.В., Дегтярева Т.Н. и др. Современная программа селекции цесарок // Птицеводство. 2019. № 4. С. 15–19.
9. Ройтер Я.С. Гусева Н.К., Русецкая Т.П. Особенности селекционной работы с цесарками // Птицеводство. 2016. № 3. С. 7–11.
10. Фисинин В.И. Генетические ресурсы сельскохозяйственных животных России // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 8. С. 15–19.

REFERENCES

1. Buyarov V.S., Rojter Ya.S., Kavtarashvili A.Sh. i dr. Ocenka ple-mennyh kachestv sel'skohozyajstvennoj pticy myasnogo napravleniya produktivnosti (obzor) // Vestnik agrarnoj nauki. 2019. № 3 (78). S. 30–38.
2. Zabyakin V.A., Zamyatin S.A. Skorost' rosta i myasnye kachestva cesarok soderzhashchihsvya v usloviyah fermerskogo hozyajstva // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2021. № 22 (4). S. 581–588. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.581-588>
3. Zabyakin V.A. Razvedenie cesarok v Rossii // Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2017. № 3. (57). S. 24-28.
4. Proizvodstvo myasa i yaic cesarok: Metodicheskie rekomendacii. Pod obshch. red. Ya.S.Rojtera. Sergiev Posad, 1993. 22 s.
5. Rojter Ya.S., Shashina G.V., Degtyareva T.N. i dr. Razvedenie cesarok v fermerskih i priusadebnyh hozyajstvah // Ptica i pticeprodukty. 2017. № 2. S. 29–31.
6. Rojter Ya.S. Cesarki // Rukovodstvo po soderzhaniyu i razvedeniyu / M. 2014. S. 218.
7. Rojter Ya.S. Ispol'zovanie genofonda sel'skohozyajstvennoj pticy v selekcionnoj rabote. Ptica i pticeprodukty. 2016. № 3. S. 45–47.
8. Rojter Ya.S., Shashina G.V., Degtyareva T.N. i dr. Sovremennaya programma selekcii cesarok // Pticevodstvo. 2019. № 4. S. 15–19.
9. Rojter Ya.S. Guseva N.K., Ruseckaya T.P. Osobennosti selekcionnoj raboty s cesarkami // Pticevodstvo. 2016. № 3. S. 7–11.
10. Fisinin V.I. Geneticheskie resursy sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh Rossii // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2014. № 8. S. 15–19.

Поступила в редакцию 21.04.2023
Принята к публикации 05.05.2023

ПРОДУКТИВНОСТЬ И ЖИРНО-КИСЛОТНЫЙ СОСТАВ СЫВОРОТКИ КРОВИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ СКАРМЛИВАНИИ ЖЕЛЧИ*

Кристина Владимировна Рязанцева, младший научный сотрудник

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологической наук

Ксения Сергеевна Нечитайло, кандидат биологических наук

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, Россия

E-mail: reger94@bk.ru

Аннотация. С развитием интенсивного птицеводства жиры и масла широко применяют как наиболее эффективные высокоэнергетические ингредиенты кормов. Желчные кислоты – пищеварительные поверхностно-активные вещества, которые способствуют эмульгированию и всасыванию липидов, в том числе жирорастворимых витаминов. В рацион цыплят-бройлеров опытных групп добавляли желчь КРС: I – 0,05, II – 1,00%. В сыворотке крови птиц I и II опытных групп наблюдали достоверное ($p < 0,05$) снижение пальмитиновой ЖК (C16:0), по сравнению с контролем на 2,9 и 4%, увеличение концентрации холестерина – 15,1 и 11,6% соответственно. Уровень холестерина в крови может повышаться вследствие высокой потребности организма в синтезе желчных солей. К концу эксперимента максимальные показатели живой массы зафиксированы во II группе (1% желчи), разница с контролем – 4,5%. Таким образом, дополнительно введенные желчные кислоты влияют на способность транспортировать холестерин из периферических тканей в печень, а также улучшают показатели роста бройлеров из-за повышения растворимости и усвоения пищевого жира и жирорастворимых питательных веществ.

Ключевые слова: жирно-кислотный состав, желчные кислоты, цыплята-бройлеры, липиды крови, прирост

PRODUCTIVITY AND FATTY ACID COMPOSITION OF BROILER CHICKENS BLOOD SERUM WHEN FED BILE

K.V. Ryazantseva, Junior Researcher

E.A. Sizova, Grand PhD in Biological Sciences

K.S. Nechitailo, PhD in Biological Sciences

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

E-mail: reger94@bk.ru

Abstract. With the rapid development of intensive poultry farming, fats and oils are widely used as the most effective high-energy feed ingredients. Bile acids are powerful “digestive surfactants” that aid in the emulsification and absorption of lipids, including fat-soluble vitamins. Cattle bile was added to the diet of broiler chickens of the experimental groups, group I – 0.05%, group II – 1%. In the blood serum, a significant decrease in palmitic FA (C16:0) is observed in experimental groups I and II, so the difference with the control was 2.9% ($p < 0.05$) and 4% ($p < 0.05$). Biochemical analysis of blood serum showed that with the introduction of bile in experimental groups I and II, there was a significant increase in cholesterol concentration of 15.1% ($p < 0.05$) and 11.6% ($p < 0.05$) relative to the control. The level of cholesterol in the blood may increase due to the high need of the body for the synthesis of bile salts. Analysis of the serum FA composition showed a significant decrease in palmitic FA (C16:0) observed in experimental groups I and II, so the difference with the control was 2.9% ($p < 0.05$) and 4% ($p < 0.05$), respectively. By the end of the experiment, the maximum live weight indicators were recorded in group II (1% bile), the difference with the control was 4.5%, respectively. Thus, additionally administered bile acids may affect the ability to transport cholesterol from peripheral tissues to the liver, as well as improve broiler growth performance by increasing the solubility and absorption of dietary fat and fat-soluble nutrients.

Keywords: fatty acid composition, bile acids, broiler chickens, blood lipids, growth

С развитием интенсивного птицеводства жиры и масла широко применяют как наиболее эффективные высокоэнергетические ингредиенты кормов. Добавление липидов в рацион птицы может улучшить показатели ее роста, а также способствовать перевариванию и усвоению питательных веществ и жирорастворимых витаминов. [6] Однако низкая концентрация секрета желчных солей и активность панкреатической липазы у молодых цыплят ограничивают переваривание липидов в первые три недели жизни. [3] Основная цель добавления экзогенного эмульгатора в корм – повысить

способность к эмульгированию жира, восполнить дефицит желчных кислот и липазы в пищеварительном тракте птицы. [2, 4]

В организме вырабатывается эндогенный эмульгатор – желчь. Желчные кислоты – пищеварительные поверхностно-активные вещества, которые помогают всасыванию липидов, включая жирорастворимые витамины. [10] Синтез желчных кислот происходит в печени при ферментативных реакциях в гепатоцитах, которые превращают гидрофобный холестерин в более водорастворимые амфифатические соединения. [13]

* Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2021–2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005) / The research was carried out in accordance with the R&D plan for 2021–2023. FGBNU FNC BST RAS (No. 0761-2019-0005).

Большая часть желчных кислот реабсорбируется в терминальном отделе подвздошной кишки и возвращается в печень через воротную вену, там они поглощаются гепатоцитами и затем транспортируются в желчь, что завершает их энтерогепатическую циркуляцию. [8, 14] Желчные кислоты – биосурфактанты, которые эмульгируют жир в микрокапли. Это значительно увеличивает общую площадь поверхности жира, повышая его доступность для переваривания липазой. [10]

Экзогенные желчные кислоты можно получать в качестве продукта переработки животноводства от птиц, свиней, крупного рогатого скота и использовать как кормовую добавку. Птичья и свиная желчная кислота в основном состоит из холевой и хенодезоксихолевой кислот, бычья – из холевой и дезоксихолевой.

Цель работы – оценить влияние желчи КРС на показатели роста, жирно-кислотный и липидный состав сыворотки крови цыплят-бройлеров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперимент проводили в условиях вивария на базе Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук. Цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres разделили на группы (n = 35) – контрольную и две опытные, аналогичных по живой массе. Рацион кормления сформирован согласно рекомендациям ВНИТИП. [1] Цыплятам-бройлерам опытных групп добавляли желчь КРС: I – 0,05, II – 1%.

Лабораторные исследования выполняли в Центре коллективного пользования биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ЦКП БСТ РАН).

Концентрацию жирных кислот (ЖК) определяли на хроматографе Хроматэк-Кристалл 5000. Идентификацию разделений проводили, сравнивая со смесью жирных кислот фирмы Supelco TM Component FAME Mix. Биохимический анализ сыворотки крови осуществляли с помощью автоматического анализатора CS-T240 (Dirui Industrial Co., Ltd, Китай) и наборов для ветеринарии ДиаВетТест (Россия).

Были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества опытных образцов. Исследования одобрены комиссией по биоэтике (протокол № 1 от 23 марта 2021 года) и выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов.

Полученные данные статистически обрабатывали по общепринятым методикам в программах Microsoft Office и Statistica 10.0, включая определение средней арифметической величины (M), средней стандартной ошибки (m). Достоверность различий сравниваемых показателей находили по t-критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Метаболиты липидов в крови, включая уровни триглицеридов (Тг), холестерина, фракций липопротеинов (ЛПВП и ЛПНП), а также профиль ЖК, – чувствительные индикаторы интенсивности липидного обмена в организме. [9]

В I и II опытных группах наблюдали достоверное (p < 0,05) снижение пальмитиновой ЖК (C16:0), по сравнению с контролем на 2,9 и 4% соответственно (рис. 1).

Ненасыщенные жирные кислоты (НЖК), включая линолевую и линоленовую, играют важную роль в регуляции метаболизма и функций клеточных мембран. Линолевая (C18:2) и линоленовая (C18:3) кислоты – незаменимые ЖК для позвоночных, поскольку они не имеют эндогенных ферментных систем для синтеза этих жирных кислот. [12] Уровень линолевой кислоты (C18:2) в крови цыплят-бройлеров I группы снижается на 0,7, II – повышается на 0,7% относительно контроля, линоленовой ЖК (C18:3) – увеличивается в обеих группах на 0,2 и 0,1% соответственно.

В доступной литературе не найдена информация о влиянии желчных кислот на абсорбцию и профиль жирных кислот в куриной сыворотке, поэтому настоящее исследование необходимо рассматривать как предварительное в этой области.

Концентрации липопротеинов и липидов плазмы считаются диагностическими маркерами метаболизма липидов. Синтез жировой ткани и отложение жира у птицы зависят от доступных триглицеридов (Тг) сыворотки.

В крови цыплят-бройлеров I и II опытных групп достоверно (p < 0,05) увеличилась концентрация холестерина – на 15,1 и 11,6%, по сравнению с контролем (рис. 2). Уровень холестерина может повышаться вследствие высокой потребности организма в синтезе желчных солей. [5]

Концентрация липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) увеличилась в I и II опытных группах на 39,7 и 49,3% соответственно, по сравнению с контролем. Липопротеины высокой плотности (ЛПВП) способствует поглощению и транспорту холестерина в печень для катаболизма из периферических тканей. В I опытной группе уровень ЛПВП выше контрольных значений на 21%, во II концентрации не менялась. По данным работ некоторых ученых желчные кислоты обладают гипохолестеринемическими свойствами. [7] Это утверждение не согласуется с нашими результатами. В других исследованиях добавка бычьей желчи в рационы не влияла на уровни холестерина в сыворотке крови, Тг, ЛПВП и ЛПНП в периоды старта и роста, что частично совпадает с показателями наших экспериментов. [3]

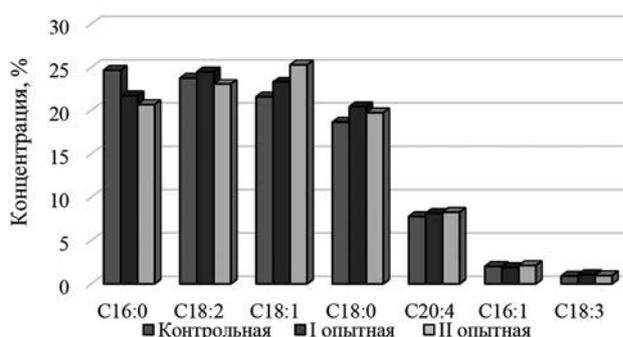


Рис. 1. Концентрация жирных кислот в сыворотке крови цыплят-бройлеров на 42 сут. эксперимента.

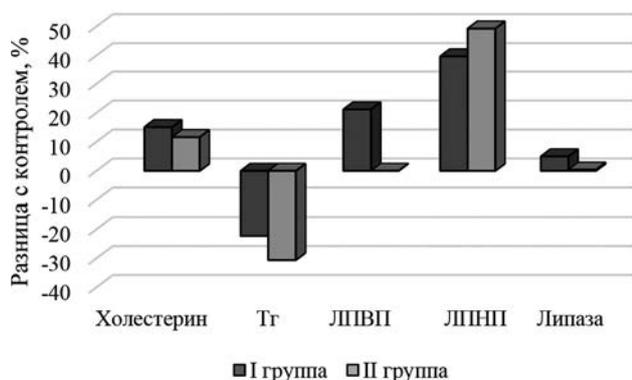


Рис. 2. Биохимические показатели сыворотки крови цыплят-бройлеров в возрасте 42 сут.

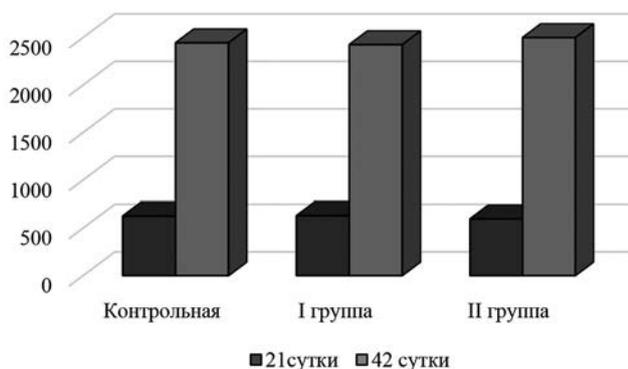


Рис. 3. Динамика живой массы цыплят-бройлеров на 21 и 42 сут., %.

Дополнительно введенные желчные кислоты могут оказывать влияние на способность транспортировать холестерин из периферических тканей в печень.

В птицеводстве желчные кислоты изучали на предмет их потенциала выступать в качестве пищевых эмульгаторов для повышения усвояемости жиров, а также продуктивности бройлеров. [11] На 21 сут. цыплята-бройлеры II опытной группы отставали по живой массе от сверстников контрольной на 4,7%, I – находились на уровне контроля (рис. 3). Максимальные показатели зафиксированы во II группе на 42 сут., разница с контролем составила 4,5%. Полученные данные согласуются с ранее опубликованными материалами. [7]

Таким образом, добавление 0,1% желчи в рацион улучшало показатели роста бройлеров из-за повышения растворимости и усвоения пищевого жира и жирорастворимых питательных веществ. Анализ метаболитов липидного обмена сыворотки крови подтверждает эффективность использования эмульгаторов в кормлении цыплят-бройлеров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Егоров И.А., Манукян В.А., Ленкова Т.Н. и др. Под общей редакцией академиков РАН В.И. Фисинина и И.А. Егорова. Руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы. Методическое пособие. М.: ЛИКА, 2019. 215 с.
2. Сизова Е.А., Рязанцева К.В. Жиры и эмульгаторы в кормлении цыплят-бройлеров (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2022. № 4 (57). С. 664–680. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.4.664rus.

3. Alzawqari M.H., Al-Baadani H.H., Alhidary I.B. et al. Effect of taurine and bile acid supplementation and their interaction on performance, serum components, ileal viscosity and carcass characteristics of broiler chickens // South African Journal of Animal Science. 2016. Vol. 46. No. 4. PP. 448–457.
4. Bontempo V., Comi M., Jiang X.R. et al. Evaluation of a synthetic emulsifier product supplementation on broiler chicks // Animal Feed Science and Technology. 2018. Vol. 240. PP. 157–164. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2018.04.010
5. Crespo N, Esteve-Garcia E. Polyunsaturated fatty acids reduce insulin and very low density lipoprotein levels in broiler chickens. Poultry Science. 2003. Vol. 82. No. 7. PP. 1134–9.
6. Fébel H., Mezes M., Palfy T. et al. Effect of dietary fatty acid pattern on growth, body fat composition and antioxidant parameters in broilers // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2008. Vol. 92. No. 3. PP. 369–376. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2008.00803.x
7. Ge X., Wang A., Ying Z. et al. Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers // Poultry Sci., 2018. Vol. 98. PP. 887–895.
8. Hofmann A.F., Hagey L.R. Bile acids: chemistry, pathochemistry, biology, pathobiology, and therapeutics // Cellular and molecular life sciences: CMLS. 2008. Vol. 65. No. 16. PP. 2461–2483. DOI: 10.1007/s00018-008-7568-6
9. Krasnodebska-Depta A., Koncicki A. Physiological values of selected serum biochemical indices in broiler chickens // Medycyna Weterynaryjna. 2000. Vol. 56. PP. 456–460
10. Lefebvre P., Cariou B., Lien F. et al. Role of bile acids and bile acid receptors in metabolic regulation // Physiological reviews. 2009. Vol. 89. No. 1. PP. 147–191. DOI: 10.1152/physrev.00010.2008
11. Parsaie S., Shariatmadari F., Zamiri M.J., Khajeh K. Influence of wheat-based diets supplemented with xylanase, bile acid, and antibiotics on performance, digestive tract measurements, and gut morphology of broilers compared with a maize-based diet // British Poultry Science 2007. Vol. 48. PP. 594–600.
12. Poureslami R., Raes K., Turchini G.M. et al. Effect of diet, sex and age on fatty acid metabolism in broiler chickens: n-3 and n-6 PUFA // The British journal of nutrition. 2010. Vol. 104. No. 2. PP. 189–197. DOI: 10.1017/S0007114510000395
13. Van Le H., Nguyen D.V., Vu Nguyen Q. et al. Fatty acid profiles of muscle, liver, heart and kidney of Australian prime lambs fed different polyunsaturated fatty acids enriched pellets in a feedlot system // Scientific Reports. Vol. 9. No. 1. PP. 1238. DOI: 10.1038/s41598-018-37956-y
14. Zaefarian F., Abdollahi M.R., Cowieson A., Ravindran V. Avian liver: the forgotten organ // Animals. 2019. Vol. 9. No. 2. PP. 63.

