

Индекс 70390

2024

ИЗВЕСТИЯ ТСХА

Известия ТСХА. 2024. № 3

2024

3



ИЗВЕСТИЯ

ТИМИРЯЗЕВСКОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
АКАДЕМИИ

3

Москва 2024

ИЗВЕСТИЯ

ТИМИРЯЗЕВСКОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
АКАДЕМИИ

Научно–теоретический журнал
Российского государственного аграрного университета —
МСХА имени К.А. Тимирязева

Сообщаются результаты экспериментальных, теоретических и методических исследований в различных областях сельскохозяйственной науки и практики, выполненных в разных природно–экономических зонах страны

Основан в 1878 году
6 номеров в год

Выпуск

3

май–июнь

Москва
Издательство РГАУ-МСХА
2024

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: д.с.-х.н., д.э.н., академик РАН, проф. **В.И. Трухачев**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., профессор **С.Л. Белопухов**; доктор наук, PhD, профессор **Р. Валентини** (Италия);
д.б.н., профессор **И.И. Васенев**; д.э.н., профессор **Р.С. Гайсин**;
д.э.н., профессор **А.В. Голубев**; д.с.-х.н., профессор **С.А. Грикшас**;
д.с.-х.н., профессор **Ж. Данаилов** (Болгария); д.б.н., профессор **Ф.С. Джалилов**;
профессор **Д.А. Джукич** (Сербия); д.с.-х.н., профессор, академик РАН **Н.Н. Дубенок**;
д.в.н., профессор **Г.П. Дюльгер**; д.б.н., профессор **А.А. Иванов**;
д.б.н., профессор, академик РАН **В.И. Кирюшин**; д.б.н., профессор **В.Н. Корзун** (Германия);
д.в.н., профессор **Р.Г. Кузьмич** (Беларусь); д.б.н., профессор **Я.В. Кузяков** (Германия);
д.с.-х.н., профессор **Н.Н. Лазарев**; д.с.-х.н., профессор **В.И. Леунов**;
д.с.-х.н., профессор, академик РАН **В.М. Лукомец**; д.б.н., профессор **А.Г. Маннапов**;
д.б.н., профессор, академик НАНУ и НААНУ **Д.А. Мельничук** (Украина);
к.э.н., PhD MSU, **Р.А. Мигунов**; к.с.-х.н. **Г.Ф. Монахос**; д.с.-х.н., профессор **С.Г. Монахос**;
д.б.н., профессор **В.Д. Наумов**; д.т.н., профессор, академик РАН **В.А. Панфилов**;
д.б.н., профессор **С.Я. Попов**; д.х.н., профессор **Н.М. Пржевальский**;
д.с.-х.н., профессор **А.К. Раджабов**; д.с.-х.н., профессор **Г.В. Родионов**;
д.б.н., профессор **В.С. Рубец**; д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН **Н.М. Светлов**;
д.б.н., профессор **М.И. Селионова**; к.б.н., доцент **О.В. Селицкая**;
д.б.н., профессор **А.А. Соловьев**; д.б.н., профессор **И.Г. Тараканов**;
д.б.н., профессор **С.П. Торшин**; д.в.н., профессор **С.В. Федотов**;
д.б.н., профессор **Л.И. Хрусталева**; д.с.-х.н., профессор **В.А. Черников**;
д.э.н., профессор **С.А. Шелковников**; д.т.н., профессор **И.Н. Шило** (Беларусь);
д.с.-х.н., профессор **А.В. Шитикова**; д.с.-х.н., профессор **А.С. Шуваринов**;
д.с.-х.н., профессор, академик РАН **Ю.А. Юлдашбаев**

Редакция

Научный редактор – **С.С. Макаров**

Редактор – **В.И. Марковская**

Перевод на английский язык – **Н.А. Сергеева**

Компьютерная верстка – **А.С. Лаврова**

Журнал входит в перечень
ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК

Журнал включен в базы данных BIOSIS (WoS), RSCI (WoS),
CA(pt), CrossRef, AGRIS, РИНЦ, ядро РИНЦ

Правила оформления научных статей для опубликования в журнале «Известия ТСХА»
размещены в Интернете (https://izvestiia.timacad.ru/jour/manager/files/1603286771_treb_stat.pdf)

Плата с аспирантов за публикацию статей не взимается

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024

© Издательство РГАУ-МСХА, 2024

ISSN 0021-342X

IZVESTIYA

of

Timiryazev Agricultural Academy

Academic Journal
of Russian Timiryazev State Agrarian University

The journal publishes the results of experimental,
theoretical and procedural research in different areas
of agricultural science and practice carried out
in various natural and economic zones of the country

Founded in 1878
Six issues per year

Issue

3

May–June

Moscow
Publishing house of Russian Timiryazev State Agrarian University
2024

EDITOR-IN-CHIEF: Prof. **Vladimir I. Trukhachev**,
DSc (Ag), DSc (Econ), Full Member of RAS

EDITORIAL BOARD

Prof. **Sergey L. Belopukhov**, DSc (Ag); Prof. **Riccardo Valentini**, DSc, PhD (Italy);
Prof. **Ivan I. Vasenev**, DSc (Bio); Prof. **Rafkat S. Gaysin**, DSc (Econ);
Prof. **Aleksei V. Golubev**, DSc (Econ); Prof. **Styapas A. Grikschas**, DSc (Ag);
Prof. **Zhivko Danailov**, DSc (Ag) (Bulgaria); Prof. **Fevzi S. Dzhailov**, DSc (Bio);
Prof. **Dragutin A. Djukic** (Serbia); Prof. **Nikolai N. Dubenok**, DSc (Ag), Full Member of RAS;
Prof. **Georgy P. Dulger**, DSc (Vet); Prof. **Aleksei A. Ivanov**, DSc (Bio);
Prof. **Valerii I. Kiryushin**, DSc (Bio), Full Member of RAS; Prof. **Victor N. Korzun**, DSc (Bio) (Germany);
Prof. **Rostislav G. Kuzmich**, DSc (Vet) (Belarus); Prof. **Yakov V. Kuzyakov**, DSc (Bio) (Germany);
Prof. **Nikolay N. Lazarev**, DSc (Ag); Prof. **Vladimir I. Leunov**, DSc (Ag);
Prof. **Vyacheslav M. Lukomets**, DSc (Ag), Full Member of RAS; Prof. **Alfir G. Mannapov**, DSc (Bio);
Prof. **Dmitrii A. Melnichuk**, DSc (Bio), Member of NASU and NAASU (Ukraine);
Rishat A. Migunov, CSc (Econ), PhD MSU; **Grigory F. Monakhos**, CSc (Ag);
Prof. **Sokrat G. Monakhos**, DSc (Ag); Prof. **Vladimir D. Naumov**, DSc (Bio);
Prof. **Victor A. Panfilov**, DSc (Eng), Full Member of of RAS; Prof. **Sergei Ya. Popov**, DSc (Bio);
Prof. **Nikolai M. Przhevalskiy**, DSc (Chem); Prof. **Agamagomed K. Radzhabov**, DSc (Ag);
Prof. **Gennady V. Rodionov**, DSc (Ag); Prof. **Valentina S. Rubets**, DSc (Bio);
Prof. **Nikolai M. Svetlov**, DSc (Econ), Corresponding Member of RAS;
Prof. **Marina I. Selionova**, DSc (Bio); Assoc. Prof. **Olga V. Selitskaya**, CSc (Bio);
Prof. **Alexander A. Soloviev**, DSc (Bio); Prof. **Ivan G. Tarakanov**, DSc (Bio);
Prof. **Sergei P. Torshin**, DSc (Bio); Prof. **Sergei V. Fedotov**, DSc (Vet);
Prof. **Ludmila I. Khrustaleva**, DSc (Bio); Prof. **Vladimir A. Chernikov**, DSc (Ag);
Prof. **Sergey A. Shelkovnikov**, DSc (Econ); Prof. **Ivan N. Shilo**, DSc (Eng) (Belarus);
Prof. **Aleksandra V. Shitikova**, DSc (Ag); Prof. **Anatolii S. Shuvarikov**, DSc (Ag);
Prof. **Yusupzhan A. Yuldashbayev**, DSc (Ag), Full Member of RAS

EDITORIAL STAFF

Scientific editor – **Sergey S. Makarov**
Editor – **Vera I. Markovskaya**
Translation into English – **Natalya A. Sergeeva**
Computer design and making-up – **Anneta S. Lavrova**

The journal is listed in the VAK (Higher Attestation Commission) register
of the top peer reviewed journals and editions

The journal is also included in BIOSIS (WoS), RSCI (WoS), CA(pt), CrossRef, AGRIS,
Russian Index of Science Citation, Core Collection of Russian Index of Science Citation

Article submission guidelines of the journal “Izvestiya of TAA” are available
at https://izvestiia.timacad.ru/jour/manager/files/1603286771_treb_stat.pdf

Articles submitted by postgraduates are exempt from the processing charge

ГЕРМАН ИВАНОВИЧ ТАРАКАНОВ (1923–2006)

С.С. МАКАРОВ, А.К. РАДЖАБОВ

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Статья посвящена одному из выдающихся ученых и педагогов Тимирязевской сельскохозяйственной академии в области овощеводства, доктору сельскохозяйственных наук, профессору, академику ВАСХНИЛ и РАСХН Герману Ивановичу Тараканову. Представлены этапы жизненного и творческого пути, становления его как выдающегося ученого страны в области овощеводства и селекции, незаурядного педагога и руководителя научной школы. Показан вклад ученого в различные направления исследований: изучение биологических особенностей овощных растений как теоретической основы для разработки промышленных технологий возделывания, оригинальные исследования жизненных форм, детальные исследования экологии овощных растений и микроклимата в сооружениях с полимерными покрытиями. Г.И. Таракановым создано более 50 сортов и гибридов огурца, томата и других овощных культур для защищенного и открытого грунта. Как руководитель научно-педагогической школы Г.И. Тараканов внес огромный вклад в развитие образования в области овощеводства в масштабах вуза и страны, подготовил более 60 докторов и кандидатов наук. Изданы и опубликованы более 300 научных работ Г.И. Тараканова, в том числе монографии и учебники для вузов.

Ключевые слова: *ученый, овощеводство, биология и экология овощных культур, селекция, семеноводство.*

31 октября 2023 г. исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося ученого-овощевода и селекционера, академика ВАСХНИЛ и РАСХН, почетного доктора Будапештского Университета садоводства, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Германа Ивановича Тараканова.

Герман Иванович Тараканов родился 31 октября 1923 г. в г. Пятигорске Ставропольского края. После окончания средней школы в 1940 г. он поступил на плодоовощной факультет Тимирязевской академии. В июле 1941 г. началась



Г.И. Тараканов

его трудовая деятельность в качестве бригадира и агронома подсобного хозяйства завода имени К.Е. Ворошилова Наркомата боеприпасов.

В июле 1942 г. Герман Тараканов был призван в ряды Советской Армии. Он принимал участие в сражениях за Сталинград, за освобождение Донбасса, получил тяжелое ранение. Боевые заслуги Г.И. Тараканова были оценены страной: он был награжден орденом Великой Отечественной войны I степени, медалями «За отвагу» и «За победу в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «30 лет победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «50 лет Победы Вооруженных Сил СССР», «60 лет Победы Вооруженных Сил СССР» [16, 18].

В 1945 г., после окончания Великой Отечественной войны и демобилизации, Герман Тараканов вернулся на студенческую скамью и продолжил учебу на плодово-овощном факультете Тимирязевской академии, проявляя большой интерес к научно-исследовательской работе. Его наставниками были академик В.И. Эдельштейн и профессор Н.Н. Тимофеев. В 1949 г., после завершения учебы, Герман Иванович Тараканов поступил в аспирантуру на кафедру овощеводства, по окончании которой в 1952 г. защитил кандидатскую, а в 1958 г. – докторскую диссертации.

После окончания аспирантуры Г.И. Тараканов начал свою трудовую деятельность в вузе. Здесь он прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего кафедрой, декана факультета. В течение 20 лет (1969–1989 гг.) он возглавлял кафедру овощеводства МСХА. В 1978 г. Г.И. Тараканов был избран член-корреспондентом ВАСХНИЛ и членом президиума Российского отделения ВАСХНИЛ, а в 1983 г. – действительным членом ВАСХНИЛ. Г.И. Тараканов много внимания уделял общественной деятельности; участвовал в работе ВАК в качестве члена экспертного совета, в работе Государственной комиссии по сортоиспытанию, был членом Комиссии при Президенте по присуждению Государственных премий РФ.

Г.И. Тараканов – широко известный ученый-овощевод и селекционер, которого знали и в нашей стране, и за рубежом. Он активно сотрудничал с производителями. Являясь членом Исполкома Международного общества научного садоводства (ISHS), Герман Иванович участвовал в программах сотрудничества с зарубежными странами, много сделал для применения передового опыта зарубежного овощеводства в нашей стране. В частности, по итогам визита возглавляемой им делегации в Японию были реализованы государственные мероприятия по развитию гибридного семеноводства овощных культур и усилению исследований по применению в сельском хозяйстве полимеров.

Многогранным является круг научных проблем, которые всегда были в центре внимания Германа Ивановича Тараканова. Особое значение он придавал изучению биолого-экологических особенностей овощных культур для разработки промышленных технологий возделывания и селекции [1, 5, 6, 8, 10]. Г.И. Тараканов был автором оригинальных исследований жизненных форм овощных растений – в частности, на культуре огурца, что явилось значительным вкладом в науку. Под его руководством были проведены детальные исследования экологии овощных растений и микроклимата в сооружениях с полимерными покрытиями, научно обоснованы и разработаны главные элементы промышленных технологий производства в них рассады и ранних овощей, осуществлена огромная работа по их внедрению в различных регионах страны включая Крайний Север, Сибирь и Дальний Восток [9, 12].

В результате многолетней кропотливой работы ученым собран обширный исходный материал и создан ценный генофонд для селекции овощных культур. Г.И. Тараканов – автор и соавтор более 50 сортов и гибридов огурца, томата и других овощных культур. Он явился разработчиком и организатором гибридного семеноводства культуры защищенного грунта, что позволило существенно снизить зависимость

от зарубежных закупок семенного материала овощных культур [7, 14, 17]. Селекционно-семеноводческие компании, созданные его учениками, продолжают эту работу в настоящее время [2, 3, 15]. Г.И. Тараканов много сделал для развития практического овощеводства в нашей стране [4, 13].

Герман Иванович Тараканов был научным руководителем более 60 докторских и кандидатских диссертаций, автором более 300 научных трудов и учебных пособий, в том числе учебника «Овощеводство» для сельскохозяйственных вузов. Ему принадлежат 62 авторских свидетельства на изобретения и патенты.

Трудовые заслуги Г.И. Тараканова высоко оценены страной. Он награжден орденами Октябрьской Революции и «Знак Почета», тремя орденами Трудового Красного Знамени, медалью «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина», золотыми и серебряными медалями ВДНХ. В ознаменование заслуг Г.И. Тараканова в 2015 г. состоялось открытие мемориальной доски на фасаде 17-го нового корпуса Тимирязевской академии [19].

Сегодня, когда в актуализированной и подписанной Президентом Российской Федерации Доктрине продовольственной безопасности страны впервые установлены индикаторы по самообеспечению продукцией отрасли овощеводства, научному и кадровому обеспечению отрасли, научное наследие Г.И. Тараканова, деятельность его учеников и последователей приобретают особенно важное значение.

Библиографический список

1. *Эдельштейн В.И., Тараканов Г.И.* Выращивание овощной рассады. М.: Московский рабочий, 1962. – 175 с.
2. *Тараканов Г.И., Агапова С.А. и др.* Промышленное семеноводство тепличных сортов и гибридов огурца: Методические указания / МСХ СССР. Главное управление картофеля, овощных и бахчевых культур. – М.: Колос, 1982. – 40 с.
3. *Тараканов Г.И., Леман В.Н.* Справочник бригадира-овощевода защищенного грунта. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 191 с.
4. *Тараканов Г.И., Юрина О.В.* Методические указания по селекции огурца. – М.: ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур, 1983. – 102 с.
5. *Тараканов Г.И.* Выращивание рассады в обогреваемых пленочных теплицах в Восточной Сибири: Рекомендации / Госагропром СССР. – М.: Агропромиздат, 1986. – 54 с.
6. *Тараканов Г.И., Вольф Л.К.* Методические рекомендации по выращиванию и внедрению новых сортов и гибридов овощных культур селекции ТСХА. – М.: ТСХА, 1988. – 84 с.
7. *Тараканов Г.И., Борисов Н.В., Климов В.В.* Овощеводство защищенного грунта: Учебник. – М.: Колос, 1982. – 303 с.
8. *Тараканов Г.И., Кокорева В.А., Костыркина О.А.* Изменение морфологических признаков растений лука-порея при разных сроках посева // Известия ТСХА. – 1990. – Вып. 1. – С. 101–118.
9. *Тараканов Г.И., Андреева Е.Н., Хамукова Ф.М.* Влияние опыления термически обработанной пылью на продуктивность потомства томата // Разработка и внедрение экологотехнологических методов повышения продуктивности растений в овощеводстве: Сборник научных трудов ТСХА. – М.: Изд-во МСХА, 1991. – С. 92–98.
10. *Тараканов Г.И.* Биологические особенности овощных растений и некоторые проблемы селекции // Методы комплексной оценки продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных растений. – М., 1994. – С. 48.

11. Тараканов Г.И., Нагайцев А.С. Сортовые особенности роста томата в рассадный период и возможные пути повышения качества рассады // Доклады ТСХА. – 1999. – Вып. 270. – С. 181–186.
 12. Овощеводство: Учебник / Под ред. Г.И. Тараканова, В.Д. Мухина. – Изд. 2-е, перераб., доп. – М.: Колос, 2002. – 472 с.
 13. Тараканов Г.И., Туголуков В.П., Благородова Е.Н. Сорт лука Эллан для получения ранней продукции // Картофель и овощи. – 2002. – № 3. – С. 8–9.
 14. Тараканов Г.И., Чжень Се Шу, Семенов С.Н. Экологические особенности дальневосточных морфобиотипов огурца // Материалы научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.Р. Жебрака (г. Москва, 26–27 февраля 2002 г.). – М., 2002. – С. 311–313.
 15. Тараканов Г.И., Теханович Г.А., Елацкова А.Г. Использование образцов мировой коллекции летних тыкв в селекции // Картофель и овощи. – 2004. – № 7. – С. 29.
 16. Тараканов Г.И., Гончаров А.В., Авилова С.В. Урожайность и качество тыквы разных видов в Московской области // Картофель и овощи. – 2005. – № 1. – С. 8–10.
 17. Герман Иванович Тараканов / Сост. Г.А. Макаренко; Центральная научная библиотека им. Н.И. Железнова. – М., 2003. – 68 с.
 18. Раджабов А.К. и др. История факультета садоводства и ландшафтной архитектуры (к 90-летию со дня основания): Монография / Под ред. В.М. Баутина. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2010. – 320 с.
- Открытие мемориальной доски академику РАСХН Герману Ивановичу Тараканову // БезФормата Москва. – URL: <https://moskva.bezformata.com/listnews/akademiku-rashn-germanu-ivanovichu/37328234/> (дата обращения: 15.10.2023).

GERMAN I. TARAKANOV (1923–2006)

S.S. MAKAROV, A.K. RADZHABOV

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The article is devoted to one of the outstanding scientists and lecturers of Timiryazev Academy in the field of vegetable growing and breeding, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of VASKhNIL and RASKhN German I. Tarakanov. The stages of his life and creative path, his formation as an outstanding scientist of the country in the field of vegetable growing and breeding, an outstanding lecturer and the head of the scientific school are presented. The contribution of the scientist to various fields of research is shown: the study of biological features of vegetable plants as a theoretical basis for the development of industrial cultivation technologies, original studies of life forms, detailed studies of the ecology of vegetable plants and microclimate in structures with polymer coatings. More than 50 varieties and hybrids of cucumbers, tomatoes and other vegetables for protected and open cultivation were created by the scientist. As the head of the scientific and pedagogical school German I. Tarakanov made a great contribution to the development of education in the field of vegetable growing on the scale of the university and the country, graduated more than 60 doctors and candidates of sciences, published more than 300 scientific works, including monographs and textbooks for universities.

Keywords: *scientist, vegetable growing, biology and ecology of vegetable crops, breeding, seed production.*

References

1. Edel'shteyn V.I., Tarakanov G.I. *Growing vegetable seedlings*. Moscow, USSR: Moskovskiy rabochiy, 1962:175. (In Russ.)
2. Tarakanov G.I., Agapova S.A. et al. *Industrial seed production of greenhouse varieties and hybrids of cucumber: Methodological guidelines*. Moscow, USSR: Kolos, 1982:40. (In Russ.)
3. Tarakanov G.I., Leman V.N. *Foreman's manual for the protected vegetable growers*. Moscow, USSR: Rossel'khozizdat, 1980:191. (In Russ.)
4. Tarakanov G.I., Yurina O.V. *Methodological guidelines for cucumber breeding*. Moscow, USSR: VNII selektsii i semenovodstva ovoshchnykh kul'tur, 1983:102. (In Russ.)
5. Tarakanov G.I. *Growing seedlings in heated plastic greenhouses in Eastern Siberia: Guidelines*. Moscow, USSR: Agropromizdat, 1986:54. (In Russ.)
6. Tarakanov G.I., Vol'f L.K. *Methodical recommendations on cultivation and introduction of new varieties and hybrids of vegetable crops of Timiryazev Agricultural Academy selection*. Moscow, USSR: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 1988:84. (In Russ.)
7. Tarakanov G.I., Borisov N.V., Klimov V.V. *Vegetable growing in protected soil: textbook*. Moscow, USSR: Kolos, 1982:303. (In Russ.)
8. Tarakanov G.I., Kokoreva V.A., Kostyrkina O.A. Changes in morphological traits of leek plants at different sowing dates. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 1990;1:101–118. (In Russ.)
9. Tarakanov G.I., Andreeva E.N., Khamukova F.M. Effect of pollination with heat-treated pollen on productivity of tomato progeny. In: *Development and implementation of ecological and technological methods of increasing plant productivity in vegetable growing: Sbornik nauchnykh trudov Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. K.A. Timiryazeva*. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 1991:92–98. (In Russ.)
10. Tarakanov G.I. Biological features of vegetable plants and some problems of breeding. In: *Methods of complex assessment of productivity and stability of agricultural plants*. Moscow, Russia, 1994: 48. (In Russ.)
11. Tarakanov G.I., Nagaytsev A.S. Varietal features of tomato growth in the seedling period and possible ways to improve the quality of seedlings. In: *Doklady TSKhA*. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 1999(270):181–186. (In Russ.)
12. *Vegetable growing: textbook*. Ed. by G.I. Tarakanov, V.D. Mukhin. 2d ed., rev. and supp. Moscow, Russia: Kolos, 2002:472. (In Russ.)
13. Tarakanov G.I., Tugolukov V.P., Blagorodova E.N. Ellan onion variety for early production. *Potato and Vegetables*. 2002;3:8–9. (In Russ.)
14. Tarakanov G.I., Se Shu Chzhen', Semenov S.N. Ecological peculiarities of Far Eastern morphobiotypes of cucumber. *Nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya A.R. Zhebraka. February 26–27, 2002*. Moscow, Russia, 2002:311–313. (In Russ.)
15. Tarakanov G.I., Tekhanovich G.A., Elatskova A.G. Use of samples of the world collection of summer pumpkins in breeding. *Potato and Vegetables*. 2004;7:29. (In Russ.)
16. Tarakanov G.I., Goncharov A.V., Avilova S.V. Yield and quality of pumpkin of different species in Moscow region. *Potato and Vegetables*. 2005;1:8–10. (In Russ.)
17. Makarenko G.A. *German, I. Tarakanov*. Moscow, Russia, 2003:68s. (In Russ.)
18. Radzhabov A.K. et al. *History of the Faculty of Horticulture and Landscape Architecture (to the 90th anniversary of its foundation): monograph*. Ed. by V.M. Bautin.

Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2010:320. (In Russ.)

19. Unveiling of the memorial plaque to the Academician of the Russian Academy of Agricultural Sciences German I. Tarakanov. (In Russ.) [Electronic source] URL: <https://moskva.bezformata.com/listnews/akademiku-rashn-germanu-ivanovichu/37328234/> (accessed: October 15, 2023)

Сведения об авторах

Макаров Сергей Сергеевич, д-р с.-х. наук, и.о. директора Института садоводства и ландшафтной архитектуры, заведующий кафедрой декоративного садоводства и газоноведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–05–45

Раджабов Агагомед Курбанович, д-р с.-х. наук, профессор, профессор кафедры плодородства, виноградарства и виноделия, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: plod@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–16–16

Information about the authors

Sergey S. Makarov, DSc (Agr), Acting Director of the Institute of Horticulture and Landscape Architecture, Head of the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–05–45; e-mail: s.makarov@rgau-msha.ru)

Agamagomed K. Radzhabov, DSc (Agr), Professor, Professor at the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–16–16; e-mail: plod@rgau-msha.ru)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ
ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИН.А. ДЕМИНА¹, О.Н. ТЮКАВИНА^{1,2}, В.В. ВОРОНИН¹,
Е.Н. НАКВАСИНА^{1,2}, Е.М. РОМАНОВ^{1,2}¹Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова)

При производстве посадочного материала в таежной зоне крайне важно оценивать проблемные позиции в лесных питомниках. Следует обратить внимание на низкое качество почв, которое может существенно влиять на интенсивность роста сеянцев и выход стандартного посадочного материала. Рассматривается комплексная оценка состояния почв в лесных питомниках таежной зоны Европейской части России. Исследования проведены в 6 лесных питомниках. Определены агрохимические и физические свойства почвы. Содержание в почвах лесных питомников органического вещества является низким, а подвижных форм фосфора, обменного калия и щелочногидролизуемого азота – недостаточным для оптимального роста и развития сеянцев хвойных пород. Величина кислотности в почвах питомников таежной зоны Европейской части России оказалась благоприятной. Половина исследуемых лесных питомников имеет повышенную плотность сложения почвы, что может приводить к формированию почв с низкой скважностью, ограничивающей поступление воздуха и удержание влаги в почве. Снижение интенсивности роста сеянцев и выхода стандартных сеянцев может происходить ввиду отсутствия таких технологических мероприятий, как борьба с сорной растительностью, отсутствие полива и т.д., но одной из наиболее важных причин является недостаточная обеспеченность почв минеральными и органическими веществами. Выравнивание параметров плодородия почв лесных питомников может быть достигнуто путем внесения необходимых удобрений и проведения культиваций. Результаты исследований позволяют акцентировать внимание специалистов, занимающихся выращиванием посадочного материала в таежной зоне Европейской части России, на проблеме низкого почвенного плодородия.

Ключевые слова: лесные питомники, открытый грунт, почва, агрохимические свойства, физические характеристики, количество сеянцев, рост.

Введение

Европейский Север Российской Федерации является многолесным регионом, который с давних времен характеризовался интенсивным лесопользованием и остается одним из основных лесопромышленных районов страны. В настоящее время, как и ранее, остается необходимость восстановления утраченных лесов усиленными темпами. Даже незначительные ошибки в технологии создания и выращивания лесных культур приводят к существенным потерям материальных средств и трудовых затрат, для выявления и исправления которых требуются десятилетия [5; 15]. Успешность лесокультурного производства в значительной мере определяется качеством посадочного материала, обеспечивающим высокий лесокультурный эффект, отвечающий

целевому назначению культивируемой площади [11]. Это достигается организацией комплексного лесного питомнического хозяйства [4], состоящего из постоянных лесных питомников с открытой и закрытой корневой системой, малых, приближенных к местам массового лесокультурного производства, и временных лесных питомников.

Вопросы сохранения лучшей практики выращивания семян, разработка современных, экологически ориентированных приемов, новых подходов к оценке качества посадочного материала остаются актуальными и востребованными [1–3; 8; 10; 11; 14; 16–25]. Крайне важно оценивать проблемные позиции в лесных питомниках, так как это способствует принятию в дальнейшем эффективных управленческих решений при производстве посадочного материала. Особое внимание необходимо обратить на проблемы низкого качества почв лесных питомников, их несоответствие нормативным требованиям, что существенно влияет на выход и интенсивность роста посадочного материала [7; 17].

Цель исследований: оценка состояния почв лесных питомников таежной зоны Европейской части России для разработки предложений по повышению выхода стандартного посадочного материала.

Материал и методы исследований

Натурное обследование почв проводили в полевой сезон 2022 г. в 6 лесных питомниках, расположенных в Северо-таежном лесном районе Европейской части Российской Федерации, Двинско-Вычегодском и Балтийско-Белозерском таежных районах на территории Архангельской и Ленинградской областей. Площади питомников составляли от 0,11 до 80 га.

Исследования проводили в посевных отделениях на полях, где выращивались сеянцы ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.)). Почвы питомников по гранулометрическому составу представлены в основном легким и средним суглинками, в питомнике № 4 (Двинско-Вычегодский таежный район) – торфяной почвой. С каждого поля отбирали 3 объединенных почвенных пробы на агрохимический анализ. Отбор производили по маршрутному ходу, по диагонали поля, объединенную почвенную пробу составляли не менее чем из 50 точечных индивидуальных проб. Подвижные формы фосфора и калия определяли по методу Кирсанова, щелочногидролизующий азот – по методу Корнфилда, органическое вещество почвы – по методу Тюрина, показатель рН солевой вытяжки – по ГОСТ Р 58594–2019 [6]. Определение агрохимических показателей проводили в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ САС «Архангельская».

Отбор проб для определения физических свойств почвы осуществляли в естественном сложении пробоотборником, не менее чем в десятикратной повторности с каждого поля. Далее пробы помещали в бьюксы для транспортировки. В лабораторных условиях общепринятыми в почвоведении методами определяли плотность твердой фазы, плотность сложения и общую пористость.

Перечет семян ели производили на полях по диагональному ходу. При пересечении с лентами откладывали учетные отрезки и пересчитывали все имеющиеся сеянцы с измерением высоты и диаметра. Количество учтенных семян на одном поле составило от 150 до 600 шт. Для оценки выхода стандартных семян руководствовались требованиями к посадочному материалу, отраженными в действующих Правилах лесовосстановления [13].

Полученные данные по результатам исследований обрабатывали общепринятыми статистическими методами с использованием программы Microsoft Office Excel 2019.

Результаты и их обсуждение

Для обеспечения оптимального роста сеянцев хвойных пород обменная кислотность ($pH_{КСЛ}$) почв лесных питомников таежной зоны должна быть в пределах 4,6...6,0 [11], содержание органического вещества должно составлять не менее 3–4%, содержание подвижного фосфора – 100–200 мг/кг, обменного калия – 100–250 мг/кг, щелочногидролизуемого азота – 90 мг/кг и более [12]. Для торфяных почв оптимальное содержание подвижного фосфора и обменного калия для сельскохозяйственных земель составляет 600–1000 мг/кг и 800–1200 мг/кг почвы соответственно [9].

Усредненные показатели агрохимических свойств почв в исследуемых лесных питомниках таежной зоны Европейской части России приведены в таблице 1.

Для оптимального роста и развития сеянцев ели содержания фосфора и калия недостаточно в большинстве изученных лесных питомников, азота недостаточно на всех объектах исследований несмотря на среднюю и повышенную категории обеспеченности почвы по общепринятым в почвоведении шкалам. Торфяные почвы питомника в достаточной мере обеспечены подвижным калием, но бедны фосфором.

Обеспеченность органическим веществом почвы варьирует от очень бедных до хорошо обеспеченных, основная масса питомников имеет низкое содержание. При этом хорошо обеспеченные почвы имеются только в одном лесном питомнике – на торфяных почвах. В питомнике № 2, расположенном в Северо-таежном лесном районе, показатель содержания органического вещества почвы имеет высокое значение, но усредненные данные являются статистически незначимыми ($p > 0,05$) ввиду сильно различающихся показателей по полям.

Степень кислотности почв практически во всех лесных питомниках слабокислая и находится в пределах нормы, рекомендуемой для выращивания хвойных пород.

Таблица 1

Усредненные показатели агрохимических свойств почв лесных питомников таежной зоны Европейской части России

| Показатели | Лесной район | | | | | |
|--|----------------|------------|-----------------------------|-------------|-------------------------------|------------|
| | Северо-таежный | | Двинско-Вычегодский таежный | | Балтийско-Белозерский таежный | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг | 71,2±2,2 | 96,5±9,0 | 62,3±1,8 | 298,5±49 | 161,9±9,6 | 131,2±21,3 |
| Содержание K ₂ O, мг/кг | 59,8±7,0 | 148,3±40,2 | 69,3±5,2 | 831,7±102,7 | 63,3±4,1 | 53,8±3,9 |
| Содержание Нщ.г., мг/кг | 52,7±2,3 | 84±13,9 | 59±1,4 | 57,3±10,1 | 53±2,6 | 59,6±1,8 |
| Содержание органического вещества почвы, % | 1,24±0,1 | 3,1*±0,8 | 1,11±0,1 | 36,4±9,28 | 2,3±0,2 | 2,6±0,2 |
| pH солевой вытяжки, ед. pH | 5,3±0,09 | 5,5±0,13 | 5,5±0,03 | 5,2±0,26 | 5,4±0,09 | 4,9±0,08 |

*Данные являются статистически незначимыми.

Низкое естественное плодородие почв таежной зоны, на которых в большинстве случаев созданы лесные питомники таежной зоны Европейской части России, постоянный вынос питательных веществ при выкопке сеянцев, недостаточное количество вносимых органических и минеральных удобрений способствуют постоянной нехватке важных для роста сеянцев веществ. На низкую обеспеченность элементами питания и органическим веществом накладываются и проблемы с физическими показателями почв, от которых зависят водно-воздушные свойства, жизнедеятельность микроорганизмов и рост растений.

Считается, что почва имеет благоприятные водно-физические свойства, если ее объемная масса или плотность сложения составляют менее 1,2–1,3 г/см³, общая пористость – 50–70% [11; 12]. Плотность твердой фазы почвы в среднем должна составлять не более 2,5–2,7 г/см³, а плотность торфяных горизонтов – 1,4–1,8 г/см³. Усредненные значения физических показателей почв питомников представлены в таблице 2.

Лесные питомники по плотности твердой фазы почвы можно признать соответствующими нормативным показателям. В то же время 50% лесных питомников уплотнены, имеют плотность сложения, выходящую за пределы нормативов. Это приводит к формированию почв с низкой скважностью – ниже или на пределе оптимума, ограничивающей поступление воздуха и удержание влаги в почве. В торфяной почве, наоборот, рыхлая, насыщенная воздухом почва может привести к обезвоживанию сеянцев в летний период, что требует периодических поливов.

Определенное сочетание агрофизических и физических свойств почвы в питомниках обеспечивает различный выход и стандартизацию посадочного материала. Основные характеристики сеянцев и их выход представлены в таблице 3. Оценка характеристик сеянцев приведена для трехлетнего возраста при условии, что посадочный материал достиг нормативных размеров (питомники № 4–6), в остальных случаях – для четырехлетнего возраста (питомники № 1–3).

Нормой выхода стандартного посадочного материала считается 40–50 шт. сеянцев на 1 пог. м (для северной и средней подзон тайги) [11]. Недостаточное количество сеянцев на 1 пог. м (до 2 шт.) установлено на тех объектах (питомники № 1 и № 2), где оказывают достаточно сильное влияние природно-климатические факторы, а ведение лесопитомнического хозяйства требует исполнения полного цикла технологических операций, включающего в себя внесение органики, минеральных удобрений, борьбу с сорной растительностью, а в ряде случаев – поливов.

Таблица 2

Усредненные показатели физических свойств почв лесных питомников таежной зоны Европейской части России

| Показатели | Лесной район | | | | | |
|---|----------------|-----------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|
| | Северо-таежный | | Двинско-Вычегодский таежный | | Балтийско-Белозерский таежный | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Плотность твердой фазы, г/см ³ | 2,40±0,10 | 2,36±0,09 | 2,11±0,09 | 1,62±0,03 | 2,73±0,07 | 2,55±0,08 |
| Плотность сложения, г/см ³ | 1,37±0,01 | 1,10±0,03 | 1,36±0,03 | 0,34±0,02 | 1,31±0,01 | 1,23±0,01 |
| Пористость, % | 42,9 | 53,4 | 35,5 | 79,0 | 52,0 | 51,8 |

Усредненные показатели основных параметров сеянцев ели, произрастающих в лесных питомниках таежной зоны Европейской части России

| Показатели | Лесной район | | | | | |
|-------------------------------------|----------------|----------|-----------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|
| | Северо-таежный | | Двинско-Вычегодский таежный | | Балтийско-Белозерский таежный | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Количество сеянцев на 1 пог. м, шт. | 2±1,3 | 0,2±0,2 | 11±0,7 | 66±4,0 | 174±13,2 | 52±3,3 |
| Высота сеянцев, см | 6,3±0,11 | 8,9±0,36 | 11,0±0,15 | 29,1±0,61 | 29,1±0,30 | 17,5±0,96 |
| Диаметр сеянцев у шейки корня, мм | 1,2±0,02 | 1,4±0,05 | 1,8±0,03 | 3,7±0,09 | 4,2±0,06 | 2,6±0,04 |

В трех питомниках (№ 4–6) выход стандартных сеянцев с 1 пог. м посевной строки находится в пределах нормы или даже превышает ее (52–174 шт.). В этих питомниках поддерживаются агротехнические технологии. Так, в лесном питомнике № 4 технология проведения работ включает в себя борьбу с сорной растительностью, полив, рыхление, внесение минеральных удобрений. Лесные питомники № 5 и № 6 обеспечивают внесение органических, минеральных удобрений, борьбу с сорной растительностью, культивацию межленточного пространства. Применяются, в том числе, биологически активные препараты для повышения устойчивости растений и увеличения темпа их роста.

Аналогичная ситуация складывается по показателю высоты сеянцев. Причиной недостаточной интенсивности роста является отсутствие основных технологических приемов, применяемых при выращивании посадочного материала. В лесных питомниках № 1–3, которые, достигая 4-летнего возраста, не соответствуют критериям стандарта, высота сеянца – ниже на 1–4 см установленных требований. Трехлетние сеянцы ели в лесных питомниках № 4–6 с применением интенсивной технологии выращивания посадочного материала – выше нормативных требований по высоте и диаметру, что соответствует параметрам стандартного посадочного материала.