REFERENCES

1. Egorov I.A., Manukyan V.A., Lenkova T.N. i dr. Pod obshchej redakciej akademikov RAN V.I. Fisinina i I.A. Egorova. Rukovodstvo po kormleniyu sel'skohozyajstvennoj pticy. Metodicheskoe posobie. M.: LIKA, 2019. 215 s.
2. Sizova E.A., Ryazanceva K.V. Zhiry i emul'gatory v kormlenii cyplyat-brojlerov (obzor) // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2022. № 4 (57). S. 664–680. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.4.664rus.
3. Alzawqari M.H., Al-Baadani H.H., Alhidary I.B. et al. Effect of taurine and bile acid supplementation and their interaction on performance, serum components, ileal viscosity and carcass characteristics of broiler chickens // South African Journal of Animal Science. 2016. Vol. 46. No. 4. PP. 448–457.

4. Bontempo V., Comi M., Jiang X.R. et al. Evaluation of a synthetic emulsifier product supplementation on broiler chicks // *Animal Feed Science and Technology*. 2018. Vol. 240. PP. 157–164. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2018.04.010
5. Crespo N., Esteve-Garcia E. Polyunsaturated fatty acids reduce insulin and very low density lipoprotein levels in broiler chickens. *Poultry Science*. 2003. Vol. 82. No. 7. PP. 1134–9.
6. Fébel H., Mezes M., Palfy T. et al. Effect of dietary fatty acid pattern on growth, body fat composition and antioxidant parameters in broilers // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2008. Vol. 92. No. 3. PP. 369–376. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2008.00803.x
7. Ge X., Wang A., Ying Z. et al. Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers // *Poultry Sci.*, 2018. Vol. 98. PP. 887–895.
8. Hofmann A.F., Hagey L.R. Bile acids: chemistry, pathochemistry, biology, pathobiology, and therapeutics // *Cellular and molecular life sciences: CMLS*. 2008. Vol. 65. No. 16. PP. 2461–2483. DOI: 10.1007/s00018-008-7568-6
9. Krasnodebska-Depta A., Koncicki A. Physiological values of selected serum biochemical indices in broiler chickens // *Medycyna Weterynaryjna*. 2000. Vol. 56. PP. 456–460.
10. Lefebvre P., Cariou B., Lien F. et al. Role of bile acids and bile acid receptors in metabolic regulation // *Physiological reviews*. 2009. Vol. 89. No. 1. PP. 147–191. DOI: 10.1152/physrev.00010.2008
11. Parsaie S., Shariatmadari F., Zamiri M.J., Khajeh K. Influence of wheat-based diets supplemented with xylanase, bile acid, and antibiotics on performance, digestive tract measurements, and gut morphology of broilers compared with a maize-based diet // *British Poultry Science* 2007. Vol. 48. PP. 594–600.
12. Poureslami R., Raes K., Turchini G.M. et al. Effect of diet, sex and age on fatty acid metabolism in broiler chickens: n-3 and n-6 PUFA // *The British journal of nutrition*. 2010. Vol. 104. No. 2. PP. 189–197. DOI: 10.1017/S0007114510000395
13. Van Le H., Nguyen D.V., Vu Nguyen Q. et al. Fatty acid profiles of muscle, liver, heart and kidney of Australian prime lambs fed different polyunsaturated fatty acids enriched pellets in a feedlot system // *Scientific Reports*. Vol. 9. No. 1. PP. 1238. DOI: 10.1038/s41598-018-37956-y
14. Zaefarian F., Abdollahi M.R., Cowieson A., Ravindran V. Avian liver: the forgotten organ // *Animals*. 2019. Vol. 9. No. 2. PP. 63.

Поступила в редакцию 03.07.2023

Принята к публикации 18.07.2023

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АКАНТОПАНАКСА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ЯЛОВОСТИ КОРОВ

Наталья Федоровна Ключникова, доктор сельскохозяйственных наук
Михаил Тихонович Ключников, кандидат сельскохозяйственных наук
Елена Михайловна Ключникова

ФГБУН Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, с. Восточное, Хабаровский край, Россия

E-mail: nauka1952@mail.ru

Аннотация. Установлено положительное влияние кратковременного включения в рацион коров препаратов из корней акантопанакса на репродуктивную функцию. Случаи оперативного отделения последа сократились с 11,9 до 3,8%, количество дней от отела до первой охоты на 11,7 дн. (с 66,8 в контроле до 55,1 в опыте), продолжительность сервис-периода уменьшилась в среднем на 15 дн. (с 88 до 73). Выявлена динамичность активности ферментов сыворотки крови по мере увеличения сроков стельности. Результаты применения экстракта корней акантопанакса с первого дня после отела свидетельствуют о положительных изменениях всех изучаемых показателей, характеризующих состояние воспроизводительной функции коров. У животных опытной группы значительно ускорились процессы инволюции матки. Благодаря этому половые циклы после отела возобновились раньше в среднем на 9,9 дн., по сравнению со сверстницами контрольной группы, что положительно отразилось на результатах искусственного осеменения коров. Величина сервис-периода сократилась на 25,13 дн. Различия достоверно при $P < 0,01$ ($td = 3,2$).

Ключевые слова: акантопанакс, сухостойные и новотельные коровы, показатели репродуктивной функции

THE EFFECTIVENESS OF THE ACANTHOPANAX APPLICATION FOR THE PREVENTION OF COW OWL

N.F. Kluchnikova, *Grand PhD in Agricultural Sciences*
M.T. Kluchnikov, *PhD in Agricultural Sciences*
E.M. Klyuchnikova

Federal State Budgetary Institution of Science Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences Far Eastern Agricultural Research Institute, Vostochnoye village, Khabarovsk Territory, Russia

E-mail: nauka1952@mail.ru

Abstract. The positive influence of the medications from *Acanthopanax* roots on the reproductive function of cows is determined. The short-term inclusion of the flour from *Acanthopanax* roots in the ration of dry cows showed the positive influence on the studied indicators. The cases of the operational separation of the afterbirth shortened from 11.9 to 3.8%, number of days from calving to the first wish to become pregnant shortened by 11.7 days (66.8 in control to 55.1 in experiment), the duration of service-period decreased on average by 15 days (88 in control to 73 in experiment). The dynamism of activity of the blood serum ferments as the term of pregnancy are increasing is exposed. The results of use of the extract from *Acanthopanax* roots from the first day after calving testify to the positive changes of the all studied indicators, characterizing the state of cow reproductive function. The processes of uterus involution accelerated significantly regarding animals of the experienced group. Thanks to this the sexual cycles after calving resumed earlier on average by 9.9 days in comparison with the cows of the same age of the control group, that reflected positive on the results of ows artificial insemination. The size of service-period decreased by 25.13 days. The difference is significant when $P < 0.01$ ($td = 3.2$).

Keywords: *Acanthopanax Sessiliflorus*, dry and newly-calved cows, indicators of reproductive function

Наряду с содержанием и кормлением сельскохозяйственных животных в процессе выращивания высокопродуктивного поголовья, одно из ключевых мест занимает вопрос использования в рационах биологически активных веществ, которые были бы эффективны и не накапливались в организме. Терапия лекарственными растениями возможна из-за наличия в их составе сложных химически активных биологических единиц, которые способны в малых дозах влиять на физиологические и биохимические процессы, протекающие в организме. Помимо лечебного они оказывают профилактическое и стимулирующее действие. Вещества в их составе делятся на классы: алкалоиды, гликозиды, сапонины, фла-

воноиды, смолы, масла, кислоты, кумарины, хиноны, дубильные вещества и другие. Количество биологически активных веществ в растении зависит от его видового класса, местности и условий произрастания, временного интервала сбора, способа заготовки. [3]

Лекарственные растения, в составе которых есть адаптогены, обладают выраженным стимулирующим действием на организм животных. Воздействуя на гормональный статус, они способны ускорять рост репродуктивных органов самок, повышать качество спермы самцов, увеличивать привесы живой массы сельскохозяйственных животных (птица, свиньи, крупный рогатый скот), ускорять рост

и развитие организма, улучшать сопротивляемость к неблагоприятным технологическим факторам производства, снижать уровень стресса, налаживать обменные процессы. [1, 5, 6, 8, 9, 12–14]

Главная группа среди лекарственных растений, в особенности для Дальневосточного региона, – растения семейства аралиевых с тонизирующими, иммуномодулирующими и другими свойствами, стимулирующими кору головного мозга и повышающими энергетику организма, увеличивая выработку АТФ. [4, 7–9] Среди представителей семейства акантопанакс уступает женьшеню, элеутерококку, аралии, заманихе по масштабам использования в медицине, ветеринарии. Первые опыты И.И. Брехмана на белых мышах выявили стимулирующее действие жидкого экстракта его корней, превышающее аналогичные показатели корней женьшеня, элеутерококка, заманихи на 7...22%. [2] Последующие эксперименты подтвердили существенное (на 48%) увеличение продолжительности работы мышей на бесконечном канате при введении 0,1 мл экстракта корней акантопанакса и повышение на 20% сопротивляемости перегрузкам на центрифуге. Эта доза у 30-дневных мышей сократила в половом цикле период покоя и удлинила период течки (с 27 и 23% в контроле до 16 и 46% в опыте). Под влиянием акантопанакса неполовозростные мыши пришли в охоту на 9 дн. раньше (33 дн. в контроле и 24 в опыте). [2]

По данным А.К. Пехтерева экстракт корней оказывает тонизирующее, общеукрепляющее, стимулирующее, болеутоляющее и адаптогенное действие, повышает физиологическую и умственную работоспособность, сопротивляемость организма к различным неблагоприятным факторам. [10] Данные эксперимента Н.Ф. Ключниковой, М.Т. Ключникова свидетельствуют о положительном влиянии на спермопродукцию хряков-производителей кратковременного включения в рацион экстракта корней акантопанакса. Отмечали стимуляцию половой активности, увеличение спермиев в эякуляте на 24,3%, сохранение их активности вне организма на 43,7% (P < 0,01), снижение количества мертвых спермиев на 15,8%, с продолжением действия растения и после его отмены. Корни акантопанакса содержат сапонины, флаваноиды, кумарины, эфирные масла, гликозиды, дубильные вещества, жирные кислоты, смолы, макро- и микроэлементы. [8]

Цель работы – оценить действие кратковременного включения в рацион коров препаратов из корней акантопанакса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на молочных фермах Хабаровского района. В первом опыте отобрали две группы сухостойных коров (содержание – беспри-

вязно-буксовое) с учетом возраста в отелах, удоя за предыдущую лактацию, месяца стельности. Животным опытной группы скармливали по 40 г/гол. в сутки муки из корней акантопанакса в течение 10 дн. Через две недели курс повторяли. Суточную дозу биостимулятора помещали в емкость, заливали кипятком, закрывали крышкой и настаивали два часа, затем смешивали с комбикормом.

В качестве показателей воспроизводительной функции учитывали встречаемость задержаний последа, количество дней от отела до первой охоты и оплодотворения.

Во втором опыте на молочной ферме «Восточное» использовали жидкий экстракт корней акантопанакса, который скармливали с комбикормом в течение первых десяти дней после отела в дозе 50 мл. Коров распределяли на две группы по принципу случайности, но с учетом состояния здоровья, живой массы и возраста в отелах. У коров на 20-й день после отела определяли ректально размеры яичников.

Третий опыт провели в зимне-стойловый период на молочных фермах ООО «Сергеевское» и ОАО «Заря». Под наблюдением находилось 1256 сухостойных коров, которым за 20...30 дн. до предполагаемого отела однократно вводили 5 мл раствора, содержащего 50 мг селенита натрия и 0,5 мл экстракта корней акантопанакса. Контроль – 526 сухостойных коров. Эффективность профилактических инъекций оценивали по встречаемости задержаний последа и маститов, сохранности телят до месячного возраста, продолжительности сервис-периода. Условия кормления и содержания животных во всех группах были одинаковыми.

Данные обрабатывали согласно руководству по биометрии Н. Плохинского. [11]

РЕЗУЛЬТАТЫ

В первом опыте находилось 58 гол., по 29 в опытной и контрольной группах. Кратковременное включение в рацион сухостойных коров муки из корней акантопанакса оказало положительное влияние на изучаемые показатели. Случаи оперативного отделения последа сократились с 11,9 до 3,8%, количество дней от отела до первой охоты на 11,7 дн. (с 66,8 в контроле до 55,1 в опыте), продолжительность сервис-периода уменьшилась в среднем на 15 дн. (с 88 до 73).

У трех коров каждой группы дважды (в начале сухостойного периода и через 45 дн.) определяли активность ферментов крови (табл. 1).

Выявили динамичность активности ферментов сыворотки крови по мере увеличения сроков стельности. В то же время наблюдали неадекватность этих изменений у коров опытной группы. Это подтверждает результаты ранее проведенных ис-

Таблица 1.

Активность ферментов сыворотки крови сухостойных коров, Ммоль/мл/ч

Показатель	АТФ		ЛДГ		Щелочная фосфатаза	
	7,0	8,5	7,0	8,5	7,0	8,5
Срок стельности, мес.						
Контроль	0,507±0,1	0,870±0,2	32,80±2,3	28,60±0,5	1,50±0,8	0,50±0,1
Опыт	0,556±0,1	0,770±0,2	30,10±2,3	31,90±0,5	1,46±0,5	0,70±0,2

Таблица 2.
Влияние экстракта корней акантопанакса на репродуктивную способность коров

Показатель		Опыт	Контроль
Количество коров		19	19
Оперативное отделение последа, %		0,0	26,9
Длительность выделения лохий, дн.		16,44±0,57	24,12±0,70
Период восстановления половых органов после отела, дн.		20,77±0,5	30,68±1,4
Время от отела до первой охоты, дн.		36,0±4,1	69,43±6,0
Сервис-период, дн.		58,00±3,6	83,13±5,4
Величина яичников, см:			
Левый	длина	2,31±0,27	1,76±0,56
	высота	1,62±0,23	1,39±0,28
Правый	длина	2,66±0,33	2,32±0,30
	высота	1,87±0,24	2,11±0,21

Таблица 3.
Эффективность лечения гипофункции яичников у первотелок экстрактом корней акантопанакса

Показатель	Контроль	Опыт		
		гипофункция яичников	атрофия яичника	
			правый	левый
Количество коров	18	22	8	14
Количество дней от отела до начала лечения	45,9±0,9	45,7±1,3	45,3±1,2	45,5±1,2
*** первой охоты	95,7±7,1	63,3±5,0**	67,4±6,1	59,4±4,2***
*** оплодотворения	121,5±1,3	86,7±9,0*	98,6±10,0	89,8±5,1*

Примечание. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

следований, в которых в качестве стимулятора использовали корни элеутерококка. Содержание в сыворотке крови сиаловых кислот, церулоплазмина и лизоцима имело индивидуальную изменчивость вне зависимости от изучаемого фактора. [4]

Результаты второго опыта, где применяли экстракт корней акантопанакса с первого дня после отела представлены в таблице 2. Все изучаемые показатели, характеризующие состояние воспроизводительной функции коров, свидетельствуют о положительных изменениях в организме животных. При этом следует учесть, что по просьбе специалистов хозяйства в опыт были включены четыре коровы после оперативного отделения последа.

У животных опытной группы ускорились процессы инволюции матки. Благодаря этому половые циклы после отела возобновились раньше в среднем на 9,9 дн., по сравнению со сверстницами контрольной группы, что положительно отразилось на результатах искусственного осеменения коров. Величина сервис-периода сократилась на 25,13 дн. Различие достоверно при $P < 0,01$ ($td = 3,2$).