Низкое содержание минеральных и органических веществ в почвах является весомой причиной, снижающей выход стандартного посадочного материала и ограничивающей рост растений. Установлена высокая степень корреляции между показателями количества сеянцев на 1 пог. м и содержанием калия ($R = 0,98$), а также значительная корреляция между высотой на третий, четвертый годы выращивания сеянцев ели с подвижным фосфором, обменным калием и органическим веществом ($R = 0,55–0,85$). В случае нехватки в почвах лесных питомников фосфора, калия и органического вещества выход сеянцев и интенсивность роста значительно снижаются.

При выращивании сеянцев в лесных питомниках нельзя скрыть значимость того или иного технологического приема. Каждый прием играет важную роль в поддержании оптимальных параметров для роста и развития растений. Технологические приемы, направленные на поддержание благоприятных характеристик почв лесных питомников, необходимо корректировать в зависимости от их типа и свойств.

Выводы

При проведении анализа агрохимических и физических показателей почв в лесных питомниках таежной зоны Европейской части России установлено, что объекты исследований находятся в зоне низкого естественного плодородия почв с недостаточным содержанием органических и минеральных элементов питания для роста и развития семян хвойных пород. В лесных питомниках, имеющих сниженный выход посадочного материала, рекомендуется обратить внимание на содержание в почве азота, фосфора, калия, а также органического вещества. Это требует постоянного агрохимического мониторинга состояния качества почв и оперативного принятия мер по снижению негативных факторов: ведение севооборотов, внесение удобрений, обеспечение поливной нормы и др. Только при сочетании содержания органического вещества, подвижного азота, фосфора и калия, а также кислотности почвы в оптимальных значениях для роста семян хвойных пород можно увеличить интенсивность роста растений и выход стандартного посадочного материала в лесных питомниках. При внесении удобрений следует руководствоваться региональными рекомендациями, а также указаниями, разработанными для конкретного предприятия. Для решения проблемы уплотнения верхних горизонтов почвы необходимо проводить культивацию на полях выращивания.

При выращивании посадочного материала в Северо-таежном лесном районе Европейской части Российской Федерации, Двинско-Вычегодском, Балтийско-Белозерском таежных районах следует учитывать, что природно-климатические условия являются не совсем благоприятными, и исполнение полного цикла приемов, в том числе регулирование почвенного плодородия и улучшение физических свойств почв, предусмотренных технологической картой лесного питомника, будет способствовать увеличению выхода стандартного посадочного материала.

Работа проведена по результатам исследований, выполненных в рамках Государственного задания ФБУ СевНИИЛХ на проведение прикладных научных исследований (рег. № темы: 122020100292–5).

Библиографический список

1. Антонов А.М., Макаров С.С., Лютикова А.И., Сорокин Е.С., Чудецкий А.И. Влияние стимуляторов корнеобразования на укоренение зеленых черенков туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в условиях Архангельской области // Лесохозяйственная информация. – 2024. – № 1. – С. 91–98. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2024.1.07.
2. Багаев Е.С., Макаров С.С., Багаев С.С., Родин С.А. Исполинская осина: биологические особенности и перспективы плантационного выращивания: Монография. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2021. – 72 с.
3. Багаев Е.С., Чудецкий А.И., Макаров С.С. Оценка возможности использования быстрорастущих форм осины для закладки лесосырьевых плантаций с коротким оборотом рубки // Лесохозяйственная информация. – 2023. – № 1. – С. 55–67. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 27.03.2024). DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.1.05.
4. Бырдина С.С. Механизация малых круговых и ленточных подпологовых лесных питомников // Colloquium-Journal. – 2020. – № 35 (87). – С. 19–22.
5. ГОСТ Р 58004–2017. Лесовосстановление. Технические условия. – М., 2018. – 16 с.

6. ГОСТ Р 58594–2019. Метод определения обменной кислотности. – М., 2019. – 9 с.
7. Дурова А.С., Фетисова А.А. Современное состояние почв лесных питомников Ленинградской области // Лесохозяйственная информация. – 2020. – № 1. – С. 31–39. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 27.03.2024). DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.03.
8. Зарубина Л.В., Макаров С.С. Влияние азотных удобрений на сезонный рост хвой сосны обыкновенной в условиях торфяно-болотных почв Севера России // Лесохозяйственная информация. – 2023. – № 4. – С. 29–40. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 27.03.2024). DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.03.
9. Корелина В.А., Лагутина Т.Б., Попова Л.А., Антропова Г.Е., Романов Е.М., Макарова М.В., Прожерина Г.П. Научно обоснованная система земледелия и технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Архангельской области: Монография. – Архангельск, 2016. – 114 с.
10. Макаров С.С., Антонов А.М., Лютикова А.И. Влияние стимуляторов корнеобразования на укоренение одревесневших черенков туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в гидропонной установке // Естественные и технические науки. – 2023. – № 5 (180). – С. 178–181.
11. Маркова И.А., Жигунов А.В. Лесные культуры: агротехника выращивания посадочного материала в лесных питомниках: Учебное пособие. – СПб.: СИНЭЛ, СПбГЛТУ, 2021. – 134 с.
12. Мочалов Б.А. Рекомендации и технологические карты по выращиванию саженцев сосны и ели в питомниках северной и средней подзон тайги Европейской части России. – Архангельск: СевНИИЛХ, 2005. – 35 с.
13. Правила лесовосстановления: утв. приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 декабря 2021 г. № 1024. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения: 19.04.2024).
14. Острошенко В.Ю. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании посадочного материала хвойных древесных пород в Приморском крае: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Уссурийск, 2021. – 281 с.
15. Редько Г.И., Бабич Н.А. Рукотворные леса Европейского Севера: монография. – Архангельск: Северо-Западное книжное изд-во, 1991. – 96 с.
16. Сорокин Е.С., Беляева Е.А., Генрих Э.А., Макаров С.С., Боровикова А.А., Киселева Н.А., Лютикова А.И., Антонов А.М. Влияние отходов целлюлозно-бумажного комбината в субстратах на развитие корневой системы ели европейской (*Picea abies* L.) при выращивании в гидропонных установках // Естественные и технические науки. – 2024. – № 2 (189). – С. 122–126.
17. Федорец Н.Г., Солодовников А.Н., Ткаченко Ю.Н. Водно-физические и агрохимические показатели почв базисных питомников Карелии // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 8. – С. 139–144.
18. Феклистов П.А., Тюкавина О.Н., Сунгурова Н.Р., Макаров С.С., Болотов И.Н., Тарханов С.Н. Особенности накопления минеральных элементов и азота в ассимиляционном аппарате сосны обыкновенной // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2024. – № 3. – С. 118–129. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-3-118-129.
19. Чудецкий А.И., Багаев С.С. Оценка потенциала еловых насаждений для создания лесных плантаций лесоводственными методами в южно-таежном районе Европейской части России // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – № 2. – С. 22–31. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.22.

20. Чукарина А.В. Сравнительный анализ влияния биологически активных веществ на густоту и рост однолетних сеянцев сосны обыкновенной и сосны крымской // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2021. – № 59. – С. 208–211.

21. Davis A.S., Pinto J.R. The Scientific Basis of the Target Plant Concept: An Overview // Forest. – 2021. – Vol. 12. – P. 1293. Doi: 10.3390/f12091293.

22. Grossnickle S.C., MacDonald J.E. Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes // Forests. – 2018. – Vol. 9, № 5. – Pp. 283–305.

23. Makarov S.S., Bagaev E.S., Chudetsky A.I., Kuznetsova I.B., Lebedeva O.P., Antonov A.M. Features of Triploid Aspen Clonal Micropropagation Using Modern Growth-Stimulating Preparations // Lesnoy Zhurnal: Russian Forestry Journal. – 2023. – № 2 (392). – Pp. 183–194. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-2-183-194.

24. Perumal M., Wasli M.E. Target Plant Concept (TPC): A Holistic Framework for Seedling Quality within a Forest Restoration Programme // Bulletin Institut Ekosains Borneo. – 2023. – Vol. 2, № 1. – Pp. 35–40.

25. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia // International Journal of Economics and Financial Issues. – 2016. – Vol. 6. – No. S5. – P. 33–41.

CURRENT STATE OF SOILS IN FOREST NURSERIES IN THE TAIGA ZONE OF EUROPEAN PART OF RUSSIA

N.A. DEMINA¹, O.N. TYUKAVINA^{1,2}, V.V. VORONIN¹,
E.N. NAKVASINA^{1,2}, E.M. ROMANOV^{1,2}

(¹Northern Research Institute of Forestry;

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov)

When producing planting material in the taiga zone, it is extremely important to assess problematic sites in forest nurseries. Attention should be paid to poor soil quality, which can significantly affect the growth rate of seedlings and the yield of standard planting material. The article considers a comprehensive assessment of soil conditions in forest nurseries of the taiga zone of the European part of Russia. The research was conducted in six forest nurseries. Agrochemical and physical properties of soils were determined. The content of organic matter in the soils of forest nurseries is low, mobile forms of phosphorus, exchangeable potassium and alkaline hydrolyzable nitrogen are insufficient for optimal growth and development of coniferous seedlings. The level of acidity in the soils of nurseries in the taiga zone of the European part of Russia turned out to be favorable. Half of the studied forest nurseries have increased density of soil composition, which can lead to the formation of soils with low pore volume, limiting air intake and moisture retention in the soil. A decrease in the intensity of seedling growth and yield of standard seedlings may occur due to the lack of technological measures such as weed control, lack of irrigation, etc., but one of the most important reasons is the insufficient supply of soils with mineral and organic substances. Equalization of soil fertility parameters in forest nurseries can be achieved by application of necessary fertilizers and by means of cultivation. The results of the presented work will make it possible to draw the attention of specialists engaged in the cultivation of planting material in the taiga zone of the European part of Russia to the problem of low soil fertility.

Keywords: forest nurseries, bare ground, soil, agrochemical properties, physical characteristics, number of seedlings, growth.

References

1. Antonov A.M., Makarov S.S., Lyutikova A.I., Sorokin E.S., Chudetsky A.I. The influence of root formation stimulants on the rooting of green cuttings of western thuja (*Thuja occidentalis* L.) in the conditions of the Arkhangelsk region. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya*. 2024;1:91–98. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2024.1.07>. (In Russ.)
2. Bagaev E.S., Makarov S.S., Bagaev S.S., Rodin S.A. *Giant aspen: biological features and prospects of plantation cultivation*: monograph. Pushkino, Russia: VNIILM, 2021:72. (In Russ.)
3. Bagaev E.S., Chudetsky A.I., Makarov S.S. Evaluation of the possibility of the use of fast-growing aspen forms for laying timber plantations with a short turnover of felling. *Forestry Information*. 2023;1:55–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.1.05>
4. Byrdina S.S. Mechanization of small circular and belt underland forest. *Colloquium-Journal*. 2020;35(87):19–22. (In Russ.)
5. GOST R58004–2017. *Reforestation. Technical conditions*. Moscow, Russia, 2018:16. (In Russ.)
6. GOST R58594–2019. *Method for determining exchangeable acidity*. Moscow, Russia, 2019:9. (In Russ.)
7. Durova A.S., Fetisova A.A. Modern condition of nursery forest soils of the Leningrad region. *Forestry Information*. 2020;1:31–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.03>
8. Zarubina L.V., Makarov S.S. The influence of nitrogen fertilisers on the seasonal growth of Scots pine needles in peat-bog soils of the north of Russia. *Forestry Information*. 2023;4:29–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.03>
9. Korelina V.A., Lagutina T.B., Popova L.A., Antropova G.E. et al. *Scientifically based farming system and technologies for cultivating crops in the Arkhangelsk region*. Arkhangelsk, Russia, 2016:114. (In Russ.)
10. Makarov S.S., Antonov A.M., Lyutikova A.I. The influence of root formation stimulants on the rooting of lignified cuttings of western thuja (*Thuja occidentalis* L.) in a hydroponic installation. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2023;5:178–181. (In Russ.)
11. Markova I.A., Zhigunov A.V. *Forest crops: agro-techniques for growing planting material in forest nurseries*: textbook. St. Petersburg, Russia: SINEL, SPbGLTU, 2021:134. (In Russ.)
12. Mochalov B.A. *Recommendations and technological maps for the cultivation of pine and spruce seedlings in nurseries of the northern and middle taiga subzones of the European part of Russia*. Arkhangelsk, Russia: SevNIILKh, 2005:35. (In Russ.)
13. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of December 29, 2021 No. 1024 “On approval of the rules of reforestation, form, composition, procedure for approving the reforestation project, grounds for refusal to approve it, as well as requirements for the format in electronic form of the reforestation project”. (In Russ.) [Electronic source] URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (accessed: April 19, 2024)
14. Ostroshenko V.Yu. Efficiency of using growth stimulants when growing planting material of coniferous trees in the Primorsky Territory. CSc (Agr) thesis: 06.03.01. Ussuriysk, Russia, 2021:281. (In Russ.)
15. Red’ko G.I., Babich N.A. *Man-made forests of the European North*. Arkhangelsk, Russia: Sev. – Zap. kn. izd-vo, 1991:96. (In Russ.)
16. Sorokin E.S., Belyaeva E.A., Genrih E.A., Makarov S.S. et al. Effect of pulp and paper mill residues in substrates on the development of the root system of European

spruce (*Picea abies* L.) when grown in hydroponic plants. *Natural and Technical Sciences*. 2024;2(189):122–126. (In Russ.)

17. Fedorets N.G., Solodovnikov A.N., Tkachenko Yu.N. Hydrophysical and agrochemical characteristics of soils in permanent nurseries in Karelia. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2016;8:139–144. (In Russ.)

18. Feklistov P.A., Tyukavina O.N., Sungurova N.R., Makarov S.S., Bolotov I.N., Tarkhanov S.N. Features of the accumulation of mineral elements and nitrogen in the assimilation apparatus of Scots pine. *Lesnoy zhurnal*. 2024;3:118–129. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-3-118-129> (In Russ).

19. Chudetsky A.I., Bagaev S.S. Evaluation of the potential of spruce stands for forest plantations by silvicultural methods in the southern taiga region of the European part of Russia. *Russian Forestry Journal*. 2019;2:22–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.2.22>

20. Chukarina A.V. Comparative analysis of the effect of biologically active substances on the density and growth of annual seedlings of Scots pine and Crimean pine. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2021;59:208–211. (In Russ.)

21. Davis A.S., Pinto J.R. The Scientific Basis of the Target Plant Concept: An Overview. *Forest*. 2021;12:1293. <https://doi.org/10.3390/f12091293>

22. Grossnickle S.C., MacDonald J.E. Seedling quality: history, application, and plant attributes. *Forests*. 2018;9(5):283–305.

23. Makarov S.S., Bagaev E.S., Chudetsky A.I., Kuznetsova I.B. et al. Features of Triploid Aspen Clonal Micropropagation Using Modern Growth-Stimulating Preparations. *Russian Forestry Journal*. 2023;2(392):183–194. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-2-183-194>

24. Perumal M., Wasli M.E. Target Plant Concept (TPC): A Holistic Framework for Seedling Quality within a Forest Restoration Program. *Bulletin Institut Ekosains Borneo*. 2023;2(1):35–40.

25. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2016;6(S5):33–41. (In Russ.)

Сведения об авторах

Демина Надежда Александровна, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»; 163062, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Никитова, 13; e-mail: monitoringlesov@sevniilh-arh.ru; тел.: (8182) 61–79–55

Тюкавина Ольга Николаевна, д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»; 163062, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Никитова, 13; тел.: (8182) 61–79–55; профессор, доцент кафедры ботаники, общей экологии и природопользования Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»; 163002, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, 17; e-mail: o.tukavina@narfu.ru

Воронин Василий Владимирович, научный сотрудник, ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»; 163062, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Никитова, 13

Наквасина Елена Николаевна, д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»; 163062, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Никитова, 13; тел.: (8182) 61–79–55;

профессор, профессор кафедры лесоводства и лесоустройства Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»; 163002, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, 17; e-mail: e.nakvasina@narfu.ru

Романов Евгений Михайлович, канд. с.-х. наук, научный сотрудник, ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»; 163062, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Никитова, 13; тел.: (8182) 61–79–55; доцент кафедры лесоводства и лесоустройства Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»; 163002, Российская Федерация, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, 17; e-mail: RomanovE.M@yandex.ru

Information about the authors

Nadezhda A. Demina, CSc (Agr), Senior Research Associate, Northern Research Institute of Forestry (13 Nikitova St., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; phone: (182) 61–79–55; e-mail: monitoringlesov@sevniilh-arh.ru)

Olga N. Tyukavina, DSc (Agr), Leading Research Associate, Northern Research Institute of Forestry (13 Nikitova St., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; phone: (182) 61–79–55); Professor, Associate Professor at the Department of Botany, General Ecology and Environmental Management, Higher School of Natural Sciences and Technology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (17 Severnoy Dviny St., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: o.tukavina@narfu.ru)

Vasily V. Voronin, Research Associate, Northern Research Institute of Forestry (13 Nikitova St., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation)

Elena N. Nakvasina, DSc (Agr), Leading Research Associate, Federal Budgetary Institution Northern Research Institute of Forestry (13 Nikitova St., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation); Professor, Professor at the Department of Forestry and Forestry Management, Higher School of Natural Sciences and Technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (17 Severnoy Dviny St., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; phone: (182) 61–79–55; e-mail: e.nakvasina@narfu.ru)

Evgeniy M. Romanov, CSc (Agr), Research Associate, Northern Research Institute of Forestry (13 Nikitova St., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation); Associate Professor at the Department of Forestry and Forestry Management, Higher School of Natural Sciences and Technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (17 Severnoy Dviny St., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; phone: (182) 61–79–55; e-mail: RomanovE.M@yandex.ru)

ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ
ПЛОДОВ *JUGLANS REGIA* L. С ЛАТЕРАЛЬНЫМ ТИПОМ ПЛОДОНОШЕНИЯ
В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ РОССИИ

А.В. ЗУБКОВ, В.В. АНТОНЕНКО, Е.Г. САМОЩЕНКОВ

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Исследования проводились на территории УНПЦ садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна в отделе плодовых культур ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, в течение 2021–2023 гг. В течение трех лет проведена оценка цветения и плодоношения *Juglans regia* L. Высоким потенциалом адаптации характеризуются растения *J. regia* с латеральным типом плодоношения, которому присуще формирование женских цветков в большинстве пазушных почек прироста текущего года. Выявление особенностей фенологии цветения *J. regia* с учетом особенностей природно-климатического характера позволяет установить лучшие формы и определить наиболее оптимальные условия температурного режима. Учет фенологических фаз показал существенные различия между формами *J. regia* по времени наступления и продолжительности. Существенным фактором снижения завязываемости плодов является систематическое повреждение мужских, женских цветков и побегов возвратными заморозками. Наиболее высокая устойчивость к возвратным заморозкам отмечена у формы с поздним распусканием листьев – 1.26КСК. Выявлено неодновременное распускание мужских и женских цветков *J. regia*. У 70% изучаемых форм наблюдалось явление протогинии, при этом разница в распускании мужских и женских цветков составила от 1 до 10 дней. Плоды имеют высокую амплитуду изменчивости. В ходе исследований выявлено, что на одном растении форма и величина плода являются постоянными.

Ключевые слова: *Juglans regia* L., орех грецкий, орехоплодные культуры, латеральный тип плодоношения.

Введение

В последние два десятилетия, с повышением среднесуточных температур воздуха, в средней полосе России появилась возможность возделывать ряд малораспространенных орехоплодных культур с высоким адаптационным потенциалом [1], среди которых наиболее высокую пищевую ценность имеет *Juglans regia* L., относящийся к роду *Juglans* L.

Несмотря на высокие требования *J. regia* к условиям светового и теплового режимов, в практическом садоводстве единичные растения можно встретить значительно севернее естественного ареала произрастания, в том числе в регионах Центрального федерального округа. Как правило, культивируемые растения *J. regia* в регионах севернее г. Воронежа приобретают форму сильнорослых кустов с 3–6 стволами, что объясняется их недостаточной зимостойкостью. Высоким адаптационным потенциалом обладают растения *J. regia* с латеральным типом плодоношения с обязательным

отбором на высокую устойчивость к неблагоприятным факторам зимнего периода времени.

Латеральное плодоношение является одним из наиболее существенных признаков при отборе перспективных форм. Для данного типа плодоношения характерно формирование женских цветков в апикальных, приапикальных и большинстве пазушных почек прироста текущего года [2]. Кроме того, растения с доминирующим плодоношением на боковых побегах текущего года характеризовались высокой степенью скороплодности, первые плоды у форм 1.36, 3.2, 3.3 формировались на 2–3 годы. С учетом регулярных повреждений апикальных и приапикальных почек в зимний период латеральный тип плодоношения позволяет получить полноценные плоды с высоким выходом ядра в условиях наиболее благоприятных районов средней полосы России.

J. regia биологически является однодомным растением с разнополыми цветками. Мужские соцветия собраны в удлиненные сережки. Женские цветки располагаются на однолетней древесине, группами, у растений с латеральным типом плодоношения.

Исследование особенностей фитофенологических фаз *J. regia* разного эколого-географического происхождения позволяет произвести отбор наиболее устойчивых к абиотическим факторам растений, которые представляют интерес для эффективного использования генетико-типичного потенциала, и в дальнейшем сделает возможным их использование в создании высокопродуктивных насаждений ореха грецкого в различных условиях Нечерноземной зоны средней полосы России. Изучение фенологии цветения растений *J. regia* с учетом особенностей природно-климатического характера позволяет выявить лучшие формы и определить наиболее оптимальные условия температурного режима.

Цель исследований: изучение особенностей цветения и плодоношения перспективных латеральных форм *J. regia* L. в условиях Нечерноземной зоны средней полосы России.

Материал и методы исследований

В качестве биологических объектов исследований использовались многолетние насаждения ореха грецкого (*Juglans regia* L.) Отдела плодовых культур УНПЦ садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна на базе ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Растения получены путем посева орехов из Воронежской, Калужской, Московской, Тульской и Саратовской областей и ореха грецкого гибридизации 2018–2020 гг. (1.16КСК; 1.26КСК; 1.32КСК; 1.36; 3.2; 3.3), в отделе плодовых культур, привитые на сеянцы *J. regia*. В качестве родительских форм были использованы произрастающие в гибридном саду генотипы *J. regia*. Растения высажены на участках с высоким агротехническим фоном, на хорошо освещенных местах. Почвы на территории исследуемых насаждений дерново-подзолистые на подзолистом и моренном суглинке, среднесуглинистые. По данным агрохимического анализа, в пахотном слое почвы содержится: гумуса – 3,1% (по И.В. Тюрину [3]); азота – 1,51 мг; фосфора – 70,5 мг; калия – 2,2 мг на 100 г почвы; рН солевой вытяжки составляет 5,9.

Фенологические наблюдения производились по общепринятым методикам [4–7]. При оценке цветения использовалась глазомерно-фенологическая шкала оценки цветения Каппера в баллах [8], где 0 – цветения нет; 5 – очень хорошее цветение. Учет женских цветков на латеральных побегах производился на 10 ветвях, отобранных случайным образом.

Статистическую обработку данных производили с использованием программ StatSoft Statistica 10.0.1011 и Microsoft Office Excel 2019.

Результаты и их обсуждение

Прохождение растениями *J. regia* фенологических фаз развития является различным и зависит от конкретных экологических, природно-климатических условий [8–16]. Учет фенологических фаз в 2021–2023 гг. показал существенные различия между формами по времени наступления и продолжительности.

2021, 2022 и 2023 гг. были относительно благоприятными для роста и развития изучаемых растений *J. regia*. Для всех изучаемых форм *J. regia* характерно раннее, продолжительное и интенсивное сокодвижение, которое в условиях отдела плодовых культур начиналось в период с 10 февраля по 18 марта, окончание фиксировалось в период с 25 мая по 7 июня, то есть для изучаемых растений *J. regia* свойственны сокодвижение даже при отрицательных среднесуточных температурах и наличие снежного покрова.

Самое раннее распускание почек наблюдалось у формы 1.16КСК в 2021 г., на 6 дней позже *J. mandshurica*. Однако ряд форм *J. regia* в 2023 г. имел позднее распускание почек (18.05–20.05) и, соответственно, позднее разворачивание листа (06.06–07.06). Прямая корреляция между сроками начала распускания почек и массовым облиствением не установлена. Так, у ряда форм *J. regia*, которые характеризовались поздним началом распускания почек, наблюдалась высокая скорость массового облиствения.

У всех форм *J. regia* цветение происходило одновременно с распусканием листьев. Мужские цветки собраны в сложные соцветия сережки, размер которых имеет сильный разброс по длине (от 3–5 до 15–17 см) и диаметру (от 0,7–1,0 до 1,2–1,8 см). Минимальные значения признака соответствуют растениям, которые имели повреждения отрицательными температурами (рис. 1). У большинства растений с латеральным типом плодоношения женские цветки собраны в группы – от 3 до 22. Отмечено неодновременное распускание мужских и женских цветков (рис. 2).



Рис. 1. Мужские соцветия в период окончания цветения (06.06.2022 г.):
1–4 – *J. regia* формы 1.32КСК (1–2 – с повреждениями цветковых почек в зимний период времени);
5 – *J. nigra*; 6 – *J. mandshurica*



Рис. 2. Мужские цветки (окончание цветения) и женские цветки (начало цветения) *J. regia* формы 1.16КСК (05.06.2023 г.)

У 70% изучаемых форм наблюдалось явление протогинии, при этом разница в распускании мужских и женских цветков составила от 1 до 7 дней.

Для изучаемых форм с латеральным типом плодоношения характерны регулярные случаи самоопыления. Различия между формами зафиксированы по характеру и силе цветения. Наиболее раннее пыление отмечено в 2021 г. у формы 1.16КСК. Самое интенсивное пыление за период 2021–2023 гг. наблюдалось у формы 3.3 (рис. 3).

Цветение всех исследуемых форм *J. regia* происходило позже *J. mandshurica* на 10–30 дней. Один из наиболее существенных повреждающих факторов – повреждение мужских и женских цветков заморозками [16–21].

Более раннее цветение *J. mandshurica* в 2023 г. привело к повреждению побегов мужских и женских цветков на всех растениях, в результате чего плодоношение было единичным или отсутствовало полностью. Исследуемые формы *J. regia* с латеральным типом плодоношения за счет более позднего цветения и распускания листьев имели минимальные повреждения мужских соцветий и женских цветков, которые существенно не оказали влияния на силу и характер цветения. Развитие женских цветков происходило в период с 18.05 по 04.06. Продолжительность цветения составляла 3–10 дней (табл. 1).

На всех исследуемых формах *J. regia* наблюдалось вторичное цветение (рис. 4), при этом размер орехов и их форма имели существенные отличия.

В результате неполноценного опыления от 30 до 50% орехов, которые сформировались в результате вторичного цветения, имели плохую наполняемость ядром (12–30%) или характеризовались его полным отсутствием.

Плоды, формирующиеся после вторичного (летнего) цветения (рис. 5), имели небольшой размер, как правило, нехарактерной формы, масса ореха не превышала 3–5 г, что составляет около 20–35% от среднего размера орехов, соответствующей формы, образовавшихся после весеннего цветения.

Важное значение в подготовке растений ореха грецкого к зимнему периоду имеет окончание периода вегетации. У исследуемых растений период вегетации в 2021–2023 гг. находился в пределах 140...166 дней. В зависимости от погодных условий и общего состояния растений период листопада находился в интервале от 20 до 40 дней. Значительные отличия между формами установлены по срокам наступления листопада. Самые ранние сроки начала и окончания листопада – у формы 1.36 (20.09 и 01.10). Большинство форм имело более продолжительный и поздний листопад в сравнении с *J. mandshurica*.



Рис. 3. Мужские цветки *J. regia* формы 3.3 с закрытыми пыльниками (02.06.2023 г.)

**Календарные сроки цветения и плодоношения *J. regia*
в условиях УНПЦ садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва) (среднее за 2021–2023 гг.)**

| Вид (форма) | Сроки цветения | | | | Сила цве- тения, баллы | Сроки созревания плодов | |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------|
| | начало цветения | | окончание цветения | | | начало созревания | массовое созревание |
| | мужские цветки | женские цветки | мужские цветки | женские цветки | | | |
| <i>J. regia</i> 1.16КСК | 30.05– 03.06 | 02.06– 04.06 | 05.06– 07.06 | 04.06– 07.06 | 4 | 26.09– 30.09 | 29.09– 05.10 |
| <i>J. regia</i> 1.26КСК | 01.06– 03.06 | 30.05– 01.06 | 03.06– 07.06 | 02.06– 05.06 | 3 | 28.09– 30.09 | 01.10– 05.10 |
| <i>J. regia</i> 1.32КСК | 01.06– 04.06 | 29.05– 04.06 | 07.06– 10.06 | 05.06– 07.06 | 4 | 10.09– 25.10 | 15.09– 17.09 |
| <i>J. regia</i> 1.36 | 02.06– 05.06 | 01.06– 03.06 | 05.06– 11.06 | 03.06– 07.06 | 4 | 27.09– 29.09 | 30.09– 01.10 |
| <i>J. regia</i> 3.2 | 01.06– 02.06 | 01.06– 02.06 | 05.06– 07.06 | 04.06– 06.06 | 4 | 12.09– 28.09 | 18.09– 02.10 |
| <i>J. regia</i> 3.3 | 01.06– 03.06 | 30.05– 01.06 | 04.06– 07.06 | 03.06– 05.06 | 5 | 27.09– 01.10 | 30.09– 10.10 |
| <i>J. mandsh- urica</i> | 16.05– 24.05 | 18.05– 25.05 | 19.05– 02.06 | 22.05– 05.06 | 5 | 02.09– 10.09 | 07.09– 17.09 |



Рис. 4. Вторичное цветение *J. regia* формы 3.2 (25.06.2023 г.)



Рис. 5. Орехи *J. regia* форм 1.36 (вверху) и 3.2 (внизу); справа – орехи, сформированные в результате вторичного цветения (20.09.2023 г.)

Наибольшая амплитуда колебания сроков листопада характерна для форм 1.26КСК, 1.32КСК и 3.3, которая обусловлена периодическими повреждениями низкими отрицательными температурами в зимний период.

В отделе плодовых культур изучаемые формы *J. regia* не только цветут, но и плодоносят. Наиболее чувствительные к морозам – приросты текущего года, у всех форм наблюдается систематическое повреждение верхней части приростов в конце февраля – начале марта. Поэтому все формы с доминирующим образованием женских цветков из апикальных почек характеризуются полным отсутствием или единичным плодоношением. У растений с латеральным типом плодоношения в исследуемые годы плоды формировались по всей ветви, в верхней части латеральных побегов и имели ежегодное и стабильное плодоношение. Продолжительность формирования плодов таких ветвей составляет 3–7 лет и ограничивается сильными повреждениями отрицательными температурами в зимний период.

У изучаемых форм *J. regia* орех погружен в зеленую неопушенную или слабоопушенную оболочку различной формы: плоскоокруглой, округлой, овальной, овально-продолговатой, – которая не всегда соответствует форме ореха (рис. 6). В околоплоднике находится один свободно лежащий орех. Отмечены формы, в которых орехи размещены в околоплоднике по 2 шт. Эндокарпий твердый, деревянистый, легко раздавливаемый пальцами. Цвет эндокарпия варьирует от светло-коричневого до темно-коричневого. Поверхность скорлупы разнообразна: от морщинистой с бугорками до почти гладкой.

Плоды имеют высокую амплитуду изменчивости. Форма плода на одном растении преимущественно постоянна, величина также стабильна. Однако у некоторых форм (среди которых – 3.2, 3.3, 1.36КСК) зафиксированы сильные колебания по размеру, связанные с неудовлетворительными условиями перекрестного опыления. У формы 3.2 с овальным орехом в результате плохого опыления наблюдается изменение формы, которая является нехарактерной для данного растения: овально-продолговатой и яйцевидной.



Рис. 6. Формирование плода *J. regia* формы 1.32КСК (20.08.2021 г.)

По форме верхушки ореха выделены 3 типа:

1. Орех на верхушке имеет углубление, в котором находится короткий и острый носик.

2. Углубление и кончик небольшие.

3. Орех не имеет углубления, сразу суживается и переходит в острый кончик.

Основание ореха у различных форм имеет изменчивость. Нами выделены 4 формы основания:

1) с выемкой;

2) постепенно суживающееся;

3) широкое, округлое;

4) овальное.

Среднее количество плодов в кисти *J. regia* – 3 шт., максимальные значения – 20 шт. В годы с возвратными заморозками количество плодов в кисти сокращается до 1–5 шт. Массовое растрескивание околоплодников у разных форм *J. regia* происходило с 10.09 по 15.10.

Степень выполненности ореха является высокой. У всех изучаемых форм перегородки средне- и слаборазвитые, прерывистые, тонкие. Масса одного ореха составляет от 3 до 10 г; толщина скорлупы – от 0,9 до 2,8 мм. Отмечено, что формы с тонкой скорлупой более подвержены бактериозам, особенно в годы с интенсивными осадками в период формирования плода [22].

Наиболее крупный размер орехов – у формы 1.32КСК с максимальной длиной 39,7 мм, наполняемость ореха ядром высокая – 46,4%. Самый высокий выход ядра (47,2%) отмечен у формы 1.36, что выше соответствующего показателя *J. mandshurica* в 2,47 раза. Максимальный урожай ореха зафиксирован у форм 1.36 и 1.32КСК: 35 и 50 кг соответственно.

Для исследуемых форм *J. regia* с латеральным типом плодоношения характерна высокая степень соответствия фенологического ритма природно-климатическим условиям г. Москвы.

Таблица 2

**Морфологические признаки орехов в условиях УНПЦ садоводства
и овощеводства имени В.И. Эдельштейна РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева (г. Москва) (среднее за 2021–2023 гг.)**

| Вид (форма) | Показатель | Минимальное значение признака | Максимальное значение признака | M±m | Cv, % |
|----------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|-------|
| <i>J. regia</i> 1.16КСК | Длина ореха, мм | 30,2 | 35,7 | 30,5±1,93 | 15 |
| | Ширина ореха, мм | 21,0 | 28,8 | 24,2±1,1 | 14 |
| | Масса ореха, г | 5,9 | 20,0 | 13,9±1,5 | 35 |
| | Содержание ядра, % | 39,9 | 52,1 | 40,4±1,20 | 10 |
| <i>J. regia</i> 1.26КСК | Длина ореха, мм | 22,1 | 33,7 | 29,4±1,82 | 17 |
| | Ширина ореха, мм | 18,9 | 30,2 | 24,5±0,93 | 12 |
| | Масса ореха, г | 4,0 | 17,7 | 10,5±1,42 | 44 |
| | Содержание ядра, % | 33,2 | 50,1 | 45,4±1,12 | 15 |
| <i>J. regia</i> 1.32КСК | Длина ореха, мм | 20,1 | 39,7 | 31,7±1,82 | 32 |
| | Ширина ореха, мм | 18,8 | 34,8 | 24,8±1,10 | 13 |
| | Масса ореха, г | 6,3 | 19,7 | 15,1±1,51 | 39 |
| | Содержание ядра, % | 44,2 | 54,0 | 46,4±1,11 | 12 |
| <i>J. regia</i> 1.36 | Длина ореха, мм | 23,4 | 33,5 | 29,8±1,77 | 22 |
| | Ширина ореха, мм | 22,1 | 30,5 | 25,7±1,12 | 15 |
| | Масса ореха, г | 5,8 | 21,2 | 12,9±1,6 | 22 |
| | Содержание ядра, % | 45,8 | 50,1 | 47,2±1,13 | 10 |
| <i>J. regia</i> 3.2 | Длина ореха, мм | 24,3 | 35,7 | 29,2±1,41 | 31 |
| | Ширина ореха, мм | 21,2 | 29,3 | 22,7±0,85 | 11 |
| | Масса ореха, г | 6,1 | 15,4 | 11,3±1,61 | 38 |
| | Содержание ядра, % | 41,9 | 53,1 | 40,4±1,10 | 12 |
| <i>J. regia</i> 3.3 | Длина ореха, мм | 27,2 | 39,1 | 30,8±1,85 | 35 |
| | Ширина ореха, мм | 25,8 | 35,7 | 27,7±0,81 | 14 |
| | Масса ореха, г | 6,2 | 19,5 | 14,1±1,46 | 37 |
| | Содержание ядра, % | 40,9 | 54,4 | 45,4±1,32 | 12 |
| <i>J. mandshurica</i> | Длина ореха, мм | 31,8 | 40,6 | 34,7±1,21 | 10 |
| | Ширина ореха, мм | 22,8 | 30,3 | 25,3±0,67 | 9 |
| | Масса ореха, г | 5,7 | 10,1 | 8,5±0,33 | 13 |
| | Содержание ядра, % | 11,7 | 23,4 | 19,1±1,1 | 22 |

Выводы

1. Фенологический контроль развития генеративных побегов *J. regia* позволяет установить темпы развития форм в соответствии с особенностями природно-климатического характера.

2. Различия фитофенологических фаз среди форм *J. regia* являются непостоянными и во многом определяются агротехническим фоном, возрастом и условиями зимнего периода времени.

3. Главный фактор, определяющий основные колебания фитофенологических фаз среди изучаемых форм *J. regia*, – периодические повреждения низкими отрицательными температурами в зимний период.

4. Отбор растений *J. regia* высокозимостойких форм с латеральным типом плодоношения позволяет в значительной степени повысить адаптационный потенциал культуры и делает возможным получение высокопродуктивных насаждений в наиболее благоприятных районах Нечерноземной зоны средней полосы России.

Библиографический список

1. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia // International Journal of Economics and Financial Issues. – 2016. – Vol. 6, № S5. – Pp. 33–41.

2. Балапанов И.М., Луговский А.П. Латеральное плодоношение в селекции ореха грецкого // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2014. – № 27 (03). – С. 1–6.

3. Середя Н.А., Валеев В.М., Баязитова Р.И., Алибаев А.А. Практикум по агрохимии: Учебное пособие. – Уфа: БГАУ, 2004. – 115 с.

4. Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. – Новосибирск: Наука, 1974. – 155 с.

5. Шульц Г.Э. Общая фенология. – Л.: Наука, 1981. – 188 с.

6. Иваненко Б.И. Фенология древесных и кустарниковых пород. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 184 с.

7. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под общ. ред. Г.А. Лобанова. – Мичуринск: ВНИИС, 1973. – С. 49–87.

8. Наставление по лесосеменному делу. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 110 с.

9. Зубков А.В., Антоненко В.В., Индолов В.М. Хозяйственно-биологический потенциал видов рода *Juglans* L. в условиях средней полосы Европейской части России // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2 (61). – С. 68–75.

10. Sallom A., Fatahi R., Zamani Z. Morphological, phenological, and pomological diversity among 130 seed-propagated walnut (*Juglans regia*) trees and apomixis study in some selected genotypes // Erwerbs-Obstbau. – 2022. – Vol. 65, № 3. – Pp. 1–13. DOI: 10.1007/s10341-022-00695-6.