У 44 первотелок была изучена возможность лечения гипофункции яичников скармливанием экстракта корней акантопанакса. Стимулятор давали один раз в сутки в течение 10 дн. по 50 мл. Эту дозу смешивали с водой 1:1 и затем с комбикормом. В опыт отбирали животных, у которых половые циклы не проявились в течение 40...45 дн. после отела (табл. 3).

Результаты исследований подтвердили данные опытов на белых мышах о ярко выраженном гонадостимулирующем действии корней акантопанакса. [1] Половые циклы у первотелок опытных групп возобновились на 28,3...36,3 дн. раньше, чем в контроле, что обеспечило более раннее оплодотворение. Отмечено различие реакции организма на стимулятор у животных с атрофией левого или правого яичника. У последних наступление охоты происходило позднее и были худшие результаты осеменения, чем у сверстниц с атрофией левого яичника. Инъекции препарата положительно влияли на воспроизводительную функцию коров и жизнеспособность приплода. Случаи оперативного отделения последа снизились в среднем на 18,36%, сократилась встречаемость скрытых и клинически выраженных маститов в первом месяце после отела с 16,75 в контроле до 9,45% в опыте.

Общий выход и сохранность телят до месячного возраста повысились на 21,66% (с 73,04 до 94,70%). В опытных группах отмечено более раннее наступление стельности. Продолжительность сервис-периода в опыте составила в среднем 84,57 дн., в контроле 98,52 дн.

Таким образом, проведенные в разных хозяйствах исследования выявили стимулирующее влияние препаратов из корней акантопанакса на репродуктивную функцию коров. В отличие от других представителей семейства аралиевые, технология выращивания акантопанакса в культуре хорошо разработана и значительно проще. Так как акантопанакс не требователен к освещению, почве и теплу, возможна организация его промышленных плантаций на юге Дальнего Востока и других регионах со сходными климатическими условиями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Апанасенко С.В. Влияние адаптогенов семейства аралиевых на спермопродукцию хряков-производителей и их потомство // Аграрный вестник Урала. 2012. № 7 (99). С. 38-39
2. Брехман И.И. Элеутерококк. Л.: Наука, 1968. 183 с.
3. Гичев Ю.Ю., Гичев Ю. П. Руководство по микронутриентологии. Роль и значение биологически активных добавок к пище. М.: «Триада-Х», 2006. С. 20–25
4. Добряков Ю.И. Результаты фармакологических исследований природного лекарственного сырья Дальневосточного региона // Вестник ДВО РАН. 2004. № 3. С. 87–92
5. Донченко О.А., Донченко Н.А., Коптев В.Ю. и др. Особенности применения адаптогенов при наличии и отсутствии стресс-факторов у животных и птиц // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2013. № 3. С. 95–100
6. Карпуть В.А. Продуктивные и резистентные качества телят под влиянием иммуностимулирующих препаратов растительного происхождения // Зоотехническая наука Беларуси. 2014. Т. 49. № 2. С. 278–285
7. Ключникова Н.Ф., Ключников М.Т., Станчев А.Н. Эффективность кратковременного включения растений семейства аралиевые в рацион коров в период раздоя // Кормопроизводство. 2012. № 12. С. 43–44
8. Ключникова Н.Ф., Ключников М.Т. Аспекты изменчивости семяпродукции хряков в условиях муссонно-

- го климата среднего Приамурья // Евразийский союз ученых. 2014. № 8-10. С. 77–78
9. Никулина О.А., Никулин Ю.П., Ли Т.Г. Молочная продуктивность и воспроизводительная способность коров при воздействии побегов некоторых природных адаптогенов Дальнего Востока // Проблемы сельскохозяйственного производства Приморского края: Мат. конф. аспирантов и молодых ученых. Уссурийск, 2003. С. 120–123.
 10. Пехтерев А.К., Пехтерев Н.А. Фитотерапия (траволечение, лечебные свойства дикорастущих и культурных растений Дальнего Востока. Хабаровск, 2004. Т. 1. 286 с.
 11. Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: «Колос», 2006. 257 с.
 12. Рукавишников С.А., Зыбина Н.Н., Саканян Е.И. Фитоадаптогены и их влияние на лабораторные показатели крови, характеризующие радиорезистентность организма // Актуальные проблемы создания новых лекарственных препаратов природного происхождения: Мат. VIII Межд. съезда Фитофарм: Тез. докл. Миккели, 2004. С. 166–168
 13. Третьякова Е.Н., Нечепорук А.Г. Влияние биологически активной добавки растительного происхождения на рост и сохранность цыплят бройлеров кросса «Ross-308» // Вестник Мичуринского ГАУ. 2014. № 3. С. 47–48
 14. Успенская Ю.А. Цитоадаптивный эффект препаратов растительного происхождения // В сб.: Проблемы современной аграрной науки. Мат. Межд. заочн. науч. конф. Отв. за вып.: Г.И. Цугленок, Ж.Н. Шмелева. 2015. С. 43–46.
- REFERENCES**
1. Apanasenko S.V. Vliyanie adaptogenov semejstva aralievyh na spermoprodukciju hryakov-proizvoditelej i ih potomstvo // Agrarnyj vestnik Urala. 2012. № 7 (99). S. 38–39
 2. Brekhman I.I. Eleuterokokk. L: Nauka, 1968. 183 s.
 3. Gichev Yu.Yu., Gichev Yu. P. Rukovodstvo po mikronutrientologii. Rol' i znachenie biologicheski aktivnyh dobavok k pishche. M.: «Triada-H», 2006. S. 20–25
 4. Dobryakov Yu.I. Rezul'taty farmakologicheskikh issledovanij prirodnogo lekarstvennogo syr'ya Dal'nevostochnogo regiona // Vestnik DVO Ran. 2004. № 3. S. 87–92
 5. Donchenko O.A., Donchenko N.A., Koptev V.Yu. i dr. Osobnosti primeneniya adaptogenov pri nalichii i otsutstvii stress-faktorov u zhivotnyh i ptic // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. 2013. № 3. S. 95–100
 6. Karput' V.A. Produktivnye i rezistentnye kachestva telyat pod vliyaniem immunostimuliruyushchih preparatov rastitel'nogo proiskhozhdeniya // Zootekhnicheskaya nauka Belarusi. 2014. T. 49. № 2. S. 278–285
 7. Klyuchnikova N.F., Klyuchnikov M.T., Stanchev A.N. Effektivnost' kratkovremennogo vklyucheniya rastenij semejstva aralievye v racion korov v period razdoya // Kormoproizvodstvo. 2012. № 12. S. 43–44
 8. Klyuchnikova N.F., Klyuchnikov M.T. Aspekty izmenchivosti semyaprodukcii hryakov usloviyah mussonnogo klimata srednego Priamur'ya // Evrazijskij soyuz uchenyh. 2014. № 8-10. S. 77–78
 9. Nikulina O.A., Nikulin Yu.P., Li T.G. Molochnaya produktivnost' i vosproizvoditel'naya sposobnost' korov pri vozdeystvii pobegov nekotoryh prirodnih adaptogenov Dal'nego Vostoka // Problemy sel'skohozyajstvennogo proizvodstva Primorskogo kraja: Mat. konf. aspirantov i molodyh uchenyh. Ussurijsk, 2003. S. 120–123.
 10. Pekhterev A.K., Pekhterev N.A. Fitoterapiya (travolechenie, lechebnye svoystva dikorastushchih i kul'turnyh rastenij Dal'nego Vostoka. Habarovsk, 2004. T. 1. 286 s.
 11. Plohinskij N.A. Rukovodstvo po biometrii dlya zootehnikov. M.: «Kolos», 2006. 257 s.
 12. Rukavishnikova S.A., Zybins N.N., Sakanyan E.I. Fitoadaptogeny i ih vliyanie na laboratornye pokazateli krvi, harakterizuyushchie radiorezistentnost' organizma // Aktual'nye problemy sozdaniya novyh lekarstvennyh preparatov prirodnogo proiskhozhdeniya: Mat. VIII Mezhd. s"ezda Fitofarm: Tез. dokl. Mikkel'i, 2004. S. 166–168
 13. Tret'yakova E.N., Nepochoruk A.G. Vliyanie biologicheski aktivnoj dobavki rastitel'nogo proiskhozhdeniya na rost i sohrannost' cyplyat brojlerov krossa «Ross-308» // Vestnik Michurinskogo GAU. 2014. № 3. S. 47–48
 14. Uspenskaya Yu.A. Citoadaptivnyj effekt preparatov rastitel'nogo proiskhozhdeniya // V sb.: Problemy sovremennoj agrarnoj nauki. Mat. Mezhd. zaochn. nauch. konf. Otv. za vyp.: G.I. Cuglenok, Zh.N. Shmeleva. 2015. S. 43–46.

*Поступила в редакцию 04.07.2023
Принята к публикации 18.07.2023*

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КОРОВ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ СТРЕССЕ*

Анна Вячеславовна Дерюгина¹, доктор биологических наук
 Марина Николаевна Иващенко², кандидат биологических наук
 Мария Николаевна Таламанова¹, кандидат биологических наук
 Владимир Александрович Петров², аспирант
 Дарья Александровна Еробкина¹, аспирант
 Александра Андреевна Кустова¹, аспирант

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
 имени Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Россия

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет»,
 г. Нижний Новгород, Россия
 E-mail: kafedra2577@mail.ru

Аннотация. Проведено исследование гематологических показателей у коров при действии низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) на фоне технологического стресса. Объект изучения — высокопродуктивные коровы голштинской черно-пестрой породы, которым моделировали технологический стресс и в дальнейшем воздействовали НИЛИ (длина волны — 830 нм) на холку или ухо с экспозицией 5 и 15 мин. в зависимости от группы животных. Установили увеличение количества лейкоцитов до четырнадцатых суток, уменьшение эритроцитов и гемоглобина к третьим суткам эксперимента относительно значений интактных животных. При действии НИЛИ на фоне технологического стресса регистрировали повышение в крови эритроцитов, гемоглобина. Содержание лейкоцитов соответствовало уровню интактных животных, возрастала их функциональная активность. Концентрация глутатиона восстановленного у животных при технологическом стрессе была понижена на протяжении всего срока наблюдения, с использованием НИЛИ на фоне технологического стресса ее изменения были менее выражены. Применяя НИЛИ на холку регистрировали рост содержания глутатиона восстановленного. Показатели крови свидетельствуют об активации компенсаторно-приспособительных реакций организма при действии НИЛИ на фоне технологического стресса.

Ключевые слова: технологический стресс, низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ), коровы, глутатион восстановленный, эритроциты, гемоглобин, лейкоциты

THE INFLUENCE OF LOW-INTENSITY LASER RADIATION ON THE BLOOD PARAMETERS OF COWS UNDER TECHNOLOGICAL STRESS

A.V. Deryugina¹, *Grand PhD in Biological Sciences*
 M.N. Ivashchenko², *PhD in Biological Sciences*
 M.N. Talamanova¹, *PhD in Biological Sciences*
 V.A. Petrov², *PhD Student*
 D.A. Erobkina¹, *PhD student*
 A.A. Kustova¹, *PhD student*

¹National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russia

²Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: kafedra2577@mail.ru

Abstract. The study of clinical-hematologic parameters under technological stress at cows and the effect of low-intensity laser radiation (LILR) under technological stress was carried out. The study was carried out on high-yielding Holstein black-breed cows which were modeled technological stress and subsequently exposed to LILR on the withers or ear with exposure time of 5 or 15 depending on the group of animals. LILR with a wavelength of 830 nm was used. The study of hematological parameters of blood under technological stress in animals showed an increase in the number of leukocytes up to 14 days, a decrease in the number of erythrocytes and hemoglobin by 3 days of the experiment relative to the values of intact animals. At action of LILR under technological stress the increase of erythrocytes and hemoglobin in blood was registered. The content of leukocytes in blood corresponded to the level of intact animals, their functional activity increased. The concentration of reduced glutathione in animals under technological stress was decreased throughout the entire observation period. When using LILR under technological stress in animals, changes in reduced glutathione were less pronounced compared to animals after technological stress. When cows were exposed to LILR on the withers, an increase in the content of reduced glutathione in blood was registered. The obtained results indicate that the changes in blood parameters are directed to the activation of compensatory-adaptive reactions of the organism under the action of LILR under technological stress.

Keywords: technological stress, low-intensity laser radiation (LILR), cows, glutathione, erythrocytes, hemoglobin, leukocytes

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-26-00311 / The work was carried out with the financial support of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-26-00311.

Молочное скотоводство – перспективная отрасль животноводства России. [8] При промышленном содержании повышение продуктивности животных сопровождается увеличением чувствительности к негативным факторам кормления и эксплуатации. [17] Из-за развития стресс-реакции организма снижается резистентность, которая зависит от работы его кислородно-транспортной системы и антиоксидантного состояния, возникает риск метаболического дисбаланса и заболеваемости. [7, 10, 14] Эритроциты транспортируют дыхательные газы и влияют на приспособительные реакции организма к различным условиям. Антиоксидантные свойства в значительной степени связаны с системой глутатиона, восстановленная форма которого взаимодействует с активными формами кислорода непосредственно, либо в качестве субстрата ферментов антиоксидантной системы. [4, 5] Исследование особенностей состояния крови и глутатиона восстановленного при воздействии физико-химических факторов, особенно стрессов и их коррекции, важно для оценки способности организма к адаптации.

Экспериментально-клинические испытания свидетельствуют об использовании низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) в ветеринарной медицине при коррекции функциональных нарушений, подавления болевых и провоспалительных реакций. [6, 13, 15]

Цель работы – изучение гематологических показателей и антиоксидантной системы у коров при технологическом стрессе и действии НИЛИ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В условиях промышленного комплекса Нижегородской области проводили исследования на клинически здоровой молочной популяции высокопродуктивных коров голштинской черно-пестрой породы второй лактации ($n = 60$) в соответствии с нормами Российской академии сельскохозяйственных наук, рекомендациями Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных или научных целях (ETS № 123, Страсбург, 1986 год).

Методом аналогов было сформировано шесть групп по 10 гол. в каждой: 1 группа – интактная; коровы 2, 3, 4, 5, 6 – подвергались действию технологического стресса (взвешивание, перегруппировка, смена рациона, проведение ветообработок). Затем на животных 3, 4, 5, 6 групп ежедневно в течение семи дней воздействовали НИЛИ (длина волны – 830 нм, мощность – 90 мВт): 3...5 мин. на ухо; 4...5 мин. на холку; 5...15 мин. на ухо; 6...15 мин. на холку.

Для лазеротерапии применяли автономный лазерный душ «МарсИК» (НПО «Петролазер», Санкт-Петербург).

Животных опытных и контрольных групп содержали в одинаковых условиях. Постоянно наблюдали за температурой тела, частотой пульса, дыханием, состоянием вымени (реакция секрета с 2%-м раствором мастидина).

Забор крови проводили на 1, 3, 14 и 30 сутки после первого воздействия НИЛИ. Гематологические

показатели исследовали на гемоанализаторе Abacus (Австрия).

Оценивали морфофункциональное состояние нейтрофилов на лазерном интерференционном микроскопе МИМ-340 (Россия, Екатеринбург), используя лазер с длиной волны 650 нм и объектив с увеличением 30×. Для захвата изображений применяли видеокамеру VS-415U (НПК Videoscan, Россия) с разрешением 782×582 пикселей. Реконструкцию изображения из интерферограмм проводили методом фазовых шагов в программе WinPhast, для последующей работы использовали программу FIJI (США) и Microcal Origin (Microcal Inc., США). Протокол микроскопии включал визуализацию фазово-интерференционного образа клетки.

Концентрацию глутатиона определяли в плазме крови с применением 5,5'-ди-тио-бис(-2-нитробензойной) кислоты (ДТНБ) и 20%-го раствора сульфосалициловой кислоты. [16] Пробы фотометрировали при длине волны 412 нм на спектрофотометре.

Полученные данные обрабатывали в программе BIOSTAT. Рассчитывали среднюю арифметическую и ее ошибку ($M \pm m$), достоверность разницы (p) по критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование гематологических показателей выявило их изменение при технологическом стрессе и показало корректирующее влияние НИЛИ, которое зависело от места воздействия и времени экспозиции.

Общее количество лейкоцитов в крови коров после технологического стресса увеличивалось в течение первых 14 сут., что свидетельствует о сверхмобилизации защитных сил организма. У животных после воздействия НИЛИ в области уха не отмечено изменений общего количества лейкоцитов. Лазеротерапия на холку после технологического стресса способствовала его повышению до третьих суток эксперимента, с 14 сут. оно достигло уровня животных интактной группы.

Подтверждением служат интерферограммы нейтрофилов, которые выявили при технологическом стрессе увеличение функционально активных нейтрофилов и дегенеративно измененных клеток, что отображалось на интерферограммах пространственным перераспределением цитоплазмы, внутриклеточных органелл и ядра, по сравнению с нейтрофилами интактных животных. При НИЛИ на фоне стресса в течение первых трех суток регистрировали повышение функционально активных нейтрофилов из-за снижения количества дегенеративно измененных форм. Наиболее выраженные изменения наблюдали при действии НИЛИ в области холки.

Содержание эритроцитов и гемоглобина после технологического стресса и НИЛИ в исследуемых группах также уменьшилось, по сравнению с интактной. У животных после применения НИЛИ в области уха оно статистически не отличалось от показателей интактной группы на протяжении всего эксперимента.

Таблица 1.
Гематологические показатели крови коров при воздействии НИЛИ для коррекции технологического стресса, (M±m)

Группа животных	Этап исследования, сутки	Эритроциты, *10 ¹² /л	Гемоглобин, г/л	Лейкоциты, *10 ⁹ /л
Интактные	1	7,43±0,46	121±3,41	6,72±0,79
	3	7,42±0,31	123±2,27	6,73±0,82
	14	7,38±0,39	126±2,18	6,67±0,75
	30	7,41±0,42	121±2,18	6,69±0,81
Технологический стресс	1	5,33±0,58*	99±4,74*	8,96±1,09*
	3	5,42±0,52*	115±3,68*	9,88±1,41*
	14	6,43±0,74	127±3,01	9,33±0,65*
НИЛИ, 5 мин. ухо	30	7,33±0,65	120±2,31	6,98±0,47
	1	6,72±0,48	113±2,48*	7,54±1,55
	3	6,71±0,39	113±2,54*	7,42±1,33
НИЛИ, 15 мин. ухо	14	6,88±0,59	121±2,24	7,22±0,86
	30	6,74±0,56	123±2,17	6,82±0,97
	1	6,91±0,57	121±4,37	7,47±1,13
НИЛИ, 15 мин. уха	3	7,04±0,61	122±3,35	7,36±0,93
	14	7,89±0,85	121±3,08	7,41±1,15
	30	7,75±0,74	121±2,24	7,14±1,06
НИЛИ, 5 мин. холка	1	7,57±0,24*	123±2,48	8,32±0,97*
	3	7,51±0,34*	122±2,32	8,15±1,02*
	14	7,48±0,74	123±2,12	7,11±1,07
НИЛИ, 15 мин. холка	30	7,52±0,56	120±2,17	7,26±1,12
	1	7,62±0,39*	120±3,24	7,98±0,64*
	3	7,94±0,61*	121±3,31	7,85±1,14*
НИЛИ, 15 мин. холка	14	7,87±0,64*	124±2,91	7,25±1,22
	30	7,76±0,82	122±2,37	7,44±1,06
	Норма по Кондрахину, 2004		5...7,5	99...129

Примечание. Среднее ± SEM, * – статистически значимые различия относительно значений группы животных при технологическом стрессе, p≤0,05. То же в табл. 2.

Воздействие НИЛИ на холку (особенно продолжительностью 15 мин.) способствовало увеличению количества эритроцитов в течение всего эксперимента. Содержание гемоглобина при направлении НИЛИ на холку в течение 5 или 15 мин. не отличалось от показателей животных интактной группы (табл. 1).

В качестве оценки состояния антиоксидантной системы был проведен анализ глутатиона восстановленного в крови коров. Значительно изменилась динамика его концентрации, зафиксирована разница по данному показателю между интактной и группой после технологического стресса на протяжении всего исследования. У животных после технологического стресса отмечен низкий уровень восстановленного глутатиона, что говорит о снижении антиоксидантной защиты организма. После использования НИЛИ происходит ее активация. Через трое суток после воздействия НИЛИ в область уха с экспозицией 5 и 15 мин. и холки (5 мин.) уровень глутатиона восстановленного был выше, чем у животных после технологического стресса,

но ниже интактной группы. При НИЛИ, направленном в холку в течение 15 мин. к третьим суткам содержание глутатиона восстановленного статистически значимо не отличалось от показателей интактной группы.

Начиная с 14 суток и до конца эксперимента между животными интактной группы и опытными, которым проводили лазеротерапию, изменений по анализируемому параметру не установлено.

Содержание эритроцитов и концентрация гемоглобина в крови – параметры для оценки пропускной способности кислорода, отражающие его количество, которое может быть доставлено на периферию на единицу объема сердечного выброса. [11] При действии НИЛИ выявлено повышение данных показателей, что свидетельствует об активации адаптационных реакций организма коров. Увеличение содержания эритроцитов позволяет ожидать большего выброса АТФ и оксида азота из красных кровяных клеток, что усиливает вазодилатацию и улучшает приток крови к органам и тканям. [2] Глутатион и глутатионзависимые энзимы способствуют адаптации к окислительному стрессу. [3, 18] При всех видах воздействия НИЛИ, используемых в работе, восстановление глутатиона произошло раньше, чем при технологическом стрессе. Установлено, что НИЛИ активирует компенсаторно-приспособительную работу организма. При стрессе β₂-адренорецепторы повышают содержание цАМФ, снижают количество ионов Ca²⁺

Таблица 2.
Содержание глутатиона восстановленного в крови коров при воздействии НИЛИ для коррекции технологического стресса, (M±m)

Группа животных	Этап исследования, сутки	Восстановленный глутатион, ммоль/л
Интактные	1	0,21±0,07
	3	0,22±0,03
	14	0,25±0,06
	30	0,24±0,04
Технологический стресс	1	0,14±0,01*
	3	0,12±0,01*
	14	0,18±0,01*
	30	0,19±0,03
НИЛИ, 5 мин. ухо	1	0,16±0,06*
	3	0,16±0,12*
	14	0,23±0,11
	30	0,23±0,07
НИЛИ, 15 мин. ухо	1	0,15±0,3*
	3	0,18±0,07*
	14	0,23±0,07
	30	0,25±0,03
НИЛИ, 5 мин. холка	1	0,17±0,05*
	3	0,19±0,07*
	14	0,27±0,14
	30	0,25±0,12
НИЛИ, 15 мин. холка	1	0,19±0,06*
	3	0,23±0,07
	14	0,24±0,08
	30	0,23±0,09

в цитозоле в нейтрофилах, ингибируют образование супероксида и выделение эластазы, таким образом препятствуют работе нейтрофилов как участников иммунитета. [19] Известно, что существует процесс переключения (switching) β_2 -адренорецепторов с Gs-белка на Gi-белок, уровень цАМФ при их активации будет снижаться в результате фосфорилирования. [20] Видимо это происходит при действии НИЛИ, когда на интерферогенных регистрируется увеличение функционально активных нейтрофилов. Это обусловлено тем, что энергия электромагнитных волн, преобразуясь в акустоэлектрические колебания, инициирует метаболические процессы в клетке, приводя к существенным изменениям биохимических, физиологических и функциональных параметров, и проявляется в увеличении активности нейтрофилов и усилении синтеза глутатиона восстановленного. [1, 9, 12]

Таким образом, действие НИЛИ приводит к повышению адаптационных реакций организма животных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Высокогорский В.Е., Ефременко Е.С., Грицаев И.Е. Характеристика обмена глутатиона при алкогольном абстинентном синдроме // Наркология. 2006. № 56 (8). С. 59–61.
2. Голубева М.Г. Влияние физической нагрузки на функциональное состояние мембран эритроцитов // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. № 10 (2). С. 55–64. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.55.
3. Кудряшов А.М., Титова Н.М., Кудряшова Е.В. Влияние поллютантов с различными стресс-характеристиками на антиоксидантный статус эритроцитов in vitro // Экология человека. 2005. № 1. С. 14–18. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-006-014.
4. Кулинский В.И. Колесниченко Л.С. Система глутатиона. I. Синтез, транспорт, глутатионтрансферазы, глутатионпероксидазы // Биомед. химия. 2009. № 55 (3). С. 255–277. DOI: 10.1134/S1990750809020036.
5. Нестеров Ю.В. Морфофизиологические показатели эритроцитов при оксидативном стрессе на разных этапах онтогенеза // Живые и биокосные систем. 2015. № 11. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-11/article-5>.
6. Нечипуренко Н.И., Пашковская И.Д., Степанова Ю.И. Механизмы действия и биологические эффекты низкоинтенсивного лазерного излучения // Медицинские новости. 2008. № 12. С. 17–21.
7. Осочук, С.С. Марцинкевич А.Ф. Физико-химические свойства мембран эритроцитов спортсменов циклических видов спорта // Вестник ВГМУ. 2013. № 12 (3). С. 25–31.
8. Прохоренко П.Н. Методы повышения генетического потенциала продуктивности и его реализация в молочном скотоводстве // Журнал Вестник ОрелГАУ. 2008. № 2 (18). С. 11–13.
9. Чуян Е.Н. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ. Симферополь: Эльинь, 2003. 448 с.
10. Шамонина А.И. Влияние стресса на молочную продуктивность первотелок // Зоотехническая наука Беларуси. 2021. № 56 (2). С. 261–268.
11. Шумилова А.В., Дерюгина А.В., Гордлеева С.Ю., Бояринов Г.А. Действие цитофлавина на электрокинетические и агрегационные показатели эритроцитов в

посттравматический период черепно-мозговой травмы в эксперименте // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2018. Т. 81. № 3. С. 20–23. DOI: 10.30906/0869-2092-2018-81-3-20-23.

12. Эйдус Л.Х. Мембранный механизм биологического действия малых доз. Новый взгляд на проблему. М., 2001. 81 с.
13. Alves A. C., Vieira R., Leal-Junior E. et al. Effect of low-level laser therapy on the expression of inflammatory mediators and on neutrophils and macrophages in acute joint inflammation // Arthritis Res. Ther. 2013. № 15 (5). P. 116. DOI: 10.1186/ar4296.
14. Banfi G. Dolci A., Schonhuber H., Costantino B. Values of the parameter IRF in elite athletes // Clin Lab Haematol. 2004. № 26 (3). P. 241–244. DOI: 10.1111/j.1365-2257.2004.00610.x.
15. Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Samodelkin A.G. et al. Low-level laser therapy as a modifier of erythrocytes morphokinetic parameters in hyperadrenalinemia // Lasers in Medical Science. 2019. № 34 (8). С. 1603–1612. DOI: 10.1007/s10103-019-02755-y
16. Ellman G.L. Tissue sulfhydryl groups // Arch. Biochem. Biophys. 1959. Vol. 82. № 1. P. 70–77.
17. Lyles J.L., Calvo-Lorenzo M.S., Bill E. Kunkle Interdisciplinary Beef Symposium: Practical developments in managing animal welfare in beef cattle: What does the future hold? // J. Anim. Sci. 2014. № 9. P. 5334–5344. DOI: 10.2527/jas.2014-8149.
18. Mantovani G., Maccio A., Madeddi C. Reactive oxygen species, antioxidant mechanisms and serum cytokine levels in cancer patients: impact of an antioxidant treatment // J. Cell. Mol. Med. 2002. № 6 (6). P. 570–582. DOI: 10.1111/j.1582-4934.2002.tb00455.x.
19. Tintinger G.R., Theron A.J., Anderson R., Ker J.A. The Anti-Inflammatory Interactions of Epinephrine with Human Neutrophils in vitro Are Achieved by Cyclic AMP-Mediated Accelerated Re-sequestration of Cytosolic Calcium // Biochem. Pharmacol. 2001. Vol. 61. № 10. P. 1319–1328. DOI: 10.1016/s0006-2952(01)00588-3.
20. Woo A.Y., Song Y., Xiao R.P., Zhu W. Biased β_2 -Adrenoceptor Signaling in Heart Failure: Pathophysiology and Drug Discovery // Br.J. Pharmacol. 2015. Vol. 172. № 23. P. 5444–5456. DOI: 10.1111/bph.12965.

REFERENCES

1. Vysokogorskij V.E., Efremenko E.S., Gricev I.E. Harakteristika obmena glutationa pri alkogol'nom abstinentnom syndrome // Narkologiya. 2006. № 56 (8). S. 59–61.
2. Golubeva M.G. Vliyanie fizicheskoy nagruzki na funkcional'noe sostoyanie membran eritrocitov // Sportivnaya medicina: nauka i praktika. 2020. № 10 (2). S. 55–64. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.55.
3. Kudryashov A.M., Titova N.M., Kudryashova E.V. Vliyanie pollyutantov s razlichnymi stress-harakteristikami na antioksidantnyj status eritrocitov in vitro // Ekologiya cheloveka. 2005. № 1. S. 14–18. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-006-014.
4. Kulinskij V.I. Kolesnichenko L.S. Sistema glutationa. I. Sintez, transport, glutationtransferazy, glutationperoksidazy // Biomed. himiya. 2009. № 55 (3). S. 255–277. DOI: 10.1134/S1990750809020036.
5. Nesterov Yu.V. Morfofiziolozicheskie pokazateli eritrocitov pri oksidativnom stresse na raznykh etapah ontogeneza // Zhivye i biokosnye sistem. 2015. № 11. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-11/article-5>.

6. Nechipurenko N.I., Pashkovskaya I.D., Stepanova Yu.I. Mekhanizmy dejstviya i biologicheskie efekty nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya // Medicinskie novosti. 2008. № 12. S. 17–21.
7. Osochuk, S.S. Marcinkevich A.F. Fiziko-himicheskie svoystva membran eritrocitov sportsmenov ciklicheskih vidov sporta // Vestnik VGMU. 2013. № 12 (3). S. 25–31.
8. Prohorenko P.N. Metody povysheniya geneticheskogo potenciala produktivnosti i ego realizaciya v molochnom skotovodstve // Zhurnal Vestnik OrelGAU. 2008. № 2 (18). S. 11–13.
9. Chuyan E.N. Fiziologicheskie mekhanizmy biologicheskikh effektov nizkointensivnogo EMI KVCH. Simferopol': El'in'о, 2003. 448 s.
10. Shamonina A.I. Vliyaniye stressa na molochnuyu produktivnost' pervotelok // Zootekhnicheskaya nauka Belarusi. 2021. № 56 (2). S. 261–268.
11. Shumilova A.V., Deryugina A.V., Gordleeva S.Yu., Boyarinov G.A. Dejstvie citoflavina na elektrokineticheskie i agregacionnye pokazateli eritrocitov v posttravmaticheskij period cherepno-mozgovej travmy v eksperimente // Eksperimental'naya i klinicheskaya farmakologiya. 2018. T. 81. № 3. S. 20–23. DOI: 10.30906/0869-2092-2018-81-3-20-23.
12. Ejduš L.H. Membrannyj mekhanizm biologicheskogo dejstviya malyh doz. Novyj vzglyad na problemu. M., 2001. 81 s.
13. Alves A. C., Vieira R., Leal-Junior E. et al. Effect of low-level laser therapy on the expression of inflammatory mediators and on neutrophils and macrophages in acute joint inflammation // Arthritis Res. Ther. 2013. № 15 (5). P. 116. DOI: 10.1186/ar4296.
14. Banfi G. Dolci A., Schonhuber H., Costantino B. Values of the parameter IRF in elite athletes // Clin Lab Haematol. 2004. № 26 (3). P. 241–244. DOI: 10.1111/j.1365-2257.2004.00610.x.
15. Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Samodelkin A.G. et al. Low-level laser therapy as a modifier of erythrocytes morphokinetic parameters in hyperadrenalinemia // Lasers in Medical Science. 2019. № 34 (8). P. 1603–1612. DOI: 10.1007/s10103-019-02755-y
16. Ellman G.L. Tissue sulfhydryl groups // Arch. Biochem. Biophys. 1959. Vol. 82. № 1. P. 70–77.
17. Lyles J.L., Calvo-Lorenzo M.S., Bill E. Kunkle Interdisciplinary Beef Symposium: Practical developments in managing animal welfare in beef cattle: What does the future hold? // J. Anim. Sci. 2014. № 9. P. 5334–5344. DOI: 10.2527/jas.2014-8149.
18. Mantovani G., Maccio A., Madeddi C. Reactive oxygen species, antioxidant mechanisms and serum cytokine levels in cancer patients: impact of an antioxidant treatment // J. Cell. Mol. Med. 2002. № 6 (6). P. 570–582. DOI: 10.1111/j.1582-4934.2002.tb00455.x.
19. Tintinger G.R., Theron A.J., Anderson R., Ker J.A. The Anti-Inflammatory Interactions of Epinephrine with Human Neutrophils in vitro Are Achieved by Cyclic AMP-Mediated Accelerated Resequestration of Cytosolic Calcium // Biochem. Pharmacol. 2001. Vol. 61. № 10. P. 1319–1328. DOI: 10.1016/s0006-2952(01)00588-3
20. Woo A.Y., Song Y., Xiao R.P., Zhu W. Biased 2-Adrenoceptor Signaling in Heart Failure: Pathophysiology and Drug Discovery // Br. J. Pharmacol. 2015. Vol. 172. № 23. P. 5444–5456. DOI: 10.1111/bph.12965.