11. Корниенко П.С. Сравнительный анализ состояния и распространения ореха грецкого в мире, а также проблематика его возделывания в России // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2022. – № 29 (192). – С. 46–58.

12. Akca Y., Ozongun S. Selection of late leafing, late flowering, laterally fruitful walnut (*Juglans regia*) types in Turkey // New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. – 2004. – Vol. 32. – Pp. 337–342.

13. Супрун И.И., Аль-Накиб Е.А., Балапанов И.М., Степанов И.В., Томаков С.В., Авакимян А.О. Молекулярно-генетический анализ полиморфизма

и селекционная оценка местного генофонда ореха грецкого на юге России // Передовые исследования Кубани: Сборник материалов Ежегодной отчетной конференции грантодержателей Кубанского научного фонда. – Краснодар, 2023. – С. 175–179.

14. Сунрун И.И., Аль-Накиб Е.А., Семёнова М.Н. Оценка перспективных интродукционных форм ореха грецкого по комплексу хозяйственно-ценных признаков // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2022. – № 78 (6). – С. 219–234.

15. Сунрун И.И., Лободина Е.В., Аль-Накиб Е.А., Авакимян А.О. Поиск и оценка перспективных форм ореха грецкого в местных семенных популяциях Краснодарского края // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2023. – № 79 (1). – С. 45–59.

16. Solar A., Stampar F. Genotypic differences in branching pattern and fruiting habit in common walnut (*Juglans regia* L.) // Annals of Botany. – 2003. – Vol. 92, № 2. – P. 317.

17. Славский В.А., Чернышов М.П. Комплексная оценка зимостойкости ореха грецкого в Воронежской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2018. – № 224. – С. 37–50.

18. Славский В.А. Оценка зимостойкости видов орехов рода *Juglans* в Воронежской области // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 1 (33). – С. 85–93.

19. Зубков А.В., Индолов В.М., Антоненко В.В. Адаптивный потенциал видов рода *Juglans* L. в условиях средней полосы Европейской части России // Перспективы развития садоводства и садово-паркового строительства. – 2022. – № 2 (61). – С. 81–98.

20. Славский В.А., Николаев Е.А., Славская Е.А. Зависимость зимостойкости от фенологических особенностей местных форм и гибридов ореха грецкого в Воронежской области // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 1. – С. 68–70.

21. Ярмолич С.А., Козловская З.А. Оценка интродуцированных сортов ореха грецкого в условиях Центральной зоны Беларуси // Плодоводство: Сборник научных трудов. – Минск, 2017. – С. 131–135.

22. Зубков А.В., Антоненко В.М., Индолов В.М., Тиссен М.В. Поражаемость видов рода *Juglans* L. болезнями и вредителями в условиях Нечерноземья средней полосы России // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 1 (166). – С. 77–84.

FEATURES OF FLOWERING AND FRUIT FORMATION OF *JUGLANS REGIA* L. WITH THE LATERAL TYPE OF FRUITING IN THE CONDITIONS OF THE NON-CHERNOZEM REGION OF CENTRAL RUSSIA

A.V. ZUBKOV, V.V. ANTONENKO, E.G. SAMOSHCHENKOV

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*The research was carried out at the Department of Fruit Crops of the Educational, Scientific and Production Center of Horticulture and Vegetable Crops named after V.I. Edelstein of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy in Moscow in 2021–2023. Flowering and fruiting of *Juglans regia* L. were evaluated during three years. It was found that *J. regia* plants with the lateral type of fruiting, which is characterized by the formation of female flowers in most axillary buds of the current year's growth, have a high adaptive potential. The identification of the features of *J. regia* flowering phenology taking into account the peculiarities of the natural and climatic character allows to establish the best forms and determine the most optimal temperature conditions. The evaluation of the phenological phases showed significant differences between the *J. regia* cultivars in terms of the onset and duration of the phenological phases. A significant factor in reducing fruit set is systematic damage to male and female flowers and shoots by recurrent frost. The highest resistance to recurrent frost was observed in a number*

of forms with late leaf shooting: 1.26KSK. Unequal blooming of male and female flowers was revealed, the phenomenon of protogyny was observed in 70% of the studied forms, while the difference in blooming of male and female flowers ranged from 1 to 10 days. Fruits have a high amplitude of variability. The study showed that the shape and size of the fruit are constant on one plant.

Keywords: *Juglans regia* L., walnut, nut crops, lateral type of fruiting.

References

1. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2016;6(S5):33–41.
2. Balapanov I.M., Lugovskoy A.P. Lateral fruit bearing in the Persian walnut breeding. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2014;27(03):1–6. (In Russ.)
3. Sereda N.A., Valeev V.M., Bayazitova R.I., Alibaev A.A. *Workshop on agrochemistry*: textbook. Ufa, Russia: Bashkir State Agrarian University, 2004:115. (In Russ.)
4. Beideman I.N. *Methodology for studying the phenology of plants and plant communities*. Novosibirsk, USSR: Nauka, 1974:155. (In Russ.)
5. Shultz G.E. *General phenology*. Leningrad, USSR: Nauka, 1981:188. (In Russ.)
6. Ivanenko B.I. *Phenology of tree and shrub species*. Moscow, USSR: Sel'khozizdat, 1962:184. (In Russ.)
7. *Program and methodology for the study of varieties of fruit, berry and nut crops*. Ed. by G.A. Lobanov. Michurinsk, USSR: VNIIS, 1973:49–87. (In Russ.)
8. *Manual on forest seed production*. Moscow, USSR: Lesnaya promyshlennost', 1980:110. (In Russ.)
9. Zubkov A.V., Antonenko V.V., Indolov V.M. Economic and biological potential of species of *Juglans* L. in the conditions of the middle strip of the European part of Russia. *The Bulletin of Michurinsky State Agrarian University*. 2020;2(61):68–75. (In Russ.)
10. Sallom A., Fatahi R., Zamani Z. Morphological, phenological, and pomological diversity among 130 seed-propagated walnut (*Juglans regia*) trees and apomixis study in some selected genotypes. *Erwerbs-Obstbau*. 2022;65(3):1–13. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00695-6>
11. Kornienko P.S. Comparative analysis states and the spread of walnut in the world, as well as the problems of its cultivation in Russia. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2022;29(192):46–58. (In Russ.)
12. Akca Y., Ozongun S. Selection of late leafing, late flowering, laterally fruitful walnut (*Juglans regia*) types in Turkey. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2004;32:337–342.
13. Suprun I.I., Al-Nakib E.A., Balapanov I.M., Stepanov I.V., Tokmakov S.V., Avakimyan A.O. Molecular genetic analysis of polymorphism and selection assessment of the local walnut gene pool in the south of Russia. *Ezhegodnaya otchetnaya konferentsiya grantoderzhateley Kubanskogo nauchnogo fonda "Peredovye issledovaniya Kubani"*. Krasnodar, Russia: Kubanskiy nauchniy fond, 2023:175–179. (In Russ.)
14. Suprun I.I., Al-Nakib E.A., Semyonova M.N. Assessment of promising introduction forms of walnut based on a complex of economically valuable traits. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2022;78(6):219–234. (In Russ.)
15. Suprun I.I., Lobodina E.V., Al-Nakib E.A., Avakimyan A.O. Search and assessment of promising forms of walnut in local seed populations of the Krasnodar Territory. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2023;79(1):45–59. (In Russ.)

16. Solar A., Stampar F. Genotypic differences in branching pattern and fruiting habit in common walnut (*Juglans regia* L.). *Annals of Botany*. 2003;92(2):317.
17. Slavskiy V.A., Chernyshov M.P. Comprehensive assessment of walnut winter hardiness in the Voronezh region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*. 2018;224:37–50. (In Russ.)
18. Slavskiy V.A. Estimation of winter resistance of *Juglans* genus nuts in the Voronezh region. *Forestry Engineering Journal*. 2019;9(1(33)):85–93. (In Russ.)
19. Zubkov A.V., Indolov V.M., Antonenko V.V. Adaptive potential of species of the genus *Juglans* L. in the conditions of the central zone of the European part of Russia. In: *Prospects for the development of horticulture and landscape construction*. Moscow, Russia: OOO “Megapolis”, 2022;2(61):81–98. (In Russ.)
20. Slavsky V.A., Nikolaev E.A., Slavskaya E.A. Dependence of winter hardiness from phenological characteristics of local forms and hybrids of European walnut in the Voronezh region. *Forestry Engineering Journal*. 2013;1:68–70. (In Russ.)
21. Yarmolich S.A., Kazlouskaya Z.A. Assessment of introduced walnut varieties in the conditions of the central zone of Belarus. *Fruit Growing*. 2017;29(1):131–135. (In Russ.)
22. Zubkov A.V., Antonenko V.M., Indolov V.M., Thiessen M.V. Infection of species of the genus *Juglans* L. by diseases and pests under the conditions of the Non-Black Earth of the Middle land of Russia. *Bulletin of KSAU*. 2021;1(166):77–84. (In Russ.)

Сведения об авторах

Зубков Александр Валерьевич, канд. экон. наук, доцент кафедры плодородства, виноградарства и виноделия, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (910) 450–51–00; e-mail: a.zubkov@rgau-msha.ru

Антоненко Виктор Владимирович, канд. биол. наук, ведущий агроном УНКЦ «Агроэкология пестицидов и агрохимикатов», Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (916) 277–74–45; e-mail: antonenko_viktor@mail.ru

Самошников Егор Григорьевич, канд. с.-х. наук, доцент кафедры плодородства, виноградарства и виноделия, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–16–16; e-mail: samoshnikov@rgau-msha.ru

Information about the authors

Aleksandr V. Zubkov, CSc (Econ), Associate Professor at Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (910) 450–51–00; e-mail: a.zubkov@rgau-msha.ru)

Viktor V. Antonenko, CSc (Bio), Leading Agronomist at ESCC “Agroecology of Pesticides and Agrochemicals”, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (916) 277–74–45; e-mail: antonenko_viktor@mail.ru)

Egor G. Samoshnikov, CSc (Agr), Associate Professor at Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–16–16; e-mail: samoshnikov@rgau-msha.ru)

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ВИДОВ *VERBASCUM* В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Л.А. ПРИХОДЬКО¹, О.А. СОРОКОПУДОВА²

(¹Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения РАН;

²Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений)

Представляет научно-практический интерес возможность интродукции видов коровяков как относительно неприхотливых растений в Центральную Якутию с резко континентальным и недостаточным увлажнением для выявления их биологического потенциала и возможности использования в качестве декоративных и лекарственных растений. Цель работы – выявление особенностей ритмов развития некоторых видов рода *Verbascum* в условиях многолетней мерзлоты Центральной Якутии. Объектом исследований являлись 11 образцов видов *V. chaixii* subsp. *austriacum*, *V. densiflorum*, *V. nigrum*, *V. nigrum* subsp. *abietinum*, *V. phoeniceum* и *V. thapsus*. Материал был получен в виде семян в 2018–2021 гг. из учреждений России, Дании, Румынии и Польши. Семена первого образца *V. phoeniceum* сеяли в теплице, полученную рассаду пересаживали в полевую коллекцию. Остальные семена высевали во второй половине сентября в открытый грунт. Зимовка растений проходила под снегом без дополнительного укрытия. Фенологические фазы в условиях Центральной Якутии по календарным срокам наступали на 3–4 недели позже, чем в средней полосе России; окончание вегетационного периода ограничивалось наступлением осенних заморозков. По результатам интродукции в Центральную Якутию выявлена высокая устойчивость в культуре видов *V. phoeniceum*, *V. nigrum*, *V. nigrum* subsp. *abietinum*, *V. chaixii* subsp. *austriacum* и *V. thapsus*. При осеннем посеве семян растения этих видов массово зацветают на второй год, за исключением *V. chaixii* subsp. *Austriacum*, с обильным цветением и в первый год вегетации, продолжительно цветут и формируют спелые семена. Эти виды являются высокодекоративными и могут быть рекомендованы для включения в ассортимент декоративных травянистых растений для Центральной Якутии, причем *V. thapsus* перспективен и как лекарственное растение. Растения *V. densiflorum* развивались как однолетники, не успевая сформировать спелые семена. Для использования *V. densiflorum* в качестве декоративных или лекарственных растений необходим рассадный период.

Ключевые слова: *Verbascum*, виды, культивирование, цветение, плодоношение, семенное размножение, Центральная Якутия.

Введение

Род Коровяк (*Verbascum* L.) из семейства Норичниковых (*Scrophulariaceae* Juss.), по современным данным ресурса The World Flora Online, насчитывает 724 вида. В средней полосе России произрастают 8 видов: *V. blattaria* L. (К. тараканий), *V. chaixii* Vill. (К. Ше), *V. densiflorum* Bertol. (К. густоцветковый, или высокий), *V. lychnitis* L. (К. метельчатый, или мучнистый), *V. nigrum* L. (К. черный), *V. phlomoides* L. (К. мохнатый), *V. phoeniceum* L. (К. фиолетовый), *V. thapsus* L. (К. обыкновенный, Медвежье ухо), а также 3 межвидовых гибрида – *V. × biebersteinii*, *V. × collinum* и *V. × rubiginosum*; растения этих видов чаще встречаются на песчаных почвах. Это главным образом евроазиатские виды, но в суровых условиях континентальной Северной Азии (1–2 зоны зимостойкости по классификации USDA) не встречаются *V. chaixii* и *V. densiflorum*. Ареалы видов *V. blattaria*, *V. Lychnitis*, *V. phlomoides* и *V. phoeniceum* ограничены Западной Сибирью, виды *V. nigrum* и *V. thapsus* распространены и в Восточной Сибири (Красноярский край, Иркутская обл.) [29; 37; 44]. В XXI в. вид *V. nigrum* отмечен и во флоре Якутии (Центральная Якутия, г. Якутск) как натурализовавшийся вид [10; 26]. На границах ареалов

виды коровяков включены в региональные Красные книги России. Например, вид *V. densiflorum* включен в Красные книги Калужской и Саратовской областей, *V. phoeniceum* – в Красные книги Белгородской, Курской, Московской, Нижегородской, Тамбовской, Тюменской областей, Республик Крым, Мордовия, Чувашия [35].

По продолжительности жизни вышеупомянутые виды относят к монокарпическим однолетникам или двулетникам (*V. densiflorum*, *V. phlomoides*), двулетникам (*V. thapsus*), двулетникам или многолетникам (*V. chaixii*, *V. lychnitis* и *V. nigrum*, из них *V. nigrum* – к факультативным поликарпикам) и поликарпическим многолетникам (*V. phoeniceum*) [8; 27; 31; 44]. В условиях российского Дальнего Востока уточнены жизненные формы некоторых видов коровяков: *V. thapsus* отнесен к моноподиально нарастающим 1–2-летним стержнекорневым монокарпикам с полурозеточными прямостоячими побегами, *V. nigrum* и *V. phlomoides* – к симподиально нарастающим стержнекорневым поликарпикам с полурозеточными прямостоячими побегами [4].

В настоящее время актуальным является привлечение в городское озеленение для оформления придорожных полос, наравне с интродуцированными видами [3; 13; 16–25; 32; 33], красивоцветущих дикорастущих представителей местной флоры [9; 11], включая коровяки [2; 7; 36]. Виды коровяков привлекательны за счет обильного и продолжительного цветения, высоких многоцветковых соцветий. Повсеместно проводится изучение их устойчивости в искусственных фитоценозах. При культивировании в условиях Центрального Нечерноземья выявлены наиболее устойчивые к задернению и режиму переменного увлажнения виды коровяков – *V. chaixii* и *V. nigrum*; вид *V. thapsus* определен как регулярно возобновляемый, но с периодически резким снижением численности [28]; установлена недолговечность вида *V. phoeniceum* [12]; вид *V. densiflorum* рекомендован для озеленения крыш [6]. Выявлена фиторегуляторная активность раствора вербаскозидов, полученного из надземной части *V. densiflorum*, при предпосевной обработке семян овощных культур [5].

Особую ценность представляют коровяки, широко используемые в медицине, – такие, как *V. densiflorum* и *V. thapsus*. Цветки, семена, надземная часть *V. densiflorum* содержат полисахариды, сапонины, эфирные масла, иридоиды и флавоноиды. Листья, надземная и подземная части *V. thapsus* – иридоиды и стероиды. Эти части растений обладают противомикробным действием и применяются при воспалениях верхних дыхательных путей и суставов, желудочно-кишечных и других заболеваниях [1; 34; 41]. В разных странах мира в качестве лекарственных растений используются и другие виды коровяков с ценным фитохимическим составом. Так, виды *V. boerhavia* L., *V. creticum* (L.) Cav., *V. dentifolium* Delile, *V. giganteum* Willk., *V. phlomoides*, *V. pulverulentum* Vill., *V. rotundifolium* Ten., *V. sinuatu* L. и *V. virgatum* Stokes Murb. используются в народной медицине Испании [40]. Разрабатывается рецептура раствора для полоскания рта с экстрактами *Salvia officinalis* и *V. phlomoides* [43]. Выявлены антиоксидантные, противовоспалительные и гепатопротекторные свойства экстрактов у *V. nubicum* Murb. [42].

Группой исследователей выполнен обзор литературы по использованию в медицине видов Азии: *V. cheiranthifolium* Boiss., *V. songaricum* Schrenk ex Fisch. & С.А. Меу. и *V. speciosum* Schrad, произрастающих и в Иракском Курдистане. Выявлены активные вещества у цветков *V. calvum* Boiss. & Kotschy, обуславливающие традиционное применение из них средств для лечения ожогов и воспалений кожи [39].

Представляет научно-практический интерес возможность интродукции видов коровяков как относительно неприхотливых растений в Центральную Якутию с резко континентальным климатом (1 USDA – зона зимостойкости) (табл. 1) и недостаточным увлажнением для выявления их биологического потенциала и возможности использования в качестве декоративных и лекарственных растений в сравнении со средней полосой России (3–5 USDA – зоны зимостойкости).

Цель исследований: выявление особенностей ритмов развития некоторых видов рода *Verbascum* в условиях многолетней мерзлоты Центральной Якутии (г. Якутск).

Температура воздуха в период календарной зимы в г. Якутске, 2018–2023 гг.

| Температура воздуха, °С | Год | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Декабрь | | | | | | |
| Минимальная | –42,0 | –46,8 | –48,7 | –48,3 | –48,7 | –46,4 |
| Среднемесячная | –33,5 | –38,2 | –38,5 | –38,2 | –37,4 | –36,1 |
| Январь | | | | | | |
| Минимальная | –47,3 | –43,4 | –43,6 | –51,2 | –45,6 | –51,9 |
| Среднемесячная | –37,1 | –35,7 | –32,2 | –44,5 | –35,9 | –43,8 |
| Февраль | | | | | | |
| Минимальная | –43,0 | –41,0 | –42,5 | –45,6 | –39,7 | –45,3 |
| Среднемесячная | –32,9 | –30,4 | –28,1 | –32,6 | –30,2 | –33,7 |

Примечание. Использованы данные ресурса «Погода и климат» [10].

Материал и методы исследований

Объектом исследований являлись инорайонные для Якутии виды коровяков: *V. chaixii* subsp. *austriacum* (Schott ex Roem. & Schult.) Hayek, *V. densiflorum*, *V. nigrum* subsp. *abietinum* (Borbás) I.K. Ferguson, *V. phoeniceum*, *V. thapsus*, а также *V. nigrum*. Данные виды введены в культуру открытого грунта Якутского ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (ЯБС) впервые. Материал был получен в виде семян (табл. 2).