Поступила в редакцию 03.09.2023

Принята к публикации 18.09.2023

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗ-ЗА ПРИМЕНЕНИЯ ИНСЕКТИЦИДОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ДЛЯ БОРЬБЫ С КРОВОСОСУЩИМИ ДВУКРЫЛЫМИ НАСЕКОМЫМИ*

Андрей Тимофеевич Роткин, младший научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии — филиал
Федерального государственного бюджетного учреждения науки федерального исследовательского центра
Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия
E-mail: andreyrotkin2323@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены научные исследования, свидетельствующие о негативных факторах, возникающих при применении инсектицидов для борьбы с кровососущими двукрылыми насекомыми, которые переносят вирусные болезни человека и животных (сибирская язва, туляремия, дифтерия, анаплазмоз и другие), а также способствуют передаче инвазионных заболеваний, что дополнительно усиливает их вредоносность. Для снижения экономического ущерба, причиняемого насекомыми, прибегают к химическим инсектицидам. Но они негативно влияют на окружающую среду и нецелевые организмы, в том числе на человека. Масштабность применения инсектицидных препаратов опережает изученность последствий, связанных с их использованием. Сложившаяся ситуация требует переоценки данного подхода к борьбе с вредителями. Для сбора информации были изучены работы в российских и зарубежных источниках о последствиях действия инсектицидов. Исследования в этой области необходимы для разработки эффективных и безопасных стратегий борьбы с вредителями и уменьшения потерь в животноводстве. Для преодоления экологических проблем рассмотрен комплексный подход, включающий множество тактик, базирующихся на альтернативных методах дезинсекции и сочетающий в себе механические, культурные, биологические и химические способы борьбы с вредителями при минимальном использовании инсектицидов.

Ключевые слова: инсектициды, кровососущие двукрылые насекомые, альтернативные методы борьбы, ловушки, экологическая безопасность

ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF INSECTICIDES APPLICATION IN AGRICULTURE TO COMBAT BLOOD-SUCKING DIPTEROUS INSECTS

A.T. Rotkin, Junior Researcher

The All-Russian Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology is a branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia
E-mail andreyrotkin2323@yandex.ru

Abstract. This article discusses scientific studies that indicate the negative factors that arise when using insecticides to combat blood-sucking diptera insects. Diptera insects are carriers of viral diseases of humans and animals, such as anthrax, tularemia, diphtheria, anaplasmosis and others. They also contribute to the transmission of invasive diseases, which further increases their harmfulness. To reduce the economic damage caused by insects, various preventive and extermination measures are used, where the main method is the use of insecticides. However, more and more studies point to the negative impact of chemical insecticides on the environment and non-target organisms, including humans. This may indicate that the scale of the use of insecticidal drugs is far ahead of the study of the consequences associated with their use. Therefore, the current situation requires a reassessment of this approach to pest control. To collect information, a search was made for scientific papers in Russian and foreign sources on the negative consequences of the use of insecticides and alternative approaches to pest control. Research in this area is necessary to develop effective and environmentally friendly pest control strategies and minimize losses in animal husbandry. To overcome the environmental problems associated with the use of insecticides in animal husbandry, an integrated approach is considered, which includes a variety of tactics based on alternative methods of disinsection and combining mechanical, cultural, biological and chemical methods of pest control while minimizing the use of insecticides.

Keywords: insecticides, blood-sucking diptera insects, alternative methods of control, traps, environmental safety

Использование инсектицидных препаратов — основной метод для борьбы с кровососущими двукрылыми насекомыми, которые переносят вирусные болезни человека и животных (сибирская язва, туляремия, дифтерия, анаплазмоз, чума свиней, малярия, лейкоз крупного рогатого скота, лихорадка Запад-

ного Нила, омская геморрагическая лихорадка, холера и другие), а также считаются природными резервуарами для размножения их возбудителей. [3, 4, 7, 10] На теле насекомых могут находиться яйца аскарид, оксиур, тениид плотоядных, ооцист эймерий. Мухи — промежуточные хозяева драшей, те-

* Статья подготовлена при финансовой поддержке: 121042000076-5 Разработка методов научно-обоснованного применения средств дезинсекции, химической и биологической регуляции численности паразитов с целью сохранения эпизоотического благополучия и качества здоровья сельскохозяйственных и непродуктивных животных, пчел и птиц / The article was prepared with the financial support of: 121042000076-5 Development of methods for the scientifically based use of pest control, chemical and biological regulation of the number of parasites in order to preserve epizootic well-being and health quality of agricultural and unproductive animals, bees and birds.

лязий, габронем, парафилярий, филярий и других гельминтов. [3]

Болезненность укусов и звук, который издают насекомые, мешают животным потреблять необходимое количество зеленого корма во время пастбищного выпаса. Подверженные массовому нападению кровососущих насекомых, животные могут погибать в результате токсикоза и кровопотери. [6, 7, 10]

В совокупности вышеперечисленные факторы наносят экономический ущерб, который складывается из снижения удоев коров и привесов молодняка на 15...40%. [3, 4, 7] Применение инсектицидных средств – основной метод борьбы с насекомыми комплекса «гнус». [12, 14]

Количество исследований негативного воздействия химических инсектицидов на окружающую среду растет, что приводит к переоценке данного подхода, как основополагающего в борьбе с вредителями. [4, 7]

Цель работы – обзор научных источников для изучения экологических проблем, связанных с использованием инсектицидов в животноводстве, и обобщения альтернативных методов борьбы с кровососущими двукрылыми насекомыми.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проанализированы работы отечественных и зарубежных авторов, в которых содержится описание методов применения инсектицидов для защиты животных от эктопаразитов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В связи с развитием сельского хозяйства и разработкой новых препаратов продажи пестицидов в России за пять лет увеличились на 39,7% (2018 год – 154,3 тыс. т, 2022 – 215,6).

Действие инсектицидов приводит к развитию устойчивой резистентности насекомых-вредителей, негативному влиянию на нецелевые организмы и загрязнению окружающей среды. [6, 9, 13, 14, 20]

По обобщенным сведениям о механизмах возникновения резистентности можно выделить три основных.

Изменения в целевом участке инсектицида. Например, пиретроиды воздействуют на натриевые каналы в нервной системе, вызывая паралич и смерть насекомых. Однако мутации в генах метаболизма инсектицидов могут привести к нечувствительности участка-мишени, делая их менее эффективными. [6, 20]

Ферменты детоксикации (монооксигеназы цитохрома P450, эстеразы и глутатион-S-трансферазы) помогают расщеплять и выводить токсины из организма. Со временем, из-за генетических изменений или повышенной экспрессии насекомые могут повысить свою метаболическую способность и более эффективно усваивать и выводить инсектициды, снижая их токсическое воздействие. [6, 9, 13, 14, 20]

Пониженное проникновение. Насекомые вырабатывают механизмы, уменьшающие проникновение пиретроидов через их кутикулу или экзоскелет, который действует как защитный барьер. Это изменяет структуру или состав кутикулы и снижает вса-

сывание инсектицида в организм насекомого, что наблюдали у комаров видов *Aedes aegypti* и *Anopheles gambiae*. [9, 20]

Применение инсектицидов пагубно влияет на пчелиные колонии, водные организмы, животных и человека. [1, 2, 5, 18]

У животных, подвергшихся высоким дозировкам неоникотиноидов или пиретроидов, наблюдаются судороги, мышечный тремор, возбуждение и нарушение координации, что может приводить к летальному исходу. При лабораторных исследованиях действия синтетических пиретроидов на репродуктивную систему животных выявили уменьшение массы плода, наличие дополнительных ребер, аборт, окостенение передних и задних конечностей. У молодняка изменялись биохимические показатели крови. Высокая концентрация инсектицидов вызывает нарушения функций антиоксидантной системы в половых железах самцов и снижает качество спермы. [5]

У людей, при чрезмерном воздействии синтетических пиретроидов и неоникотиноидов часто возникают аллергические реакции и астма (особенно у детей), головокружение, головные боли, тошнота, усталость, помутнение зрения, ощущение жжения и покалывания в области лица, тремор рук и ног, судороги, чувствительность к солнечному свету и даже потеря сознания. [1, 8] Было обнаружено, что их метаболиты могут присутствовать в грудном молоке женщин. У детей повышался уровень метаболитов в моче, появлялось агрессивное и возбужденное поведение, проблемы с кратковременной памятью, нарушение сна и ухудшение мыслительных способностей. Воздействие пиретроидов и неоникотиноидов на беременных женщин может выражаться в негативных изменениях центральной нервной системы плода. [1, 5, 8]

Загрязнение почвы и воды – экологическая проблема, связанная с применением инсектицидов в животноводстве. [1, 2] Пиретроиды наносят вред водным организмам прямым (обработка водоемов для ликвидации личинок кровососущих двукрылых насекомых) или косвенным (сток инсектицидов с животноводческих ферм и пастбищ) путем. Циркуляция пестицидов может происходить по схемам: воздух-растения-почва-растения-травоядные животные; почва-вода-зоо-, фитопланктон-рыба. Некоторые хищные рыбы и нецелевые водные насекомые показали сходный уровень чувствительности к пиретроидам, как и личинки комаров. [18]

Применение инсектицидов – одна из главных причин возникновения коллапса пчелиных колоний. Синтетические инсектициды, включая пиретроиды, способны снижать активность ацетилхолинэстеразы в синаптическом пространстве. Это может привести к сокращению популяции пчел и ослаблению колонии. Быстрое действие веществ вызывает гибель пчел вдали от улья. Из-за их вымирания пчел снижается урожайность сельскохозяйственных культур и наступает биологический дисбаланс. [2, 18]

Инсектициды пагубно влияют на микроорганизмы (бактерии, грибы и прочие), которые важны для здоровой почвенной экосистемы. Уничтожение полезных организмов нарушает естественные процессы разложения органического материала, циклы питания и биологической активности почвы. [1]

Для решения экологических проблем, связанных с использованием инсектицидов в животноводстве, применяют комплексный подход, включающий в себя множество тактик, базирующихся на альтернативных методах борьбы с насекомыми комплекса «гнус». Его преимущество заключается в интеграции нескольких стратегий для создания эффективной программы борьбы с вредителями. Этот подход сочетает в себе механические, культурные, биологические и химические методы уничтожения вредителей при минимальном участии инсектицидов.

Точная идентификация и регулярный мониторинг динамики популяции кровососущих двукрылых необходим для эффективной борьбы с вредителями. Понимая жизненный цикл насекомого, его поведение и уязвимые места, можно принять соответствующие меры. [16, 19] Акцент на превентивных мерах – фундаментальный аспект такого подхода. Сосредоточив внимание на методах, которые предупреждают распространение популяции вредителей (соблюдение санитарно-гигиенических норм в животноводческих хозяйствах, надлежащее обращение с отходами и работа с местами выплода), можно уменьшить зависимость от пестицидов. [19]

Применение инсектицидных ловушек представляет собой альтернативу химическим инсектицидам. Разработано и внедрено большое количество различных ловушек на основе привлечения насекомых с помощью физических и химических аттрактантов и умерщвления электрическим током. Для истребления слепней на пастбищах во ВНИИВЭА С.Д. Павловым была разработана юловидная ловушка, сокращающая численность слепней в период массового лёта до 50%. [2, 11]

В комплексе защитных мероприятий также важную роль играет биологический контроль. Использование естественных хищников, паразитов и патогенов может быть эффективным для борьбы с конкретными вредителями при минимальных дозах инсектицидов. [12]

Хищники-беспозвоночные, обитающие в водной среде, рассматриваются как инструменты биологической борьбы с кровососами. Известно, что хищники семейства Гладыши (*Notonectidae*) и отряда Стрекозы (*Odonata*) активно поедают личинок рода *Anopheles* и *Aedes*, снижая плотность популяции комаров. [17]

Потенциально возможный метод устранения молодых комаров – использование личинок из семейства *Toxorhynchites*, взрослые особи которых не потребляют кровь и не способствуют распространению инфекционных заболеваний. [12, 15]

Перспективную альтернативу химическим инсектицидам представляют ларвициды, основанные на микробиологических препаратах. Их компоненты – штаммы бактерий *Bacillus thuringiensis israelensis* (*Bti*) и *Bacillus sphaericus* (*Bs*). Они выделяют δ-эндотоксины, которые обладают высокой токсичностью для комаров. [15]

Исходя из представленного материала сделан вывод, что масштабность применения пестицидов сильно опережает изученность негативных последствий. Однако инсектицидные препараты все равно остаются важной частью комплексного подхода в борьбе с кровососущими насекомыми. [16, 19]

Использование пестицидов требует строгого контроля, соблюдения дозировок, мер предосторожности и схем ротации. Согласно проанализированным научным данным, перспективными и эффективными могут быть комбинированные, двухкомпонентные инсектоакарицидные средства. [8] Комбинирование способствует синергитическому эффекту, пролонгации защитного действия и снижению риска возникновения резистентности у кровососущих насекомых. Все это увеличивает общую эффективность препаратов, снижая объемы их применения. [6]

Необходимы дальнейшие исследования в области разработки альтернативных методов дезинсекции и стратегий борьбы с насекомыми-вредителями. Они помогут определить интегрированные подходы, учитывающие экологическую устойчивость, и будут способствовать улучшению продуктивности животноводческих предприятий.

Таким образом, применение инсектицидов для борьбы с кровососущими двукрылыми насекомыми требует переоценки и учета экологических аспектов. Внедрение альтернативных и комплексных методов борьбы – перспективное направление для обеспечения эффективной защиты животных и минимизации потерь в животноводстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анучина А.В. Токсическое действие пестицидов на организм человека и животных // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 1. С. 1. EDN: VVHVUE.
2. Бойко Т.В., Герунова Л.К., Герунов В.И. и др. Токсикологическая характеристика неоникотиноидов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (20). С. 49–54.
3. Бурова О.А., Блохин А.А., Захарова О.И. и др. Векторы трансмиссивных вирусных болезней животных // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 5 (66). С. 4–17.
4. Гавричкин А.А., Хлызова Т.А., Федорова О.А., Сивкова Е.И. Защита сельскохозяйственных животных от кровососущих двукрылых насекомых в Тюменской области (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 2 (6). С. 36–47. EDN: XIDEND.
5. Герунов Т.В., Редькин Ю.В., Герунова Л.К. Иммунотоксичность пестицидов: роль в патологии животных и человека // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131. № 5. С. 474–482.
6. Давлианидзе Т.А., Еремина О.Ю. Санитарно-эпидемиологическое значение и резистентность к инсектицидам комнатных мух *Musca domestica* (Аналитический обзор литературы 2000–2021 гг.) // Вестник защиты растений. 2021. Т. 104. № 2. С. 72–86
7. Крутько К.С., Кинарейкина А.Г., Серкова М.И. и др. Выявление в кровососущих двукрылых насекомых Тюменской области генетического материала возбудителей вирусных болезней животных // Российский паразитологический журнал. 2022; 16 (4): 389–402.
8. Курдиль Н.В., Ивашенко О.В. Особенности острых отравлений в условиях города: карбаматы, пиретроиды, неоникотиноиды // Медицина неотложных состояний. 2015. № 4. С. 51–57.
9. Лопатина Ю.В., Еремина О.Ю. Механизмы резистентности членистоногих к пестицидам: снижение проницаемости кутикулы и роль ABC-транспортеров // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2018. № 4. С. 42–52.