Семена первого образца *V. phoeniceum* высевали 13 февраля разбросом в небольшой деревянный ящик в теплице. Появление массовых всходов отмечено 21 февраля. Через месяц при появлении первого настоящего листа растения пикировали в пленочные стаканчики высотой 10 см и диаметром 12 см; в открытый грунт пересаживали с 20 июня, после исчезновения угрозы возвратных заморозков.

Семена остальных образцов коровяков сеяли сразу на постоянное место, осенью, в приподнятые гряды, с третьей декады сентября. Предпосевная подготовка почвы заключалась в тщательной перекопке земли на глубину штыка лопаты и в очистке ее от сорняков. При перекопке вносили перегной и речной песок. Посев был поверхностным, так как семена коровяков очень мелкие. Так, по данным Т.А. Ягонцевой [38], в условиях Пермской области масса 1000 шт. семян *V. thapsus* составляет 0,079 г; *V. densiflorum* – 0,087 г; *V. nigrum* – 0,103 г. Посев семян проводили по пролитой почве двумя способами: ленточным с шириной ленты 10–12 см и междурядьями 25–30 см, а также разбросом с последующим укрытием небольшим слоем речного песка (рис. 1). Все семена высевали с небольшим загущением без последующего прореживания.

Происхождение семян образцов *Verbascum* в ЯБС

| Вид, подвид | Номер и дата получения образца | Место получения образца |
|--|--------------------------------|--|
| <i>V. phoeniceum</i> | № 1.1, 2018 г. | Агрокомпания «Седек», г. Москва |
| | № 1.2, 2019 г. | Ботанический сад Пермского государственного университета, г. Пермь |
| <i>V. nigrum</i> | № 2.1, 2018 г. | Ботанический сад Университета Копенгагена, Дания |
| | № 2.2, 2019 г. | Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург |
| | № 2М, 2022 г. | Семена местной репродукции, г. Якутск |
| <i>V. nigrum</i> subsp. <i>abietinum</i> | № 3, 2018 г. | Ботанический сад Василе Фати Института биологических исследований, г. Джибу, Румыния |
| | № 3М, 2021 г. | Семена местной репродукции, г. Якутск |
| <i>V. chaixii</i> subsp. <i>austriacum</i> | № 4, 2021 г. | Арборетум, г. Пшемысль, Польша |
| | № 4М, 2022 г. | Семена местной репродукции, г. Якутск |
| <i>V. densiflorum</i> | № 5, 2021 г. | Арборетум, г. Пшемысль, Польша |
| <i>V. thapsus</i> | № 6, 2021 г. | Клюквинская школа-интернат, г. Курск |



Рис. 1. Массовые всходы *Verbascum nigrum* при ленточном посеве семян (июнь 2023 г.)

Растения в коллекции произрастают в открытом грунте, зимуют под снегом без дополнительного укрытия. Почва интродукционного участка мерзлотная лугово-черноземная с многолетним сроком агротехнической эксплуатации. В начале вегетации сеянцев первого года жизни проводили полив в утренние и вечерние часы, осуществляли рыхление поверхностного слоя почвы, удаляли сорняки. Позже, после разрастания розеточных побегов, полив сокращали до трех раз в неделю. Осенью побеги срезали, оставляя снизу 5–8 см.

В январе 2021 г. были зафиксированы минимальные температуры воздуха за годы исследований: абсолютный минимум температур до $-51,9^{\circ}\text{C}$ и среднемесячная температура до $-44,5^{\circ}\text{C}$ (табл. 1). Показатели температуры воздуха приведены по данным ресурса «Погода и климат» в г. Якутске [14]. Фенологические наблюдения проводили по методике фенологических наблюдений в ботанических садах СССР [30].

Результаты и их обсуждение

При осеннем посеве появление всходов у всех образцов корвяков в следующем году наступало при стабильном переходе среднесуточных температур воздуха через $16...18^{\circ}\text{C}$ в первой пентаде июня. Развитие молодых растений происходило очень медленно и неравномерно – вероятно, вследствие недружного прорастания семян. Период от начала отрастания до начала бутонизации длился 35–55 суток. Весеннее отрастание побегов со второго года вегетации корвяков наблюдали раньше: при стабильном переходе температур воздуха через $5-8^{\circ}\text{C}$, со второй декады мая. Период от начала бутонизации до начала цветения длился около 20 суток.

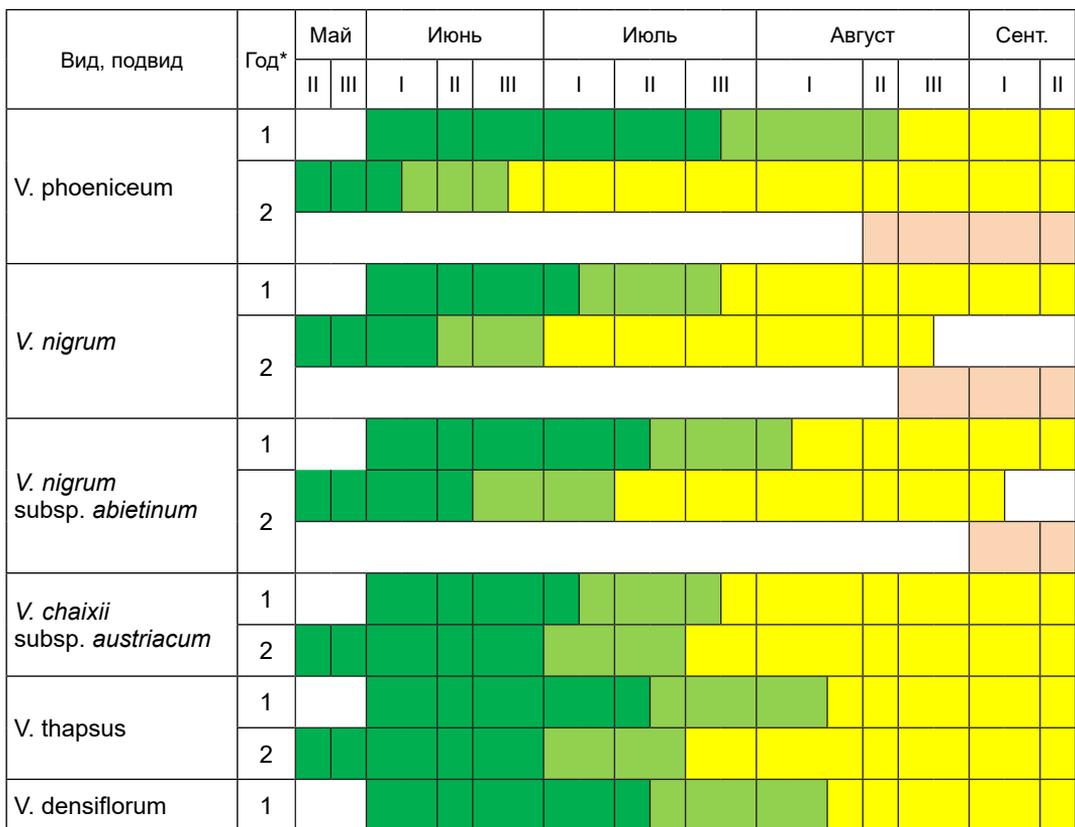
У всех изученных видов корвяков при осеннем посеве семян цветение наблюдалось в первый год вегетации, но лишь у единичных растений. Исключение составили образцы вида *V. chaixii* subsp. *austriacum* и образцы из семян местной репродукции *V. nigrum* (№ 2М) и *V. nigrum* subsp. *abietinum* (№ 3М) с дружным и обильным цветением у однолетних сеянцев. У вида *V. chaixii* subsp. *austriacum* также отмечено минимальное различие между сроками начала зацветания однолетних и двулетних растений в отличие от других видов. У *V. phoeniceum*, *V. nigrum*, *V. nigrum* subsp. *abietinum* и *V. chaixii* subsp. *austriacum* во второй и последующие годы растения начинали зацветать раньше, чем в первый год, в конце июня – конце июля, последовательно, в порядке их перечисления. У большинства сеянцев видов *V. nigrum* subsp. *abietinum* и *V. thapsus* побеги зацветали на второй год во второй и третьей декадах июля соответственно (рис. 2, 3) и к следующему году отмирали, то есть развивались как двулетники. Позже, с первой декады августа, начинали зацветать однолетние побеги *V. densiflorum* у единичных сеянцев; двулетние побеги растений этого вида, не зацветшие в предыдущем году, отрастали, но к началу лета погибали. Этот вид можно культивировать в местных условиях как однолетник с использованием утепленного грунта до середины июня или посадкой рассадой.

Большинство изученных видов корвяков отличалось интенсивным и длительным (более 50–60 суток) цветением. У *V. phoeniceum* в отдельные годы отмечена прерывистость цветения в связи с особенностями ветвления побегов и зацветания соцветий: первое, более интенсивное и короткое, длилось от 10 до 13 суток; второе, более слабое и продолжительное, – до 52 суток.

Период цветения у однолетних сеянцев всех изученных видов корвяков длился до конца вегетационного периода, ограниченного ранними осенними заморозками в первой половине сентября, как и у сеянцев более старшего возраста *V. phoeniceum*, *V. chaixii* subsp. *austriacum*, *V. thapsus*. У образцов *V. nigrum*, *V. nigrum* subsp. *abietinum* 2–4-летние сеянцы отцветали раньше, до заморозков, в конце августа – начале сентября. У образца подвида *V. nigrum* subsp. *abietinum* цветение и плодообразование начинались на декаду позже, чем у образцов *V. nigrum*. В полевых условиях до заморозков семена начинали созревать и рассеиваться из раскрывшихся коробочек через 45–50 суток после начала цветения у наиболее ранцветущих видов: *V. phoeniceum*, *V. nigrum* и *V. nigrum* subsp. *abietinum*. У *V. nigrum* и *V. nigrum* subsp.

abietinum фиксировали многочисленный самосев. Для получения жизнеспособных семян побеги с невскрывшимися плодами срезали до заморозков и дозаривали в лабораторных условиях до начала октября (рис. 4). За период наблюдений в фазу образования спелых семян, включая дозаривание в срезке, вступили все образцы, кроме *V. densiflorum*. Повреждение растений вредителями и болезнями в годы наблюдений не отмечено.

По сравнению со средней полосой России в условиях Центральной Якутии цветение и плодообразование начинались на 3–4 недели позже [8; 29] – очевидно, в связи с более поздним началом вегетационного периода. Так, в Москве среднемесячные температуры апреля и мая составляют 6,9 и 13,6°C соответственно, в Якутске в мае – лишь 8,0°C; среднемесячные даты схода снежного покрова в Москве наблюдается в первой декаде апреля, в Якутске – в начале мая [14]. Сумма температур в июне-июле отличается незначительно в этих городах, но в августе в Якутске начинается заметное снижение температуры воздуха и переход к короткому бесснежному осеннему периоду (табл. 3). В сентябре вегетация ограничивается осенними заморозками ниже –2°C, которые чаще наблюдаются около середины сентября.



*Год после осеннего посева семян: 1 – первый; 2 – второй (у двулетника *V. thapsus*) и последующие (у многолетников).

Примечание.

■ – всходы, отрастание побегов, вегетация; ■ – бутонизация;
 ■ – цветение; ■ – созревание семян

Рис. 2. Феноспектры видов рода *Verbascum* в 2020–2023 гг.



а



б



в



г



д



е

Рис. 3. Цветение *Verbascum* в условиях ЯБС (г. Якутск), 2023 г.:
а – *V. phoeniceum*; б – *V. nigrum*; в – *V. nigrum* subsp. *abietinum*;
г – *V. chaixii* subsp. *austriacum*; д – *V. thapsus*; е – коллекция коровяков



Рис. 4. Плоды и семена *Verbascum phoeniceum*, сентябрь 2023 г.

**Среднегодовое температуры летне-осеннего периода
в г. Москве и г. Якутске, °С**

| Месяц | Москва | | Якутск | |
|----------|----------------|--------|----------------|--------|
| | Среднемесячная | Сумма | Среднемесячная | Сумма |
| Июнь | 17,3 | 519 | 17,0 | 510 |
| Июль | 19,7 | 610,7 | 19,9 | 616,9 |
| Август | 17,6 | 545,6 | 15,6 | 483,6 |
| Сумма | - | 1675,3 | - | 1610,5 |
| Сентябрь | 11,9 | - | 6,4 | - |
| Октябрь | 5,8 | - | -6,9 | - |

В годы исследований наиболее устойчивыми к внешним факторам, с перезимовкой без дополнительного укрытия, длительно цветущими и высокодекоративными оказались все образцы видов *V. phoeniceum*, *V. nigrum*, *V. nigrum* subsp. *abietinum*, *V. chaixii* subsp. *austriacum*, *V. thapsus*. Растения *V. densiflorum* развивались как однолетники, не успевая сформировать спелые семена. Для успешного культивирования *V. densiflorum* необходим рассадный период.

Выводы

По результатам интродукции в Центральную Якутию выявлена высокая устойчивость в культуре видов *V. phoeniceum*, *V. nigrum*, *V. nigrum* subsp. *abietinum*, *V. chaixii* subsp. *austriacum*, *V. thapsus*. Эти виды зимуют в открытом грунте без дополнительного укрытия; при осеннем посеве семян растения массово зацветают на второй год, за исключением *V. chaixii* subsp. *austriacum* с обильным цветением и в первый год вегетации; формируют спелые семена (цветущие со второй половины июля – на срезанных до наступления осенних заморозков побегах); продолжительно цветут. *V. nigrum* и *V. nigrum* subsp. *abietinum* образуют самосев. Фитопатогены отмечены не были. Большинство сеянцев *V. nigrum* subsp. *abietinum* и *V. thapsus* развивались как двулетники, остальные – как многолетники.

Установлено, что наступление фенологических фаз по календарным срокам отстает от сроков в средней полосе России на 3–4 недели; период цветения большинства изученных видов ограничен ранними осенними заморозками. Продолжительность плодообразования у корвяков длилась 45–50 суток. Растения *V. densiflorum* развивались как однолетники, не успевая сформировать спелые семена. Для использования *V. densiflorum* в качестве декоративных или лекарственных растений необходим рассадный период. Все остальные изученные виды являются высокодекоративными и могут быть рекомендованы для включения в ассортимент декоративных травянистых растений для Центральной Якутии, *V. thapsus* перспективен и как лекарственное растение.

Работа выполнена в рамках госзадания ИБПК СО РАН по проекту «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (FWRS-2021-0023; гос. рег. № в ЕГИСУ: АААА-А21-121012190038-0) и темы НИР ФГБНУ ВИЛАР № FGUU-2022-0009.

Библиографический список

1. Атлас лекарственных растений России / Отв. ред. Н.И. Сидельников. – М.: Наука, 2021. – 646 с.
2. Бабкова А.С. Особенности цветочного оформления городских зон Кольского Заполярья // Вестник науки и образования. – 2018. – Т. 1, № 5. – С. 26–27. DOI: 10.20861/2312-8089-2018-41-002.
3. Батуль А., Козлова Е.А. Влияние сроков посева семян сортов газании (*Gazania L.*) на некоторые ее показатели // Сб. ст. Междунар. науч. конференция молодых ученых и специалистов, посв. 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. – М., 2023. – С. 28–32.
4. Безделев А.Б., Безделева Т.А. Жизненные формы семенных растений российского Дальнего Востока: справочник. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 296 с.
5. Боровская А.Д., Мащенко Н.Е., Иванова Р.А., Гуманюк А.В. Эффективность действия биорегуляторов из *Verbascum densiflorum* Bertol. на процессы развития овощных культур // Овощи России. – 2020. – № 5. – С. 54–59. DOI: 10.18619/2072-9146-2020-5-54-59.
6. Бочкова И.Ю., Тулуш М.Д. К вопросу об экстенсивном озеленении кровли // Лесной вестник. – 2020. – Т. 24, № 5. – С. 5–11. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-5-11.
7. Вознячук И.П., Власова А.Б., Степанович И.М., Годнева А.Т., Решетников В.Н. Формирование устойчивых придорожных растительных сообществ высокой ботанической и эстетической ценности: основные положения концепции и экспериментальное обоснование // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. – 2019. – Т. 64, № 2. – С. 238–254. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-2-238-254>.
8. Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С. и др. Иллюстрированный определитель растений Средней России. – Т. 2. Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Товарищество научных изданий КМК, Институт технологических исследований, 2013. – 665 с.
9. Девятайкина Д.С., Зубик И.Н., Сорокопудова О.А. Морфологические особенности сортов *Iris sibirica L.* в условиях г. Москвы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 6. – С. 62–66.
10. Захарова В.И., Кузнецова Л.В., Иванова Е.И. и др. Разнообразие растительного мира Якутии: монография. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. – 328 с.
11. Зубик И.Н. Использование генетических ресурсов при межвидовой гибридизации рода *Iris L.* // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – Вып. 285. – Ч. 1. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. – С. 193–196.
12. Кабанов А.В., Сорокопудов В.Н. Интродукция высокорослых декоративных растений степей Евразии в средней полосе России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 8. – С. 75–80.
13. Кирюшина Н.А., Орлова Е.Е. Ассортимент бордюрных георгин для использования в озеленении на территории Московской области // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2021. – № 26. – С. 45–48.
14. Климатический монитор. Погода и Климат. – 2018–2023. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php> (дата обращения: 21.01.2024).

15. Козлова Е.А. Использование торфяных таблеток Jiffy для выращивания рассады однолетних цветочных культур на примере петунии // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 291. – С. 585.
16. Козлова Е.А. Обзор новых гибридов f1 петунии от агрофирмы «Аэлинта» // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2019. – № 17. – С. 46–48.
17. Козлова Е.А. Оценка декоративности сортов маргаритки (*Bellis L.*) при выращивании в условиях Московской области // Актуальные вопросы биологии, селекции и агротехники садовых культур: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения акад. Г.И. Тараканова. – М., 2023. – С. 127–132.
18. Козлова Е.А. Сортоизучение некоторых представителей петунии гибридной (*Petunia × hybrida Vilm.*) // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2023. – № 34. – С. 30–33.
19. Козлова Е.А., Ахметова Л.Р. Оценка декоративности некоторых сортов бархатцев (*Tagetes L.*) при выращивании их в открытом грунте в условиях города Москвы // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2023. – № 34. – С. 27–29.
20. Козлова Е.А., Исачкин А.В. Обзор ассортимента гибридов петунии (*Petunia*) в городском и частном озеленении // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 283. – С. 759.
21. Козлова Е.А., Макаров С.С., Зубик И.Н., Орлова Е.Е., Кузнецова И.Б. Влияние некоторых компонентов субстратов на рост, развитие и декоративные признаки петунии гибридной (*Petunia × hybrida Vilm.*) [Электронный ресурс] / Е.А. Козлова, // Современное садоводство. – 2023. – № 4. – С. 156–164. DOI: 10.52415/23126701_2023_0415. – Режим доступа: <https://journal-vniispk.ru/pdf/2023/4/39.pdf> (дата обращения: 02.02.2024).
22. Кондратенко Ю.И. Использование циннии изящной *Zinnia elegans L.* в озеленении и на срезку // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2024. – № 37. – С. 55–58.
23. Кондратенко Ю.И., Демидова А.П., Орлова Е.Е. Изучение оранжерейной всхожести семян однолетних цветочных культур для выращивания на срез в условиях открытого грунта города Москвы // Сб. ст. Междунар. науч. конф. молодых ученых и специалистов, посв. 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. – М., 2023. – С. 69–72.
24. Кошелева Е.Д., Орлова Е.Е. Влияние условий выращивания на проявление декоративных признаков календулы лекарственной (*Calendula officinalis L.*) в условиях г. Москвы // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2022. – № 29. – С. 36–41.
25. Кошелева Е.Д., Орлова Е.Е. Сортоизучение календулы лекарственной (*Calendula officinalis L.*) в условиях г. Москвы // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2021. – № 25. – С. 37–41.
26. Конспект флоры Якутии. Сосудистые растения / Сост. Л.В. Кузнецова, В.И. Захарова. – Новосибирск: Наука, 2012. – 272 с.
27. Кулишова И.В. Мониторинг биоразнообразия дикорастущих лекарственных растений // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов. – 2022. – С. 14–18. DOI: 10.34755/IROK.2022.41.75.008.
28. Купцов С.В. Опыт реализации в Ботаническом саду МГУ экспериментального участка в парадигме современного экологического озеленения // Ботанические сады в современном мире. – 2023. – Вып. 3. – С. 111–114. DOI: 10.24412/cl-36595-2023-3-111-114.
29. Маевский П.Ф. Флора средней полосы Европейской части России. – Изд. 11-е. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 635 с.
30. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР // Бюллетень Главного ботанического сада. – 1979. – Вып. 113. – С. 3–8.

31. Олейникова Е.М. Биоморфологический анализ стержнекорневых трав (на примере Средней России и Южного Памиро-Алая) // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук. – 2019. – № 1. – С. 7–18.

32. Орлова Е.Е., Козлова Е.А., Зубик И.Н. Анализ изменчивости декоративных признаков рода *Dahlia* Cav. в однолетней культуре в условиях Московской области // АгроЭкоИнфо. – 2021. – № 6 (48). – Режим доступа: https://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st_604.pdf (дата обращения: 02.02.2024).

33. Орлова Е.Е., Крусанова О.Н. Влияние компонентов субстратов на качество рассады петунии при ограничении полива // Innovations in Life Sciences: сб. мат-лов IV Междунар. симп. – Белгород, 2022. – С. 128–129.

34. Попов П.Л. Виды растений, применявшиеся при туберкулезе легких: использование при других болезнях и распределение в филогенетической системе // Вестник «Биомедицина и социология». – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 69–82. DOI: 10.26787/nydha-2618-8783-2021-6-4-69-82.

35. Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. – Режим доступа: <https://www.plantarium.ru/> (дата обращения: 21.01.2024).

36. Сучкова А.А., Граница Ю.В. Использование сорных растений в декоративном садоводстве // Сельское хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 1–9. DOI: 10.7256/2453-8809.2019.4.33024.

37. Флора Сибири: В 14 т. – Т. 12. *Solanaceae – Lobeliaceae* / Сост. А.В. Положий, С.Н. Выдрина, В.И. Курбатский и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. – 208 с.

38. Ягонцева Т.А. Морфологические особенности семян трех видов коровяка (*Verbascum* L.) // Вестник Пермского университета. Серия «Биология». – 2005. – № 6. – С. 46–49.

39. Amin H.I.M., Hussain F.H.S., Gilardoni G., Thu Z.M., Clericuzio M., Vidari G. Phytochemistry of *Verbascum* Species Growing in Iraqi Kurdistan and Bioactive Iridoids from the Flowers of *Verbascum calvum* // Plants. – 2020. – Vol. 9, № 9. – P. 1066. <https://doi.org/10.3390/plants9091066>.

40. Blanco-Salas J., Hortigón-Vinagre M.P., Morales-Jadán D., Ruiz-Téllez T. Searching for scientific explanations for the uses of Spanish folk medicine: a review on the case of mullein (*Verbascum*, *Scrophulariaceae*) // Biology. – 2021. – Vol. 10, № 7. – P. 618. DOI: 10.3390/biology10070618.

41. Calabrese G., Zappalà A., Dolcimascolo A., Acquaviva R., Parenti R., Malfa G.A. Phytochemical analysis and anti-inflammatory and anti-osteoarthritic bioactive potential of *Verbascum thapsus* L. (*Scrophulariaceae*) leaf extract evaluated in two in vitro models of inflammation and osteoarthritis // Molecules. – 2021. – Vol. 26, № 17. – P. 5392. DOI: 10.3390/molecules26175392.

42. El Gizawy H.A.E.H., Hussein M.A., Abdel-Sattar E. Biological activities, isolated compounds and HPLC profile of *Verbascum nubicum* // Pharmaceutical biology. – 2019. – Vol. 57, № 1. – Pp. 485–497. DOI: 10.1080/13880209.2019.1643378

43. Marian E., Vicas L.G., Jurca T., Muresan M., Pallag A., Stan R.L., Sevastre B., Diaconeasa Z., Ionescu C.M.L., Hangan A.C. *Salvia officinalis* L. and *Verbascum phlomoides* L. Chemical, Antimicrobial, Antioxidant and Antitumor Investigations // Revista de Chimie. – 2018. – Vol. 69. – Pp. 365–370. DOI: 10.37358/RC.18.2.6108

44. *Verbascum* L. WFO The World Flora Online. – 2024. – Режим доступа: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000040135> (дата обращения: 02.02.2024).

FEATURES OF DEVELOPMENT OF VERBASCUM SPECIES IN CENTRAL YAKUTIA

L.A. PRIKHODKO¹, O.A. SOROKOPUDOVA²

(¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone – Siberian Branch of Russian Academy of Sciences;

²All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants)

The possibility of cultivating mullein species in Central Yakutia, which are relatively undemanding plants in terms of moisture, is of scientific and practical interest in order to determine their biological potential and the possibility of using them as ornamental and medicinal plants. The aim of the work is to identify the peculiarities of the developmental rhythms of some species of the genus Verbascum in the permafrost conditions of Central Yakutia. The objects of the study were 11 samples of the species V. chaixii subsp. austriacum, V. densiflorum, V. nigrum, V. nigrum subsp. abietinum, V. phoeniceum and V. thapsus. The material was obtained in the form of seeds in 2018–2021 from institutions in Russia, Denmark, Romania and Poland. The seeds of the first V. phoeniceum sample were sown in a greenhouse and the resulting seedlings were transplanted into the field collection. The remaining seeds were sown outdoors in the second half of September. The plants overwintered under the snow without any additional protection. Phenological phases in the conditions of Central Yakutia were 3–4 weeks later in the calendar than in Central Russia; the end of the growing season was limited by the onset of autumn frosts. The results of the introduction in Central Yakutia showed high resistance in culture of the species V. phoeniceum, V. nigrum, V. nigrum subsp. abietinum, V. chaixii subsp. austriacum and V. thapsus. When sown in the fall, plants of these species flower profusely in the second year and produce mature seeds, except for V. chaixii subsp. austriacum, which flowers profusely in the first year. These species are very decorative and can be recommended for inclusion in the range of ornamental herbaceous plants for Central Yakutia. V. thapsus is also promising as a medicinal plant. V. densiflorum plants developed as annuals without having time to form mature seeds. To use V. densiflorum as an ornamental or medicinal plant, a seedling period is required.

Keywords: *Verbascum species, cultivation, flowering, fruiting, seed propagation, Central Yakutia.*

References

1. *Atlas of medicinal plants of Russia*. Ed. by N.I. Sidelnikov. Moscow, Russia: Nauka, 2021:646. (In Russ.)
2. Babkova A.S. Peculiarities of floral design of urban areas of the Kola Peninsula. *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2018;1(5):26–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.20861/2312-8089-2018-41-002>
3. Batul A., Kozlova E.A. The influence of the timing of sowing seeds of Gazania L. varieties on some of its indicators. In: *Proc. Int. Sci. Conf. dedicated 180th Anniversary of the K.A. Timiryazev Birth*, Moscow, Russia, 2023:28–32. (In Russ.)
4. Bezdelev A.B., Bezdeleva T.A. *Life forms of seed plants of the Russian Far East*. Vladivostok, Russia: Dal'nauka, 2006:296. (In Russ.)
5. Borovskaya A.D., Mashchenko N.E., Ivanova R.A., Gumanyuk A.V. Efficiency of *Verbascum densiflorum* Bertol. bioregulators in stimulation of vegetable growth and development. *Vegetable Crops of Russia*. 2020;(5):54–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-5-54-59> (In Russ.)

6. Bochkova I.Yu., Tulush M.D. About extensive green roofs. *Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin*. 2020;24(5):5–11. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-5-5-11>
7. Voznyachuk I.P., Vlasova A.B., Stepanovich I.M., Godneva A.T., Reshetnikov V.N. Establishing sustainable roadside vegetation communities of high botanical and aesthetic value: the basic concept statement and experimental justification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series*. 2019;64(2):238–254. (In Russ.). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-2-238-254>
8. Gubanov I.A., Kiseleva K.V., Novikov V.S. et al. *Illustrated guide to plants of Central Russia. Vol. 2: Angiosperms (dicots: dioecytes)*. 2d. ed., rev. and supp. Moscow, Russia: KMK; Institute of Technological Research Publ., 2013:665. (In Russ.)
9. Devyataikina D.S., Zubik I.N., Sorokopudova O.A. Morphological features of *Iris sibirica* L. varieties in the conditions of Moscow. *Vestnik Kurskoy selskokhozyastvennoy akademii*. 2022;6:62–66. (In Russ.)
10. Zakharova V.I., Kuznetsova L.V., Ivanova E.I. et al. *Diversity of the flora of Yakutia*. Novosibirsk, Russia: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2005:328. (In Russ.)
11. Zubik I.N. Use of genetic resources during interspecific hybridization of the genus *Iris* L. *Doklady Timiryazevskoy selskokhozyastvennoy akademii*. 2013;285(1):193–196. (In Russ.)
12. Kabanov A.V., Sorokopudov V.N. Introduction of tall ornamental plants of the Eurasian steppes in Central Russia. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaistvennoy akademii*. 2022;8:75–80. (In Russ.)
13. Kiryushina N.A., Orlova E.E. Assortment of border dahlias for use in landscaping in the Moscow region. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2021;26:45–48. (In Russ.)
14. *Climate monitor. Weather and climate. 2018–2023*. (In Russ.) URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php>
15. Kozlova E.A. The use of Jiffy peat tablets for growing seedlings of annual flower crops using the example of *Petunia*. *Doklady Timiryazevskoy selskokhozyastvennoy akademii*. 2019; 291:585. (In Russ.)
16. Kozlova E.A. Review of new F1 *petunia* hybrids from the agricultural company “Aelita”. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2019;17:46–48. (In Russ.)
17. Kozlova E.A. Assessment of the ornamental properties of daisy (*Bellis* L.) varieties when grown in the conditions of the Moscow region. In: *Proc. Int. Sci. Pr. Conf. “Current issues in biology, selection and agricultural technology of garden crops”*, Moscow, Russia, 2023:127–132. (In Russ.)
18. Kozlova E.A. Varietal study of some representatives of hybrid *petunia* (*Petunia* × *hybrida* Vilm.). *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2023;34:30–33. (In Russ.)
19. Kozlova E.A., Akhmetova L.R. Evaluation of the decorative properties of some varieties of marigolds (*Tagetes* L.) when grown in open ground in the conditions of the city of Moscow. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2023;34:27–29. (In Russ.)
20. Kozlova E.A., Isachkin A.V. Review of the range of *petunia* hybrids (*Petunia*) in urban and private landscaping. *Doklady Timiryazevskoy selskokhozyastvennoy akademii*. 2011;283:759. (In Russ.)
21. Kozlova E.A., Makarov S.S., Zubik I.N., Orlova E.E., Kuznetsova I.B. The influence of some substrate components on the growth, development and ornamental characteristics of hybrid *petunia* (*Petunia* × *hybrida* Vilm.). *Sovremennoe sadovodstvo*. 2023;4: 156–164 (In Russ.). https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0415
22. Kondratenko Yu.I. Use of *Zinnia elegans* L. in landscaping and cutting. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2024;37:55–58. (In Russ.)
23. Kondratenko Yu.I., Demidova A.P., Orlova E.E. Study of greenhouse germination of seeds of annual flower crops for cutting cultivation in open ground conditions in Moscow.

- In: *Proc. Int. Sci. Conf. dedicated 180th Anniversary of the K.A. Timiryazev Birth*, Moscow, Russia, 2023:69–72. (In Russ.)
24. Kosheleva E.D., Orlova E.E. The influence of growing conditions on the manifestation of ornamental characteristics of marigold (*Calendula officinalis* L.) in the conditions of Moscow. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2022;29: 36–41. (In Russ.)
25. Kosheleva E.D., Orlova E.E. Varietal study of *Calendula officinalis* L. in the conditions of Moscow. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2021;25:37–41. (In Russ.)
26. *Summary of the flora of Yakutia: Vascular plants*. Ed. by L.V. Kuznetsova, V.I. Zakharova. Novosibirsk, Russia: Nauka, 2012:272. (In Russ.)
27. Kulishova I.V. Monitoring of biodiversity of wild medicinal plants. In: *Proc. XI Int. Sci. Pract. Conf “Aktual’nye problemy nauki i obrazovaniya v usloviyakh sovremennykh vyzovov”*, Moscow, Russia, May 24, 2022:14–18. (In Russ.) <https://doi.org/10.34755/IROK.2022.41.75.008>
28. Kuptsov S.V. The experience of implementing an experimental site in the MSU botanical garden in the paradigm of modern ecological horticulture. In: *Botanicheskie sady v sovremennom mire*. St. Petersburg, Russia: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvenniy elektrotekhnicheskii universitet “LETI” im. V.I. Ul’yanova (Lenina), 2023;3:111–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/cl-36595-2023-3-111-114>
29. Maevskiy P.F. *Flora of the middle zone of the European part of Russia*. 11th ed. Moscow, Russia: T-vo nauch. izd. KMK, 2014:635. (In Russ.) ISBN: 978–5–87317–958–9
30. Methodology for phenological observations in botanical gardens of the USSR. *Byulleten’ Glavnogo botanicheskogo sada*. 1979;113:3–8. (In Russ.)
31. Oleinikova E.M. Biomorphological analysis of pivot root grass plants (on the example of Middle Russia and South Pamir-Alai). *Izvestiya Akademii nauk Respubliki Tadzhikistan. Otdelenie biologicheskikh i meditsinskikh nauk*. 2019;1:7–18. (In Russ.)
32. Orlova E.E., Kozlova E.A., Zubik I.N. Analysis of the variability of decorative characters of the genus *Dahlia* Cav. in an annual crop in the conditions of the Moscow region. *AgroEkoInfo*. 2021;6. URL: https://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st_604.pdf. (In Russ.)
33. Orlova E.E., Krusanova O.N. The influence of substrate components on the quality of petunia seedlings when watering is limited. In: *Proc. Int. Symp. “Innovations in Life Sciences”*, Belgorod, Russia, 2022:128–129. (In Russ.)
34. Popov P.L. Plant species used in pulmonary tuberculosis: use in other diseases and distribution in the phylogenetic system. *Bulletin Biomedicine & Sociology*. 2021;6(4):69–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.26787/nydha-2618-8783-2021-6-4-69-82>
35. *Plantarium*. 2024. (In Russ.) URL: <https://www.plantarium.ru/>
36. Suchkova A.A., Granitsa Yu.V. Use of weed plants in landscape gardening. *Agriculture*. 2019;4:1–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2019.4.33024>
37. Flora of Siberia. V.12: *Solanaceae – Lobeliaceae*. Ed. by A.V. Polozhiy, S.N. Vydrina, V.I. Kurbatskiy et al. Novosibirsk, Russia: Nauka. Sibirskaya izdatel’skaya firma RAN, 1996:208. (In Russ.)
38. Yagontseva T.A. Morphological singularities of seeds of three species *Verbascum* L. *Bulletin of Perm University. Biology*. 2005;6:46–49. (In Russ.)
39. Amin H.I.M., Hussain F.H.S., Gilardoni G., Thu Z.M. et al. Phytochemistry of *Verbascum* Species Growing in Iraqi Kurdistan and Bioactive Iridoids from the Flowers of *Verbascum calvum*. *Plants*. 2020;9(9):1066. <https://doi.org/10.3390/plants9091066>
40. Blanco-Salas J., Hortigón-Vinagre M.P., Morales-Jadán D., Ruiz-Téllez T. Searching for scientific explanations for the uses of Spanish folk medicine: a review on the case of mullein (*Verbascum*, *Scrophulariaceae*). *Biology*. 2021;10(7):618. <https://doi.org/10.3390/biology10070618>

41. Calabrese G., Zappalà A., Dolcimascolo A., Acquaviva R. et al. Phytochemical analysis and anti-inflammatory and anti-osteoarthritic bioactive potential of *Verbascum thapsus* L. (*Scrophulariaceae*) leaf extract evaluated in two in vitro models of inflammation and osteoarthritis. *Molecules*. 2021;26(17):5392. <https://doi.org/10.3390/molecules26175392>
42. El Gizawy H.A.E.H., Hussein M.A., Abdel-Sattar E. Biological activities, isolated compounds and HPLC profile of *Verbascum nubicum*. *Pharmaceutical biology*. 2019;57(1):485–497. <https://doi.org/10.1080/13880209.2019.1643378>
43. Marian E., Vicas L.G., Jurca T., Muresan M. et al. *Salvia officinalis* L. and *Verbascum phlomoides* L. Chemical, Antimicrobial, Antioxidant and Antitumor Investigations. *Revista de Chimie*. 2018;69:365–370. <https://doi.org/10.37358/RC.18.2.6108>
44. *Verbascum* L. WFO The World Flora Online. 2024. URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000040135>

Сведения об авторах

Приходько Лена Александровна, инженер-исследователь Ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»; 677000, Российская Федерация, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, пр. Ленина, 41; e-mail: Prikhodko_LA@mail.ru; тел.: (411) 233–66–63

Сорокопудова Ольга Анатольевна, д-р биол. наук, профессор, заведующий отделом растительных ресурсов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»; 117216, Российская Федерация, г. Москва, ул. Грина, 7); e-mail: osorokopudova@yandex.ru; тел.: (495) 388–48–55

Information about the authors

Lena A. Prikhodko, Research Engineer at the Botanical Garden of the Institute for Biological Problems of Cryolithozone of the Siberian Branch of the RAS – Division of Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences: (41 Lenina Ave., Yakutsk, 67700041, Russian Federation; phone: (411) 233–66–63; e-mail: Prikhodko_LA@mail.ru)

Olga A. Sorokopudova, DSc (Bio), Professor, Head of the Department of Plant Resources, All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (7 Grina St., Moscow, 117218, Russian Federation; phone: (495) 388–48–55; e-mail: osorokopudova@yandex.ru)

СЕЛЕКЦИОННАЯ ЦЕННОСТЬ МУТАНТНЫХ ФОРМ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ
В УСЛОВИЯХ ВОЛГО-ВЯТСКОГО РЕГИОНА

И.Ю. ЗАЙЦЕВА, Л.В. ПАНИХИНА, И.Н. ЩЕННИКОВА, Н.А. ЖИЛИН

(Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого)

Многие сельскохозяйственные культуры имеют весьма небольшую генетическую «базу». Использование ограниченного набора родительских форм приводит к сокращению наследственного разнообразия коммерческих сортов и обостряет проблему их устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды. Индуцированный мутагенез является одним из средств создания генетических вариаций у сельскохозяйственных культур за более короткий период времени по сравнению со скрещиваниями и может использоваться для выведения исходного материала для селекции и новых сортов, обладающих высокой урожайностью, превосходным качеством продукции, устойчивостью к климатическим изменениям и толерантностью к биотическим и абиотическим стрессам. Цель исследований – оценка на основе данных конкурсного сортоиспытания мутантных форм ярового ячменя по хозяйственно-полезным признакам и выделение источников селекционно-ценных признаков для дальнейшего использования в качестве исходного материала в селекции. Исследования проводили в 2021–2023 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров. Объектом исследований являлись 9 мутантных образцов и сорт Памяти Дудина, созданные в ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет» при помощи воздействия различных сочетаний мутантных факторов на семена сорта ярового ячменя Биос 1. За период изучения провели комплексное исследование мутантных форм ярового ячменя в питомнике конкурсного сортоиспытания. Исследования подтвердили возможность получения полезных мутаций на культуре ячменя в результате применения малотоксичных и безопасных факторов химической и физической природы. Выявлены стрессоустойчивые мутантные формы, способные давать стабильную урожайность как в благоприятные годы, так и в годы с контрастными условиями: М 4–10, М 5–3, М 9–5–3, М 6–10. В результате исследований выявлено, что все изученные мутантные формы выделяются по комплексу селекционно-ценных признаков и являются ценным исходным материалом при создании новых сортов ячменя ярового для условий Волго-Вятского региона. При этом, однако, включать их в скрещивания необходимо с устойчивыми к полеганию генотипами.