10. Медведев С.Г. Организация исследований насекомых комплекса гнуса (Diptera: Culicidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) Ю.С. Балашовым // Паразитология. 2013. Т. 47. № 3. С. 245–260.
11. Павлов С.Д., Федорова О.А., Сивкова Е.И. Защита сельскохозяйственных животных инсектицидной ловушкой для истребления слепней // Ветеринария и кормление. 2020. № 7. С. 49–52. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-7-12. EDN: QJATSR.
12. Серкова М.И. Альтернативные методы борьбы с кровососущими комарами (DIPTERA:CULICIDAE) (Обзор) // Вестник КрасГАУ. 2021. № 10 (175).
13. Силиванова Е.А., Левченко М.А., Шумилова П.А., Плашкина В.А. Активность фосфатаз и ацетилхолинэстеразы у комнатной мухи *Musca domestica* L. на разных стадиях жизненного цикла // Евразийский энтомологический журнал. 2020. Т. 19. № 3. С. 124–130.
14. Соколянская М.П. Формирование резистентности к пиретроидам у личинок комнатной мухи *Musca domestica* // Агрохимия. 2014. № 3. С. 54–59.
15. Eba K.D., Olkeba B.K. et al. Bio-Control of Anopheles Mosquito Larvae Using Invertebrate Predators to Support Human Health Programs in Ethiopia // International journal of environmental research and public health. 2021. Vol. 18. № 1810.
16. Ehler L.E. Integrated pest management (IPM): definition, historical development and implementation, and the other IPM // Pest management science. 2006. Т. 62. № 9. С. 787–789.
17. Jacob S., Thomas A., Manju E. Bio control efficiency of Odonata nymphs on *Aedes aegypti* larvae // Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 2017. Vol. 11. № 9. P. 1–4.
18. Piechowicz B., Grodzicki P. Circadian and Seasonal Changes in Honeybee (*Apis Mellifera*) Worker Susceptibility to Pyrethroids // Polish Journal of Environmental Studies. 2016. Vol. 25. P. 1177–1185.
19. Vreysen M.J.B. et al. Area-wide integrated pest management (AW-IPM): principles, practice and prospects // Area-wide control of insect pests: from research to field implementation. 2007. С. 3–33.
20. Zhu F., Gujar H., Gordon J. et al. Bed bugs evolved unique adaptive strategy to resist pyrethroid insecticides. 2013. 3 (1): 1456.
1. Anuchina A.V. Toksicheskoe dejstvie pesticidov na organizm cheloveka i zhitovnyh // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. 2019. № 1. S. 1. EDN: VVHVUE.
2. Bojko T.V., Gerunova L.K., Gerunov V.I. i dr. Toksikologicheskaya karakteristika neonikotinoïdov // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 4 (20). S. 49–54.
3. Burova O.A., Blohin A.A., Zaharova O.I. i dr. Vektory transmissivnyh virusnyh boleznij zhitovnyh // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2018. № 5 (66). S. 4–17.
4. Gavrichkin A.A., Hlyzova T.A., Fedorova O.A., Sivkova E.I. Zashchita sel'skohozyajstvennyh zhitovnyh ot krovososushchih dvukrylyh nasekomyh v Tyumenskoj oblasti (obzor) // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. 2016. № 2 (6). S. 36–47. EDN: XIDEND.
5. Gerunov T.V., Red'kin Yu.V., Gerunova L.K. Immunotoksichnost' pesticidov: rol' v patologii zhitovnyh i cheloveka // Uspekhi sovremennoj biologii. 2011. Т. 131. № 5. S. 474–482.
6. Davlianidze T.A., Eremina O.Yu. Sanitarno-epidemiologicheskoe znachenie i rezistentnost' k insekticidam komnatnyh muh *Musca domestica* (Analiticheskij obzor literatury 2000-2021 gg.) // Vestnik zashchity rastenij. 2021. Т. 104. № 2. S. 72–86
7. Krut'ko K.S., Kinarejkina A.G., Serkova M.I. i dr. Vyyavlenie v krovososushchih dvukrylyh nasekomyh Tyumenskoj oblasti geneticheskogo materiala vzbuditelej virusnyh boleznij zhitovnyh // Rossijskij parazitologicheskij zhurnal. 2022; 16 (4): 389–402.
8. Kurdil' N.V., Ivashchenko O.V. Osobennosti ostryh otravlenij v usloviyah goroda: karbamaty, piretroïdy, neonikotinoïdy // Medicina neotlozhnyh sostoyanij. 2015. № 4. S. 51–57.
9. Lopatina Y.V., Eremina O.Yu. Mekhanizmy rezistentnosti chlenistonogih k pesticidam: snizhenie pronicaemosti kutikuly i rol' AVS-transporterov // Medicinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni. 2018. № 4. S. 42–52.
10. Medvedev S.G. Organizaciya issledovanij nasekomyh kompleksa gnusa (Diptera: Culicidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) Yu.S. Balashovym // Parazitologiya. 2013. Т. 47. № 3. S. 245–260.
11. Pavlov S.D., Fedorova O.A., Sivkova E.I. Zashchita sel'skohozyajstvennyh zhitovnyh insekticidnoj lovushkoj dlya istrebleniya slepnej // Veterinariya i kormlenie. 2020. № 7. S. 49–52. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-7-12. EDN: QJATSR.
12. Serkova M.I. Al'ternativnye metody bor'by s krovososushchimi komarami (DIPTERA: CULICIDAE) (Obzor) // Vestnik KrasGAU. 2021. № 10 (175).
13. Silivanova E.A., Levchenko M.A., Shumilova P.A., Plashkina V.A. Aktivnost' fosfataz i acetilholinesterazy u komnatnoj muhi *Musca domestica* L. na raznyh stadiyah zhiznennogo cikla // Evrazijskij entomologicheskij zhurnal. 2020. Т. 19. № 3. S. 124–130.
14. Sokolyanskaya M.P. Formirovanie rezistentnosti k piretroidam u lichinok komnatnoj muhi *Musca domestica* // Agrohimiya. 2014. № 3. S. 54–59.
15. Eba K.D., Olkeba B.K. et al. Bio-Control of Anopheles Mosquito Larvae Using Invertebrate Predators to Support Human Health Programs in Ethiopia // International journal of environmental research and public health. 2021. Vol. 18. № 1810.
16. Ehler L.E. Integrated pest management (IPM): definition, historical development and implementation, and the other IPM // Pest management science. 2006. Т. 62. № 9. S. 787–789.
17. Jacob S., Thomas A., Manju E. Bio control efficiency of Odonata nymphs on *Aedes aegypti* larvae // Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 2017. Vol. 11. № 9. P. 1–4.
18. Piechowicz B., Grodzicki P. Circadian and Seasonal Changes in Honeybee (*Apis Mellifera*) Worker Susceptibility to Pyrethroids // Polish Journal of Environmental Studies. 2016. Vol. 25. P. 1177–1185.
19. Vreysen M.J.B. et al. Area-wide integrated pest management (AW-IPM): principles, practice and prospects // Area-wide control of insect pests: from research to field implementation. 2007. S. 3–33.
20. Zhu F., Gujar H., Gordon J. et al. Bed bugs evolved unique adaptive strategy to resist pyrethroid insecticides. 2013. 3 (1): 1456.

REFERENCES

Поступила в редакцию 14.09.2023
Принята к публикации 28.09.2023

АНАЛИЗ РАЗНООБРАЗИЯ И СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ФАУНЫ КРОВОСОСУЩИХ КОМАРОВ (*DIPTERA, CULICIDAE*) ТАВДИНСКОГО РАЙОНА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ*

Маргарита Игоревна Бурашова, младший научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия
E-mail: rita.serkowa@yandex.ru

Аннотация. В статье приводятся данные о видовом разнообразии и сезонной динамике кровососущих комаров (*Diptera, Culicidae*) – разносчиков инфекционных и инвазионных заболеваний. В результате исследований за несколько сезонов с 2020 по 2022 год было установлено, что на территории Тавдинского района Свердловской области обитает 11 видов комаров, принадлежащих к родам *Anopheles*, *Aedes* и *Culiseta*. При сравнении численности кулицид за все сезоны выявлена корреляция между гидрологическими, погодными условиями и интенсивностью лета насекомых. Благоприятным для развития и лета комаров был сезон 2022 года, в котором обильные осадки способствовали увеличению площади водоемов, необходимых для развития насекомых. Наименьшую численность наблюдали в 2021 году. Низкое количество осадков, сильные морозы в зимнее время, холодная весна и засушливое, жаркое лето способствовали сокращению числа комаров. Результаты исследования позволяют оценить экологию комаров в регионе, их активность в разные сезоны и потенциальную роль в передаче инфекций. Работа имеет важное значение для разработки эффективных стратегий контроля комаров и предотвращения заболеваний, связанных с их укусами.

Ключевые слова: кровососущие комары, *Culicidae*, трансмиссивные заболевания, Тавдинский район, видовое разнообразие, сезонная численность

DIVERSITY AND SEASONAL DYNAMICS ANALYSIS OF THE BLOOD-SUCKING MOSQUITOES FAUNA (*DIPTERA, CULICIDAE*) OF THE TAVDINSKY DISTRICT OF THE SVERDLOVSK REGION

M.I. Burashova, Junior Researcher

All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Branch of Federal State Institution Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the RAS, Tyumen, Russia
E-mail: rita.serkowa@yandex.ru

Abstract. This article provides data on the species diversity and seasonal dynamics of blood-sucking mosquitoes (*Diptera, Culicidae*), which are important vectors of various infectious and invasive diseases. As a result of the research conducted during several seasons from 2020 to 2022, it was revealed that 11 species of mosquitoes belonging to the genera *Anopheles*, *Aedes* and *Culiseta* live on the territory of the Tavdinsky district of the Sverdlovsk region. When comparing the number of culicids for all seasons, a correlation was revealed between hydrological, weather conditions and the intensity of insect summer. The optimal level of precipitation during the year provides enough breeding sites for mosquito larvae. The 2022 season was favorable for the development and summer of mosquitoes, in which heavy precipitation contributed to a vast area of reservoirs necessary for the development of insects. The smallest number was observed in 2021. As a result of low rainfall, severe frosts in winter, cold spring and arid, hot summer, there was a reduction in the number of mosquitoes. The results of the study allow a deeper understanding of the ecology of mosquitoes in this region, their activity in different seasons and their potential role in the transmission of infections. This work is important for the development of effective strategies for controlling mosquitoes and preventing diseases associated with their bites.

Keywords: blood-sucking mosquitoes, *Culicidae*, vector-borne diseases, Tavdinsky district, species diversity, seasonal abundance

Кровососущие комары (*Diptera, Culicidae*) – одни из самых распространенных и адаптивных насекомых в природе, оказывают существенное влияние на экосистемы и эпидемиологическое благополучие населения. [3] Большинство видов комаров переносят

трансмиссивные заболевания (дирофиляриоз, сетариоз, лихорадка Западного Нила, денге, малярия, сетариоз и другие). [7] Ареал возбудителей этих инфекций расширяется на северные и северо-западные регионы России. [1, 6] Изучение фауны

* Работа осуществлена в рамках темы Государственного задания Минобрнауки России № 121042000066-6 «Изучение и анализ эпизоотического состояния по болезням инвазионной этиологии сельскохозяйственных и непродуктивных животных, пчел и птиц, изменения видового состава и биоэкологических закономерностей цикла развития паразитов в условиях смещения границ их ареалов» / The work was carried out within the framework of the topic of the State task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 121042000066-6 “Study and analysis of the epizootic state for diseases of invasive etiology of agricultural and unproductive animals, bees and birds, changes in species composition and bioecological patterns of the parasite development cycle in conditions of shifting the boundaries of their habitats”.

и экологии кровососущих комаров – важная стратегия для предотвращения распространений заболеваний.

Видовое разнообразие и динамика популяции зависят от гидрологических, погодных условий сезона и особенностей ландшафта территории. [2] Тавдинский район Свердловской области расположен на юге Западной Сибири в подзоне южной тайги. Для данной местности характерны обширные заболоченные участки и густая лесная растительность, что создает благоприятные условия для интенсивного размножения и распространения кровососущих комаров. Необходимы исследования, которые помогут лучше понять экологические аспекты комаров в данном регионе и послужат полезной информацией для разработки стратегий борьбы с насекомыми.

Цель работы – изучение фауны кровососущих комаров и их сезонной динамики на территории Тавдинского района Свердловской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили с 2020 по 2022 год в поселке Азанка Тавдинского района Свердловской области. Имаго кровососущих комаров собирали энтомологическим сачком со съемными мешочками. [8] Видовой состав отловленных насекомых определяли по таблицам Л.П. Кухарчук. [5]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Годы исследований отличались неоднородностью метеорологических условий. 2020 год характеризовался умеренной температурой и оптимальным количеством осадков. В 2021 году наблюдали низкое количество осадков в течение года и жаркую погоду летом. Засушливым был период с конца мая по начало июля. 2022 год сопровождался обильными осадками в виде снега зимой–ранней весной и дождей летом, а также умеренной температурой на протяжении сезона.

При сравнении численности кровососущих комаров за период исследования была выявлена корреляция между климатическими условиями и интенсивностью лёта насекомых. Наиболее благоприятным для развития и лёта комаров был сезон 2022 года, в котором обильные осадки способствовали увеличению площади водоемов, необходимых для развития их личинок.

Наименьшая численность зафиксирована в 2021 году. В результате низкого количества осадков, сильных морозов в зимнее время, поздней весны и засушливого, жаркого лета произошло сокращение популяции комаров.

В результате исследования было выявлено, что фауна комаров Тавдинского района Свердловской области представлена видами: *Anopheles maculipennis*, *Culiseta bergrothi*, *Cs. alaskaensis*, *Ochlerotatus intrudens*, *Och. pullatus*, *Och. communis*, *Och. cyprius*, *Och. diantaeus*, *Och. punctor*, *Och. hexodontus*, *Och. flavescens*. Общий период лёта – около 140 дн.

Вылет комаров начинался в основном в конце апреля – начале мая. Первыми появились единич-

ные особи, относящихся к родам *Anopheles* и *Culiseta*. Под конец весны начали лёта имаго комаров рода *Aedes Ochlerotatus* (*Och. intrudens*, *Och. pullatus*, *Och. Communis*).

Пик численности насекомых – с III декады июня по III декаду июля. Наиболее массовые виды – *Och. communis*, *Och. punctor* и *Och. Pullatus*, самые редкие – *Och. flavescens* и *Och. Hexodontus*. Вылет последних начинался в начале июня и заканчивался в I декаде июля. Представителей вида *Och. flavescens* не было зафиксировано за период 2021–2022 годов. *Och. hexodontus* не встречался в 2022 году. Единственный вид, зимующий на стадии имаго в подвалах и погребах жилых помещений, – *An. maculipennis* наблюдали на протяжении всего года.

Следует отметить, что отловленные *An. maculipennis*, *Och. communis*, *Och. intrudens* и *Och. punctor* участвуют в циркуляции возбудителя туляремии, дифтерийного, лихорадки Западного Нила (ЛЗН), эндемичные для территории Западной Сибири, к которой относится исследуемый район. [4, 6, 9] Обнаруженные комары рода *Culiseta* также потенциальные переносчики вируса ЛЗН. [10]

Выводы. В результате проведенных исследований с 2020 по 2022 год было выявлено, что на территории Тавдинского района Свердловской области обитает 11 видов кровососущих комаров, принадлежащих к родам *Anopheles*, *Aedes* и *Culiseta*, численность которых зависела от климатических условий (количество осадков, среднесуточная температура за сезон). Часть видов переносят некоторые трансмиссивные заболевания, опасные для человека и животных, поэтому данная тема требует дальнейшего изучения. Полученные данные будут полезны для разработки эффективных стратегий контроля комаров и предотвращения распространения инфекций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баранова И.С., Липухин Д.Н. Влияние климатических изменений на географию некоторых кровососущих переносчиков инфекций // В сб.: Климатические изменения и сезонная динамика ландшафтов. Мат. Всерос. науч.-практ. конф.. Екатеринбург. 2021. С. 236–242. DOI: 10.26170/KFG-2021-34
2. Будаева И.А. Экологические закономерности массового развития и медико-эпидемиологическое значение кровососущих двукрылых насекомых в условиях Среднерусской лесостепи // Актуальные проблемы биологической и химической экологии. 2016. С. 300–304.
3. Виноградова Е.Б. Экологические предпосылки расселения кровососущих комаров // Энтомологическое обозрение. 2011. Т. 90. № 4. С. 791–797. ISSN: 0367-1445
4. Кудрявцева Т.Ю., Мокриевич А.Н. Участие комаров в циркуляции возбудителя туляремии в природных очагах // ФБУН «ГНЦПМБ» Роспотребнадзора. 2020. С. 34–42. DOI: 10.33092/0025-8326mp2020.1.34-25
5. Кухарчук Л.П. Экология кровососущих комаров (Diptera, Culicidae) Сибири. Систематика. Новосибирск: Наука, 1980.
6. Полторацкая Н.В., Бурлак В.А., Панкина Т.М. и др. О зараженности кровососущих комаров (Diptera; Culicidae) личинками дифтерий (Spiruridae, Onchocercidae) в городе Томске // Медпаразитология, МПибП. 2018. № 3. С. 10–15. DOI: 10.33092/mp2018.3.10-15

7. Рославцева С.А. Роль кровососущих комаров в передаче возбудителей инфекционных заболеваний человека // Пест-Менеджмент. 2009. № 1-2. С. 42–48. ISSN: 2076-8462.
8. Халин А.В., Айбулатов С.В., Пржиборо А.А. Методы сбора двукрылых насекомых комплекса гнуса (Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) // Паразитология. 2021. Т. 55. № 2. С. 134–173.
9. Якименко В.В., Рудакова С.А., Василенко А.Г. Лихорадка Западного Нила в Западной Сибири: информационное письмо. 2020. 14 с.
10. Ясюкевич В.В., Титкина С.Н., Попов И.О. и др. Климатозависимые заболевания и членистоногие переносчики: возможное влияние наблюдаемого на территории России изменения климата // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Т. 25. С. 314–360.
3. Vinogradova E.B. Ekologicheskie predposylki rasseleniya krovososushchih komarov // Entomologicheskoe obozrenie. 2011. Т. 90. № 4. С. 791–797. ISSN: 0367-1445
4. Kudryavceva T.Yu., Mokrievich A.N. Uchastie komarov v cirkulyacii vozбудitelya tulyaremii v prirodnyh ochagah // FBUN «GNCРMB» Rospotrebnadzora. 2020. S. 34–42. DOI: 10.33092/0025-8326mp2020.1.34-25
5. Kuharchuk L.P. Ekologiya krovososushchih komarov (Diptera, Culicidae) Sibiri. Sistematika. Novosibirsk: Nauka, 1980.
6. Poltorackaya N.V., Burlak V.A., Pankina T.M. i dr. O zarazhennosti krovososushchih komarov (Diptera; Culicidae) lichinkami dirofilyarij (Spiruridae, Onchocercidae) v gorode Tomske // Medparazitologiya, MPiPB. 2018. № 3. С. 10–15. DOI: 10.33092/mp2018.3.10-15
7. Roslavceva S.A. Rol' krovososushchih komarov v peredache возбудителей инфекционных заболеваний человека // Pest-Menedzhment. 2009. № 1-2. S. 42–48. ISSN: 2076-8462.
8. Halin A.V., Ajbulatov S.V., Przhiboro A.A. Metody sbora dvukrylyh nasekomyh kompleksa gnusa (Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) // Parazitologiya. 2021. Т. 55. № 2. S. 134–173.
9. Yakimenko V.V., Rudakova S.A., Vasilenko A.G. Lihoradka Zapadnogo Nila v Zapadnoj Sibiri: informacionnoe pis'mo. 2020. 14 s.
10. Yasyukevich V.V., Titkina S.N., Popov I.O. i dr. Klimatozavisimye zabolevaniya i chlenistonogie perenoschiki: vozmozhnoe vliyanie nablyudaemogo na territorii Rossii izmeneniya klimata // Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. 2013. Т. 25. S. 314–360.

REFERENCES

*Поступила в редакцию 11.09.2023
Принята к публикации 25.09.2023*

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ СОИ КОМБАЙНОМ ДВУХФАЗНОГО ОБМОЛОТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЕМЯН В УСЛОВИЯХ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Ирина Михайловна Присяжная, кандидат технических наук, доцент
Серафима Павловна Присяжная, доктор технических наук, профессор

ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», г. Благовещенск, Амурская обл., Россия
E-mail: irenpris@mail.ru

Аннотация. Предложена новая технология получения качественных кондиционных семян сои отдельной фракцией в комбайнах двухфазного обмолота в процессе уборки урожая. Эта фракция без последующей послеуборочной обработки может быть использована на посеве. Разработаны технологические и конструкторские решения, позволяющие разделять обмолоченное зерно по качеству на две фракции (семенная, товарная). При двухфазном обмолоте первым молотильным барабаном на щадящем режиме вымолачиваются наиболее вызревшие биологически полноценные семена сои, отдельно сортируются на первой половине решетчатого стана комбайна и отдельно собираются в первом зерновом шнеке, далее в двухсекционном бункере. Разделяя скатную доску на две части и предотвращая смешивание просеянного зерна, вымолоченного первым и домолоченного вторым молотильными барабанами на жестких режимах, отдельно поступают в бункер комбайна свыше 60% качественных семян первой фракции, выделяемых при обмолоте и сепарации от первого молотильного барабана. Семенная фракция с высокой массой 1000 семян обладает чистотой на уровне требований первого класса с очень хорошими посевными качествами, низкой величиной дробления и микроповреждения, повышенной продуктивностью. Товарная фракция, получаемая от второго молотильного барабана, соломотряса и домолочивающего устройства предотвращает потери зерна.
Ключевые слова: соя, комбайн, обмолот, уборка, обработка, дробление, кондиционные семена, всхожесть, урожайность

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR HARVESTING SOYBEANS USING A TWO-PHASE THRESHING COMBINE TO OBTAIN SEEDS IN THE CONDITIONS OF THE AMUR REGION

I.M. Prisyazhnaya, PhD in Engineering Sciences, Associate Professor
S.P. Prisyazhnaya, Grand PhD in Engineering Sciences, Professor

FSBSI FRC «All-Russian Soybean Research Institute», Blagoveshchensk, Amur region, Russia
E-mail: irenpris@mail.ru

Abstract. The existing technology for producing soybean seeds does not provide them with high quality indicators and, accordingly, the full realization of the potential possibilities of soybean varieties in terms of yield. The invention proposes a new technology for obtaining high-quality conditioned seeds, with a separate fraction in two-phase threshing combines already in the process of harvesting, which can be used for sowing without subsequent post-harvest part-time processing. Such quite important tasks, implemented simultaneously in one technological scheme of soybean harvesting, have not been implemented today in any Russian or international engineering company. To obtain high-quality soybean seeds in a two-phase threshing combine during harvesting, technological and design solutions have been developed that allow dividing threshed grain into two fractions - seed and commodity. In case of two-phase threshing with the first threshing drum operating at the lower level of power action, the most mature biologically full-fledged soybean seeds are soaked at the softer modes, separately sorted at the first half of the combine sieve mill and separately collected in the first grain screw and then in the two-section hopper of the combine. Separating the rolled board into two parts and preventing mixing of the sieved grain, which is soaked with the first and browned with the second threshing drums in rigid modes, more than 60% of the quality soybean seeds of the first fraction extracted during threshing and separation from the first threshing drum are separately obtained in a separate hopper of the combine. The seed fraction with a high mass of 1000 seeds has purity at the level of the requirements of the first class with high inoculation properties, a lower amount of crushing and micro damage and increased productivity. The commodity fraction prevents grain losses from undergrowth in the sex and from non-waste in the straw.

Keywords: soybeans, combine harvester, threshing, harvesting, part-time work, crushing, conditioned seeds, germination, yield

Интенсификация сельскохозяйственного производства Амурской области на основе инновационных технологий возделывания сои предусматривает использование комплекса мероприятий, приводящих к получению высоких урожаев (2022 год – 1 млн 600 тыс. т).

Уборку сои проводят в сжатые сроки при полном созревании семян и оптимальной влажности 14...15%. Из-за погодных условий, высокой нагрузки на комбайн и других организационных мероприя-

тий сроки не соблюдаются и увеличиваются. Тогда уборка и обработка сои производится при низкой температуре воздуха и влажности зерна, вызывающей растрескивание бобов, что приводит к увеличению потерь урожая, снижению качества вымолочиваемого зерна из-за повышенного дробления и микроповреждения. [7, 8, 10]

В хозяйствах Амурской области используют комбайны отечественного и зарубежного производства. Нагрузка на один комбайн только при уборке

сои составляет более 400 га. По данным Министерства сельского хозяйства Амурской области общее количество уборочных машин по всем округам и районам – 2100 ед. Одни из самых устаревших комбайнов с длительным сроком эксплуатации – СКД-63, Енисей-1200, Енисей-950, выпускавшиеся Красноярским комбайновым заводом, составляют в хозяйствах области более 20%. Комбайновый парк обновляется техникой отечественного производства «Ростсельмаш», занимающей более 45% общего количества. Наиболее активно приобретаются РСМ-152 «ACROS-595 PLUS», РСМ-142 «ACROS-585», «ACROS-580», «ACROS-530», РСМ-101 «ВЕКТОР410», РСМ-181 «TORUM-750». Эксплуатируются комбайны: белорусского производства «Гомсельмаш» – КЗС (1218-29, 812-21, 812-22); американской машиностроительной компании John Deere (7710, 3650, 3518 CTS, 3316, 1076, 1048, S660, W650, W540, W330, 4LZ-7(W210), 4LZ-(W80)); немецкой машиностроительной компании CLAAS (TUCANO 580, 570, 480, 470, 450, 430, 340; DOMINANOR MEGA 350; MEDION 310); итальянского производства New Holland (TC5080, TC56 PE). Участвует уборочная техника Шимановского машиностроительного завода: модели первой линии – КЗС (1218-40, 812-04, 812С «АМУР-ПАЛЕССЕ», КЗС 5А «АМУР-ПАЛЕССЕ GS5А»); второй линии – КЗС-6 «Цзялянь-Шимановск-Амурский-6». [3]

Хозяйства приобретают уборочную технику без тщательного предварительного анализа, при практически полном отсутствии сравнительных показателей по качеству работы. Большой недостаток комбайнов, используемых при уборке сои, – высокая степень механического повреждения зерна. Установление жестких режимов и несоответствие прочности сои силовым воздействиям на зерно при обмолоте и послеуборочной обработке приводит к дроблению. [4, 11–13]

В результате многолетних научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в двухбарабанную схему молотилки комбайна внесены улучшения, позволившие повысить пропускную способность, снизить потери и повреждение зерна.

Установлено, что наиболее интенсивно семена сои обмолачиваются и сепарируются в начале молотильно-сепарирующего устройства комбайна двухфазного обмолота, до 70% зерна. Если выделить, очистить на воздушно-решетной очистке комбайна и собрать эту часть зерна в отдельном бункере, то можно получить качественные семена и при соответствующем хранении без послеуборочной обработки иметь семена для посева. [1, 2, 5, 6, 9]

Разновременное цветение и плодообразование по высоте растения сои (до 20 дн.) создает условия разнокачественности семян. Семена, формирование которых начинается раньше, обладают повышенной энергией роста, всхожестью, продуктивностью и более высокой абсолютной массой. Выделить эту фракцию из зерна невозможно в процессе послеуборочной обработки.

Наиболее объективный показатель оценки и отбора биологически ценного посевного материала – форма, включающая размеры по длине, ширине и толщине, корреляционно связанная с массой се-

мян. К элементам отбора семян можно отнести зрелость (вызреваемость). Вызревшее зерно обмолачивают в комбайнах первым молотильным барабаном. Выделение этой фракции, очистка и сортирование обмолоченных из наиболее вызревших бобов на растении сои при совместном действии решет и воздушного потока непосредственно при уборке приведет к отбору биологически полноценных семян.

Воздушно-решетная очистка комбайна двухфазного обмолота разделяет мелкий зерновой ворох, просепарированный через подбарабанье после обмолота первым барабаном и домолота вторым. Соевый ворох, поступающий на очистку, содержит многокомпонентную смесь (зерно, измельченные и перебитые части соломы, створки бобов, измельченные листья и боковые ветки стеблей, семена сорняков и неорганический сор).

Система очистки (стрясная доска), обеспечивает перемещение мелкого зернового вороха после обмолота и сепарации на решетный стан, который содержит два регулируемых решета (верхнее с удлинителем и нижнее), вентилятор, два шнека для перемещения очищенного зерна в бункер и бобов на домолот.

Разделение мелкого вороха, обмолоченного первым и вторым молотильными барабанами, раздельные очистка и сбор позволят получать биологически полноценные качественные семена непосредственно при уборке и использовать их на посеве без послеуборочной обработки. Установка дополнительного пробивного решета с продолговатыми отверстиями над наклонным днищем комбайна позволяет выделять мелкодробленое и дробленое вдоль семядоли зерно сои, повысить качество семян в переоборудованном комбайне двухфазного обмолота.

Цель работы – разработка технологии уборки сои на семена комбайном двухфазного обмолота, при создании адаптирующих устройств с минимальным воздействием первым молотильным барабаном, выделением и очисткой этой фракции на первой половине решетного стана комбайна, сборе ее в двухсекционном бункере.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на опытном поле ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои.

Для определения потерь от повреждения зерна сои при уборке и обоснования более эффективно-го способа получения качественных семян в семеноводческих хозяйствах отбирали общие образцы бункерного и подготовленного к посеву семенного зерна массой до 2 кг. Затем из них выделяли четыре навески по 100 г, которые разбирали на фракции, каждую взвешивали и анализировали по чистоте, величине и типам механического и биологического повреждения. В лабораторных и полевых условиях проводили опыты, цель которых была получить данные по влиянию вида повреждения на посевные и урожайные свойства семян. Содержание дробленых семян определяли по ГОСТ Р 52325-2005 «Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества. Общие технические условия», с микроповреждениями – по методике И.М. При-

сяжной и др. [7] Полевые исследования проводили по Б.А. Доспехову (2012). Скорость воздушного потока в разных точках решета по его длине исследовали на лабораторной установке, изготовленной из натуральной системы очистки списанного комбайна, в просвете рядов лепестков и у основания лепестка с помощью термоанемометра ДТ-8880.

Произведено переоборудование комбайна Енисей-1200 для создания соответствующего режима работы первого молотильного барабана раздельной очистки мелкого вороха обмолоченного первым и вторым барабанами и отдельным сбором семян в двухсекционном бункере комбайна.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В семеноводческих хозяйствах производство высококачественных семян сои (элита) и репродукционных, для увеличения товарного объема востребованного зерна, ведется в условиях эксплуатации серийных комбайнов. Комбайн с двухбарабанным молотильным устройством, неодинаковыми линейными скоростями бичей первого и второго барабанов значительно снижает механические повреждения семян при обмолоте (рис. 1).

В комбайне двухфазного обмолота при уменьшении окружной скорости воздействия бичей первого барабана – до 8,1 м/с, второго – 16,1 м/с, или при получении частоты вращения первого барабана 280 и второго 560 мин⁻¹, обеспечивается качественный обмолот соевых бобов, с минимальным дроблением.

Режим работы первого молотильного барабана устанавливается посредством перестановки большего шкива с вала главного контрпривода на вал первого молотильного барабана. Используют два сменных шкива, меньший (200 мм) – 280 мин⁻¹, больший (300 мм) – 380 мин⁻¹ при номинальных оборотах двигателя. Режим второго молотильного барабана (540...660) настраивается с помощью перестановки регулируемых вариатором серийных шкивов на валах главного контрпривода и барабана.

Способ получения качественной семенной фракции в комбайне двухфазного обмолота связан с усовершенствованием конструкции МСУ. Создание шадящего режима обмолота первого барабана с окружной скоростью бичей до 8,1 м/с (меньшее

силовое воздействие), позволяет снизить дробление и микроповреждение зерна и получить семена с высокой всхожестью.

В комбайне двухфазного обмолота для выхода семенной фракции обоснованы и определены параметры транспортной доски для отведения и подачи соевого вороха после второго молотильного барабана на вторую половину решетчатого стана комбайна (рис. 2). Длина дополнительной транспортной (стрясная) доски – 1000 мм, она расположена выше основного грохота на 140 мм, жестко с ним закреплена, регулируется и выступает дальше его на 300...305 мм.

Для размещения консольной части дополнительной транспортной доски по высоте молотилки передняя коленчатая ось соломотряса смещена по вертикали на 135 мм путем переустановки развернутых на 180° корпусов подшипниковых опор оси опорного уголка корпуса молотилки над ним по тем же отверстиям. Для сохранения режима работы клавишей соломотряса доработана их конструкция, передняя опора каждой из четырех клавиш смещена вверх на 140 мм.

Доработка комбайна позволяет: выделять наиболее вызревшую фракцию зерна сои, обмолоченную первым молотильным барабаном при сниженной частоте вращения до 280...380 мин⁻¹; обеспечивать последующую сепарацию мелкого вороха на первой половине решетчатого стана комбайна; предотвращать смешивание просепарированного зерна, вымолоченного первым и домолоченного вторым молотильными барабанами на жестких режимах работы (патенты РФ № 2679508, № 2765580, 216094).

Мелкий ворох, попадающий на воздушно-решетную очистку комбайна, подвергается воздействию воздушного потока. Это многокомпонентная смесь, состоящая из частиц (зерно, измельченная солома, соевые бобы, семена и частицы сорных растений, мертвые примеси), характеризующихся различной скоростью витания: полноценные – 12,0...15,0 м/с; семена с отбитой частью семядоли, сморщенные, невыполненные, морозобойные, выеденные вредителями – 8,0...13,0 м/с; дробленые – 6,0...9,0; необмолоченные – 6...7; основные измельченные стебли сои – 1,8...3,1 м/с.

Раздельная подача обмолоченного вороха от первого и второго молотильных барабанов на первую и вторую часть решетчатого стана комбайна снижает нагрузку на первую и вторую половину очистки комбайна, увеличивает интенсивность выделения семян сои из мелкого вороха. На начало решета поступает мелкий соевозерновой ворох, компоненты которого при движении перераспределились на стрясной доске. В нижнем слое вороха большую часть составляют семена сои, а соломистые примеси, как наиболее легкий компонент, располагаются в верхней части. Для такого обогащения нижнего слоя зерну не требуется дополнительного времени, чтобы пройти сквозь соломистую решетку, оно быстрее проходит сквозь жалюзи решета, с увеличенной длиной лепестков. При дальнейшем движении вороха по решету, происходит обеднение его нижних слоев, и зерно сои, находящееся в верхних слоях, должно, прежде всего, пройти сквозь соломистую решетку, а затем жалюзи решета. Чем ин-

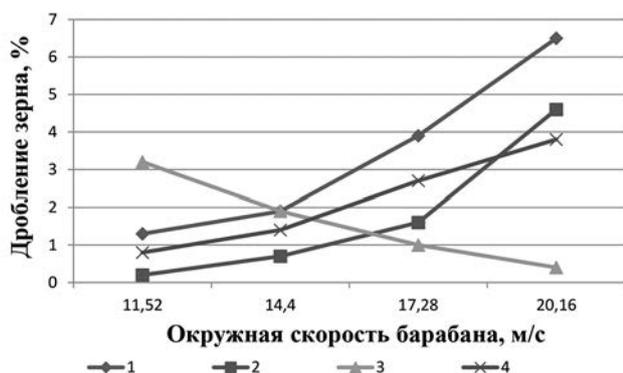


Рис. 1. Качество обмолота сои в зависимости от изменения окружной скорости барабана: 1 – дробление зерна при однофазном обмолоте; 2 – дробление зерна при двухфазном обмолоте; 3 – недомолот; 4 – невытряс.

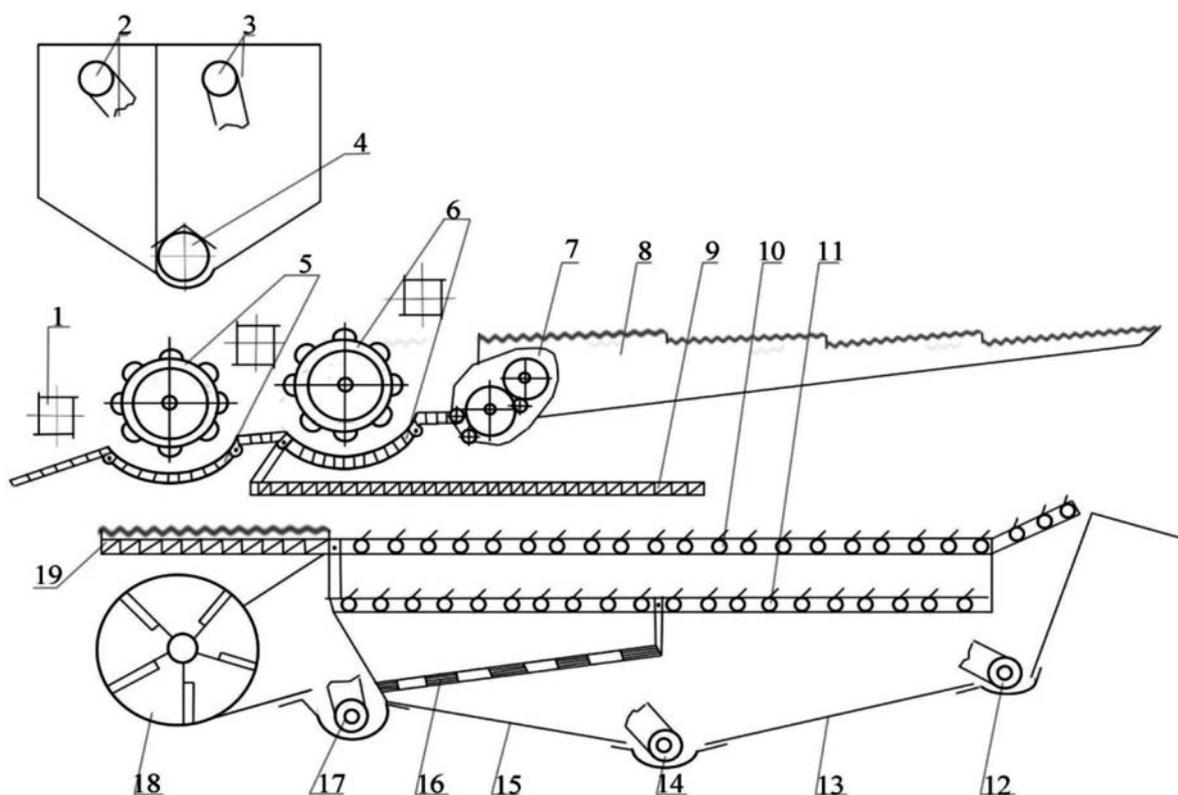


Рис. 2. Устройство комбайна для получения семенной фракции: 1 – приемный битер; 2 – элеватор товарной фракции зерна; 3 – элеватор семенной фракции зерна; 4 – выгрузный шнек двухсекционного бункера; 5 – первый молотильный барабан с подбарабаньем; 6 – второй молотильный барабан с подбарабаньем; 7 – домолачивающее устройство; 8 – соломотряс; 9 – вторая стрясная доска; 10 – первое жалюзийное решето с удлинителем; 11 – второе жалюзийное решето; 12 – колосовой шнек; 13 – вторая скатная доска; 14 – второй зерновой шнек; 15 – первая скатная доска; 16 – пробивное решето; 17 – первый зерновой шнек; 18 – вентилятор; 19 – основной грохот.

тенсивней будет взрыхляться весь солоmistый слой вороха, тем зерно быстрее пройдет сквозь решето. При его движении по решетке, полнота выделения семян возрастает более интенсивно при укрупненном состоянии удерживать и перемещать крупные части соевых стеблей и необмолоченных бобов.

Замена верхнего стандартного решета очистки комбайна (лепестки жалюзи – 22 мм) на решето с лепестками жалюзи 70 мм и увеличение зазора между ними до 9...14 мм, при увеличении угла раствора планок жалюзи от 15 до 45°, значительно

повышает скорость воздушного потока и его вертикальную составляющую. Мелкий солоmistый ворох, пребывая во взвешенном состоянии, активно разрыхляется и выдувается, что обеспечивает качественную очистку первой фракции на первой половине решета комбайна.

Исследования, проведенные на лабораторной установке, с частотой вращения вала вентилятора 750 мин⁻¹ показали, что при угле раствора планок жалюзи от 15 до 45° скорость воздушного потока по длине верхнего решета на первой половине возрастает с 3,11...4,54, до 7,61...8,03 м/с, а затем снижается (рис. 3).

При такой развивающейся скорости воздушного потока на первой половине решета с удлиненными до 70 мм лепестками жалюзи зерно сои в мелком соевом ворохе интенсивно сепарируется от сорной примеси и на 99,8% выделяется чистое зерно первой фракции. Крупные части стеблей перемещаются по решетке на вторую его часть. Измельченные створки бобов и мелкие примеси уносятся воздушным потоком, остальная часть вороха (полова) по решетке двигается к выходу.

На дополнительную стрясную доску, подающую домолоченный ворох от второго молотильного барабана на вторую половину решета, поступает мелкий соевый ворох тремя потоками: первый отведенный дополнительной транспортной доской от второго молотильного барабана, второй – из соломотряса, третий – домолачивающего устройства. Снижение

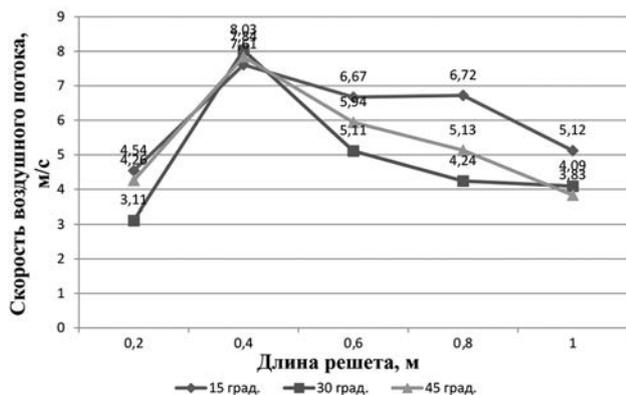


Рис. 3. Изменение скорости воздушного потока по длине верхнего экспериментального решета в зависимости от угла раствора планок жалюзи.

скорости воздушного потока на второй половине решета до 5,0...6,7 м/с не обеспечивает достижение соответствующей чистоты второй фракции. Во вторую фракцию поступает товарное зерно с повышенным содержанием дробленого зерна и сорной примеси, требующее послеуборочной подработки.

Выделение соевых половинок (дробленое зерно вдоль семядоли) достигается тем, что в известной конструкции системы очистки на первой половине решетчатого стана вводится третье пробивное решето с продолговатыми отверстиями. Зерно сои, очищаясь на третьем решете, сходом скатывается по нему и поступает в первый зерновой шнек и элеватором подается в раздельный бункер первой семенной фракции, составляющей более 60% общего урожая. Половинки зерна и мелкодробленые части сои проходят сквозь решето и по первой скатной доске поступают во второй зерновой шнек второй фракции семян (до 40% урожая), которые подлежат подработке. Выделенные соевые половинки продаются на переработку с товарным зерном. Из-за предлагаемого совершенствования системы очистки комбайна для сбора семенного зерна повышается его всхожесть и урожайность сои, достигается качество семян первой фракции на уровне первого класса посевного стандарта и соответственно при посеве сокращаются косвенные потери семян.

В среднем за два года исследований при уборке сои сорта *Сентябринка* в ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои модернизированным комбайном Енисей-1200 раздельно получали качественные семена первой фракции и товарное зерно второй. За контроль (см. таблицу) взяты семена сои при традиционной технологии уборки урожая комбайном «Вектор-410» и послеуборочной подработки на зерноочистительной машине «Петкус-Гигант» К-53. Выделяя мелкий соевый ворох от первого молотильного барабана и очищая от сорной примеси на первой половине решета, собирали чистую более качественную первую семенную фракцию.

Разделяя скатную доску на две части и предотвращая смешивание просепарированного зерна, вымолоченного первым и домолоченного вторым молотильным барабаном на более жестких режимах, раздельно по фракциям получали непосредственно в отдельном бункере комбайна свыше 60% семян первой фракции от общего урожая сои.

Наиболее вызревшие биологически полноценные семена сои первой фракции обладают повышенной массой 1000 семян, продуктивностью,

высокими посевными качествами, меньшей величиной дробления и микроповреждения. Использование первой вымолочиваемой и очищенной фракции зерна на семена, получаемой в отдельном бункере модернизированного комбайна, исключает дополнительную семенную подработку, значительно снижает повреждение семян и на 10% увеличивает биологическую урожайность. Разработанная технология по сравнению с традиционной сокращает потери качественного зерна сои от дробления, применяя их на посеве снижаются косвенные потери. Создание на базе выпускающихся комбайнов Агромаш-3000, Агромаш-4000 отдельной серии комбайнов для уборки семенных посевов сои по разработанной технологии сократит потери от дробления, уменьшит энергозатраты на послеуборочную обработку.

Выводы. Главные показатели снижения качества семян сои – повышенное содержание в них дробленых (до 6%), морозобойных и выеденных вредителями (2...3%), травмированных (3...4%).

Очистка соевого вороха на первой половине решета комбайна с дополнительным пробивным решето, сбор первым зерновым шнеком со щеточным обрамлением кромки винта качественной семенной фракции и подача элеватором в отдельный бункер комбайна обеспечивает чистоту (99,7%), минимальное повреждение (2,3%) и получение биологически полноценных и качественных семян.

Семенная фракция, выделяемая от первого молотильного барабана, составляет более 60% общего урожая, отдельно собирается в двухсекционном бункере комбайна и обладает чистотой семян и содержанием примеси на уровне требований первого класса с высокими посевными качествами – меньшая величина дробления и микроповреждения, повышенная масса и продуктивность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алдошин Н.В., Лылин Н.А. Совершенствование конструкции очистки зерноуборочного комбайна // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 6. С. 58–61.
2. Бердышев В.Е., Ломакин С.Г., Шевцов А.В. Влияние типа дек на качество работы аксиально-роторной молотильно-сепарирующей системы // Вестник ФГБОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2015. № 1. С. 20–24.
3. Гиевский А.М., Оробинский В.И., Чернышов А.В. и др. Обоснование выбора типа комбайна для уборки посевов сои на кормовые и семенные цели // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 1 (72). С. 12–22.
4. Гиевский А.М., Чернышов А.В., Маслов Д.Л., Мигульнов, В.Ю. Обоснование режима работы молотильно-сепарирующего устройства комбайна при уборке сои // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (60). С. 50–56.
5. Завалий А.А., Алдошин Н.В., Воложанинов С.С. и др. Технологии и машины для физических методов воздействия на почву, семена и растения // Агроинженерия. 2021. № 6 (106). С. 11–19. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-6-11-19
6. Пляка В.И., Алдошин Н.В., Панов А.И., Сергеева Н.А. Совершенствование аксиально-роторных молотильно-

Качественные показатели первой фракции семян сои в комбайне Енисей-1200 при уборке

Показатель	I фракция (семенная)	Контроль (семена для посева)
Выход семян, % общего урожая	61,4±2,39	70,0
Лабораторная всхожесть, %	94±3,96	86
Полевая всхожесть, %	90,8±4,14	70,0
Биологическая урожайность, т/га	3,96±0,38	3,6
Чистота семян, %	99,8±0,036	98,4
Дробление семян, %	1,4±0,086	6,3
Микроповреждение, %	0,9±0,021	4,9
Масса 1000 семян, г	174,1±10,23	153,2

- сепарирующих устройств // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. № 4. С. 16–21. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-4-16-21
7. Присяжная И.М., Присяжная С.П., Присяжный М.М., Проценко П.П. Совершенствование процесса обмолота, сепарации и транспортирования для повышения качества семян при комбайновой уборке сои: моногр. Благовещенск: АМГУ, 2018. 192 с.
 8. Синеговский М.О. Перспективы производства сои в дальневосточном федеральном округе // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2020. № 1. С. 13–16.
 9. Синеговская В.Т., Присяжная И.М., Синеговский М.О., Присяжная С.П. Использование экологически чистых технологий при получении зерна сои // *Российская сельскохозяйственная наука. Научно-теоретический журнал*. М.: 2020. ООО «ИКЦ АКАДЕМ-книга». Вып. 3. С. 71–75.
 10. 100 вопросов и ответов о возделывании сои (рекомендации для руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий) / Под общей ред. М.О. Синеговского. ООО «Одеон», 2021. 79 с.
 11. Bumbar I.V., Epifantsev V.V., Shchegorets O.V. et al. Design end operating parameters of crop-harvesting machines under conditions of the Amur region, Russian Federation // *Plant archives*. 2018. Vol. 18. № 2. P. 2567–2572.
 12. Popov A. Ways to increase the efficiency of grain and soybean harvesting in the Amur Region // Popov A., Bumbar I.V. // *XV International scientific conference «INTERAG-ROMASH 2022»*. Rostov-na-Donu. Vol. 574. 25–27.05, 2023. P. 189–199.
 13. Prisyazhnaya I.M., Prisyazhnaya S., Sinegovskaya V., Sinegovskiy M. Checking the Validity of Soy Threshing and Separation Models Using Experimental Data // *Lecture Notes in Networks and Systems. International Scientific Conference Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East»*. 1 (353) (2022) 522260. Vol. 1 (353). 06, 2022. P. 230–237.
- REFERENCES**
1. Aldoshin N.V., Lylin N.A. Sovershenstvovanie konstrukcii ochistki zernouborochnogo kombajna // *Rossiyskaya sel'skohozyajstvennaya nauka*. 2017. № 6. S. 58–61.
 2. Berdyshev V.E., Lomakin S.G., Shevcov A.V. Vliyaniye tipa dek na kachestvo raboty aksial'no-rotornoj molotil'no-separiruyushchej sistemy // *Vestnik FGBOU VPO «MGAU imeni V.P. Goryachkina»*. 2015. № 1. S. 20–24.
 3. Gievskij A.M., Orobinskij V.I., Chernyshov A.V. i dr. Obosnovanie vybora tipa kombajna dlya uborki posevov soi na kormovye i semennye celi // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. Т. 15. № 1 (72). S. 12–22.
 4. Gievskij A.M., Chernyshov A.V., Maslov D.L., Migul'nov V.Yu. Obosnovanie rezhima raboty molotil'no-separiruyushchego ustrojstva kombajna pri uborke soi // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. № 1 (60). S. 50–56.
 5. Zavalij A.A., Aldoshin N.V., Volozhaninov S.S. i dr. Tekhnologii i mashiny dlya fizicheskikh metodov vozdeystviya na pochvu, semena i rasteniya // *Agroinzheneriya*. 2021. № 6 (106). S. 11–19. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-6-11-19
 6. Plyaka V.I., Aldoshin N.V., Panov A.I., Sergeeva N.A. Sovershenstvovanie aksial'no-rotornykh molotil'no-separiruyushchih ustrojstv // *Agroinzheneriya*. 2022. Т. 24. № 4. S. 16–21. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-4-16-21
 7. Prisyazhnaya I.M., Prisyazhnaya S.P., Prisyazhnyj M.M., Procenko P.P. Sovershenstvovanie processa obmolota, separacii i transportirovaniya dlya povysheniya kachestva semyan pri kombajnovoj uborke soi: monogr. Blagoveshchensk: АМГУ, 2018. 192 с.
 8. Sinegovskij M.O. Perspektivy proizvodstva soi v dal'nevostochnom federal'nom okruge // *Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*. 2020. № 1. S. 13–16.
 9. Sinegovskaya V.T., Prisyazhnaya I.M., Sinegovskiy M.O., Prisyazhnaya S.P. Ispol'zovanie ekologicheski chistykh tekhnologij pri poluchenii zerna soi // *Rossiyskaya sel'skohozyajstvennaya nauka. Nauchno-teoreticheskij zhurnal*. М.: 2020. ООО «ИКЦ АКАДЕМ-книга». Вып. 3. S. 71–75.
 10. 100 voprosov i otvetov o vozdelevanii soi (rekomendacii dlya rukovoditelej i specialistov sel'skohozyajstvennykh predpriyatij) / Pod obshchej red. M.O. Sinegovskogo. ООО «Odeon», 2021. 79 s.
 11. Bumbar I.V., Epifantsev V.V., Shchegorets O.V. et al. Design end operating parameters of crop-harvesting machines under conditions of the Amur region, Russian Federation // *Plant archives*. 2018. Vol. 18. № 2. P. 2567–2572.
 12. Popov A. Ways to increase the efficiency of grain and soybean harvesting in the Amur Region // Popov A., Bumbar I.V. // *XV International scientific conference «INTERAG-ROMASH 2022»*. Rostov-na-Donu. Vol. 574. 25–27.05, 2023. P. 189–199.
 13. Prisyazhnaya I.M., Prisyazhnaya S., Sinegovskaya V., Sinegovskiy M. Checking the Validity of Soy Threshing and Separation Models Using Experimental Data // *Lecture Notes in Networks and Systems. International Scientific Conference Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East»*. 1 (353) (2022) 522260. Vol. 1 (353). 06, 2022. P. 230–237.

*Поступила в редакцию 14.09.2023
Принята к публикации 28.09.2023*