Ключевые слова: мутагенез, урожайность, элементы структуры урожайности, качество зерна, вегетационный период, устойчивость к полеганию, пыльная головня.

Введение

В современных условиях, с ростом численности населения Земли, с каждым годом все более остро стоит вопрос повышения урожайности сельскохозяйственных культур за счет улучшения технологии возделывания [32]. С развитием науки большинство элементов технологии производства на данный момент находится на пике возможностей, однако существуют резервы: сорта и гибриды.

Генетическое разнообразие растений – ценный ресурс для пищевой и перерабатывающей промышленности. Во время зеленой революции были созданы новые сорта, обладающие высокой урожайностью и устойчивостью к болезням, что позволило увеличить количество продовольствия, получаемого из основных сельскохозяйственных культур [27]. Однако многие культуры характеризуются весьма небольшой генетической базой, что делает их чувствительными к неблагоприятным факторам окружающей среды [31]. Кроме того, ускоряется потеря генетических ресурсов, особенно в свете изменения климата [27].

К настоящему времени утрачено до 75% генетического разнообразия сельскохозяйственных культур, под угрозой исчезновения находится 15–37% их [31]. За свою историю для производства продовольствия человечество использовало примерно 3000 из порядка 200000 видов растений, а в настоящее время – только 15–20 видов. Таким образом, решение этого вопроса представляет собой серьезную проблему для селекционеров, и разработка планов по увеличению генетического разнообразия привлекла интерес многочисленных исследовательских групп [22; 33].

Индукцированный мутагенез может быть использован для увеличения генетического разнообразия. С помощью мутационной селекции создаются сорта с высоким качеством продукции, высокой и стабильной урожайностью, устойчивостью к изменениям климата и толерантностью к биотическим и абиотическим стрессам. Ежегодно мутантными сортами засеивается более 9 млн га, с которых аграрии собирают около 1,5 млн т урожая в год [30].

Индукцированный мутагенез служит инструментом для создания генетических вариаций у сельскохозяйственных культур за более короткий период времени по сравнению со скрещиваниями [26]. Селекционеры в течение более 80 лет используют этот метод для увеличения генетического разнообразия растений и создания новых мутантных форм с улучшенными признаками [29]. Мутации возникают в результате ошибок при репликации ДНК или повреждающего воздействия мутагенов – таких, как химические вещества и физические факторы, которые взаимодействуют с ДНК и изменяют архитектуру отдельных нуклеотидов включая замены, вставки или делеции [28], но частота их появления в растениях невелика [19].

Увеличение частоты мутаций при помощи индуцированного мутагенеза – один из важных способов получения исходных форм, необходимых для создания требуемых «умных» видов сельскохозяйственных культур, повышающих биоразнообразие [19].

Мутантные формы, полученные с помощью методов фото- и хемомутагенеза, не только представляют интерес с генетической точки зрения (различная длина стебля, колоса и остей, разнообразные хлорофилльные мутации), но и являются селекционно-ценными (скороспелость, продуктивность, устойчивость к полеганию, высокое содержание белка) [6].

Цель исследований: на основе данных конкурсного сортоиспытания оценить мутантные формы ярового ячменя по селекционно-ценным признакам, выделить источники для дальнейшего использования в селекции.

Материал и методы исследований

Исследования по оценке мутантных форм ячменя (2021–2023 гг.) проводились в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, г. Киров.

Полевой опыт был заложен в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания (2019) [12] на делянках площадью 10,0 м² в четырехкратной повторности. Предшественник – чистый пар, норма высева – 5 млн всхожих зерен на 1 га.

Стандарт – сорт Родник Прикамья, рекомендованный госкомиссией по сортоиспытанию по Кировской области. Производилась обработка почвы [8], включая в себя боронование, внесение удобрений и культивацию. После посева, в оптимально ранние сроки, проводили прикатывание. Минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию в дозе $N_{48}P_{48}K_{48}$ (нитроаммофоска NPK 16:16:16, АО «ОХК «Уралхим»).

Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая (гумус – 2,27–3,56, фосфор – 167–367 мг/кг, обменный калий – 243–247 мг/кг, рН солевой вытяжки – 4,4–5,8%).

Объектом исследований являлись новый сорт-мутант Памяти Дудина (форма 8–3–013) и 9 мутантных образцов. Все мутантные образцы получены в ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет» при воздействии различных сочетаний мутантных факторов на семена сорта ячменя ярового Биос 1 (табл. 1).

Устойчивость к стрессам ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и компенсирующее свойство сорта ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$) определяли по методике, разработанной А.А. Гончаренко [4], масштаб урожайности (d) – по методике, разработанной В.А. Зыкиным [7].

Оценку поражения сортов пыльной головней (*Ustilago nuda* (Jens) Rostr.) проводили на естественном инфекционном фоне в соответствии с методикой [9]. Уровень влагообеспеченности оценивали по гидротермическому коэффициенту (ГТК) [17].

В работе применяли статистические методы [16] с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS v. 2.07 и программы Microsoft Office Excel 2016.

Таблица 1

Способы получения мутантных форм ярового ячменя

| Сорт, мутантная форма | Способ получения |
|-----------------------|--|
| Памяти Дудина | Облучение семян лазерным красным светом (ЛКС) в течение 60 мин и последующее замачивание в растворе карбоната калия (K_2CO_3), затем в растворе карбоната натрия 0,1н (Na_2CO_3) |
| М 4–16–3 | Замачивание семян в растворе Na_2CO_3 1н в течение 12 ч |
| М 2–37–6 | Замачивание семян в растворе Na_2CO_3 0,01н в течение 12 ч |
| М 9–5–3 | Замачивание семян в растворе Na_2CO_3 0,1н с последующим облучением дальним красным светом (ДКС) |
| М 10–12 | Облучение семян ДКС с последующим замачиванием в растворе K_2CO_3 0,1н |
| М 11–13-Ха | Облучение семян ЛКС с последующим замачиванием в растворе Na_2CO_3 0,1н, затем облучение ДКС |
| М 5–3 | Замачивание семян в растворе Na_2CO_3 0,1н, затем в растворе K_2CO_3 0,1н |
| М 4–10 | Замачивание семян в растворе K_2CO_3 0,1н, затем в растворе Na_2CO_3 0,1н |
| М 6–10 | Облучение семян ДКС |
| М 5–11 | Облучение семян ЛКС с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм |

Условия в период вегетации растений различались по годам по температурно-му режиму и количеству осадков, что позволило провести всестороннюю оценку мутантных форм. Вегетационный период 2021 г. характеризовался погодой от теплой до жаркой с периодически выпадающими дождями (ГТК = 1,23). В 2022 г. наблюдалась теплая, но с частыми осадками погода, что привело к избыточному увлажнению (ГТК = 1,98). 2023 г. отличался неустойчивой погодой: как с продолжительными сухими, так и с дождливыми периодами (ГТК = 1,71).

Результаты и их обсуждение

Создание и внедрение в производство новых высокоурожайных сортов являются одними из путей повышения валового сбора зерна без расширения посевных площадей [24]. Урожайность – основной показатель, характеризующий хозяйственную ценность сортов в конкретных почвенно-климатических условиях [13].

В 2021 г. по причине недостатка влаги во время прохождения межфазных периодов «Всходы-кущение» и «Кущение-выход в трубку» урожайность мутантных форм в среднем составляла $3,6 \pm 0,2$ т/га. Достоверная прибавка по урожайности относительно стандарта и исходного сорта в этом году была отмечена только у мутантов М 4–10 и М 5–3 (табл. 2). Максимальную в опыте урожайность сорта сформировали в наиболее благоприятных условиях вегетации в 2022 г., в среднем она составляла $6,2 \pm 0,2$ т/га. В 2023 г. урожайность находилась в пределах $4,2–6,1$ т/га и в среднем составляла $5,1 \pm 0,2$ т/га. Все мутантные формы в 2022–2023 гг. имели высокую урожайность на уровне стандарта и исходного сорта Биос 1.

Таблица 2

Урожайность мутантных форм, т/га

| Сорт, мутантная форма | Год | | | |
|------------------------|------|------|------|--------------|
| | 2021 | 2022 | 2023 | 2021–2023 |
| Родник Прикамья, st. | 3,0 | 6,2 | 4,5 | 4,6 |
| Биос 1, исходная форма | 3,3 | 5,9 | 6,1 | 5,1 |
| Памяти Дудина | 3,8 | 6,9 | 5,9 | 5,5 |
| М 4–16–3 | 3,3 | 5,9 | 6,1 | 5,1 |
| М 9–5–3 | 3,5 | 5,5 | 4,7 | 4,6 |
| М 5–11 | 3,3 | 6,8 | 4,7 | 4,9 |
| М 2–37–6 | 3,6 | 6,3 | 5,2 | 5,0 |
| М 11–13-Ха | 3,4 | 6,3 | 5,0 | 4,9 |
| М 4–10 | 4,9 | 7,2 | 4,2 | 5,4 |
| М 5–3 | 4,4 | 6,0 | 4,5 | 5,0 |
| М 6–10 | 4,0 | 6,5 | 5,3 | 5,3 |
| М 10–12 | 3,3 | 6,8 | 5,1 | 5,1 |
| НСР ₀₅ | 1,1 | 1,7 | 2,2 | нет различий |

В среднем за 3 года исследований урожайностью более 5 т/га характеризовались мутантные формы М 4–16–3, М 4–10, М 6–10, М 10–12 и сорт Памяти Дудина.

В настоящее время селекционная работа ориентирована на адаптивность сортов к контрастным погодным условиям, прежде всего – к экстремальным, которые в большей степени ограничивают потенциал возможной урожайности [1]. Показатель ($Y_{\min} - Y_{\max}$), имеющий отрицательное значение, отражает степень адаптации сорта к различным стрессовым факторам окружающей среды. Сорт является стрессоустойчивым и имеет широкий диапазон адаптивных возможностей при минимальной разнице между $Y_{\min} - Y_{\max}$. Устойчивость к стрессам и способность формировать урожай в различающихся по годам погодных условиях проявили образцы М 6–10 (–1,5) и М 5–3 (–1,6) (табл. 3). Дополнительной величиной для выявления стрессоустойчивости в контрастных условиях является показатель $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$, отражающий наибольшую среднюю урожайность сорта. Следовательно, интерес для дальнейшей селекции представляют генотипы, характеризующиеся более высокими значениями показателя. Высокая степень соответствия между генотипом сорта и условиями вегетации была выявлена у мутантной формы М 4–10 (5,7).

Показатель размаха урожайности d демонстрирует отношение разницы между максимальной и минимальной урожайностью сорта к максимальной урожайности, выраженное в процентах. Стабильность урожайности в конкретных условиях выше, чем ниже этот показатель. Наименьшие значения размаха урожайности характерны для мутантных форм М 5–3 (26,7); М 9–5–3 (36,4); М 6–10 (38,5).

Таким образом, к стрессоустойчивым сортам, способным давать стабильную урожайность как в благоприятные годы, так и в годы с контрастными условиями, можно отнести сорта-мутанты М 4–10; М 5–3; М 9–5–3; М 6–10.

Таблица 3

Адаптивный потенциал мутантных форм ячменя, 2021–2023 гг.

| Сорт, мутантная форма | Показатели | | | | | |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------|
| | Y_{avg} | Y_{min} | Y_{max} | $Y_{\text{min}} - Y_{\text{max}}$ | $(Y_{\text{min}} + Y_{\text{max}})/2$ | d |
| Родник Прикамья, st. | 4,6 | 3,0 | 6,2 | –3,2 | 4,6 | 51,6 |
| Биос 1, исходная форма | 5,1 | 3,3 | 6,1 | –2,8 | 4,7 | 45,9 |
| Памяти Дудина | 5,5 | 3,8 | 6,9 | –3,1 | 5,4 | 44,9 |
| М 4–16–3 | 5,1 | 3,3 | 6,1 | –2,8 | 4,7 | 45,9 |
| М 9–5–3 | 4,6 | 3,5 | 5,5 | –2,0 | 4,5 | 36,4 |
| М 5–11 | 4,9 | 3,3 | 6,8 | –3,5 | 5,1 | 51,5 |
| М 2–37–6 | 5,0 | 3,6 | 6,3 | –2,7 | 5,0 | 42,9 |
| М 11–13-Ха | 4,9 | 3,4 | 6,3 | –2,9 | 4,8 | 46,0 |
| М 4–10 | 5,4 | 4,2 | 7,2 | –3,0 | 5,7 | 41,7 |
| М 5–3 | 5,0 | 4,4 | 6,0 | –1,6 | 5,2 | 26,7 |
| М 6–10 | 5,3 | 4,0 | 6,5 | –1,5 | 5,2 | 38,5 |
| М 10–12 | 5,1 | 3,3 | 6,8 | –3,5 | 1,75 | 51,5 |

На продолжительность вегетационного периода, который определяет урожайность сорта, качество производимой продукции, толерантность к поражению болезнями и вредителям, существенно влияют складывающиеся погодные условия в период роста и развития растений, а также биологические особенности сорта [3, 15]. Оптимальные сроки прохождения растениями наиболее важных фаз вегетации помогают избежать негативного действия неблагоприятных почвенно-климатических факторов региона возделывания сорта [11].

По продолжительности вегетационного периода все мутанты находились в одной группе спелости со стандартом, их вегетационный период составлял в среднем 78–81 день. Выделялись М 4–16–3, М 6–10 и М 10–12, созревавшие на 1–6 дней раньше исходной формы, вегетационный период которой составлял от 70 до 89 дней.

Одним из факторов, негативно влияющих на урожайность ячменя, является полегание растений. Потери урожая зерна от полегания могут достигать 50%. В полегших посевах затруднена уборка урожая, а также ухудшаются обменные процессы в растениях, усиленно развиваются грибковые заболевания, что приводит к понижению качества зерна [15]. В годы проведения исследований устойчивость к полеганию у изученных мутантных форм значительно варьировала – от 2,0 до 5,0 балла.

В 2021 г. полегание растений отмечено не было, все изучаемые генотипы характеризовались устойчивостью от 4,8 до 5,0 балла. Провокационные условия сложились в июле 2022 и 2023 гг., когда частые, временами обильные, дожди отрицательно сказались на устойчивости мутантных форм к полеганию. Устойчивость к полеганию в эти годы составляла от 2,0 до 4,8 балла и от 3,0 до 4,8 балла соответственно. Наибольшей устойчивостью к полеганию за годы исследований характеризовались мутанты М 11–13-Ха (4,8 балла) и М 4–16–3 (4,1 балла).

Немаловажное значение при оценке сортов имеет качество зерна. Одними из основных показателей качества зерна являются содержание белка в зерне, натурная масса, выравненность и масса 1000 зерен. Зерно ячменя служит незаменимым источником растительного белка для насыщения кормов для животных. Ценным считается ячмень с наиболее высоким содержанием белка в зерне [18]. Содержание белка в зерне мутантных форм варьировало от 11,9 (М 4–16–3) до 15,1% (М 6–10) (табл. 4). Наибольшую кормовую ценность представляют мутантные формы М 6–10 и М 2–37–6. Превысили по содержанию белка в зерне на 0,4–1,6% ценный по качеству стандарт и исходный сорт мутантные формы М 5–11; М 4–10; М 5–3; М 11–13-Ха; М 10–12; сорт Памяти Дудина.

Натура определяет выполненность, плотность и полновесность зерна [25]. Хорошо выполненное зерно отличается более высоким относительным содержанием полезных веществ и эндосперма [2]. Натурная масса зерна мутантных форм составляла от 662,3 до 677,7 г/л. Наибольшей натурной массой характеризовались мутанты М 5–11 и М 2–37–6.

Семена, выровненные по размерам, дают дружные всходы, обеспечивая равномерное развитие растений, а следовательно, и одновременное созревание зерна, что облегчает и ускоряет уборку урожая, повышает качество зерна [16]. Выравненность зерна мутантных форм составляла от 87,8 до 93,3%. Превысили стандартный сорт и исходную форму мутанты М 5–3 и М 6–10 (табл. 4).

Крупное зерно обладает равномерным водопотреблением, большим запасом питательных веществ, всхожестью и жизнеспособностью семян. Сорта, отличающиеся высокой массой 1000 зерен, более устойчивы к лимитирующим факторам среды, формируют более мощные и продуктивные растения с хорошими технологическими свойствами зерна [23]. За годы изучения масса 1000 зерен в среднем составляла $45,3 \pm 0,3$ г. Все мутанты по этому показателю находились на уровне стандарта и исходной формы (табл. 4).

Качество зерна мутантных форм

| Сорт, мутантная форма | Содержание белка, % | Натурная масса, г/л | Выровненность, % | Масса 1000 зерен, г |
|------------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| Родник Прикамья, st. | 13,1 | 685,7 | 91,2 | 45,5 |
| Биос 1, исходная форма | 13,1 | 663,4 | 91,0 | 50,4 |
| Памяти Дудина | 14,0 | 668,9 | 88,6 | 44,5 |
| М 4–16–3 | 11,9 | 675,7 | 88,5 | 44,1 |
| М 9–5–3 | 12,2 | 665,7 | 90,6 | 47,1 |
| М 5–11 | 14,3 | 687,5 | 87,8 | 44,5 |
| М 2–37–6 | 14,7 | 686,3 | 90,9 | 45,4 |
| М 11–13-Ха | 14,0 | 669,7 | 88,6 | 44,1 |
| М 4–10 | 13,5 | 668,8 | 91,3 | 45,7 |
| М 5–3 | 13,5 | 666,0 | 92,5 | 45,6 |
| М 6–10 | 15,1 | 677,7 | 93,3 | 45,9 |
| М 10–12 | 14,0 | 662,3 | 88,8 | 46,2 |
| НСР ₀₅ | нет различий | нет различий | нет различий | 3,0 |

Создание сортов ячменя, устойчивых к головневым заболеваниям, является одним из путей повышения урожайности. По статистике, потери от болезней составляют менее 2% [20]. Однако по некоторым культурам [14] в отсутствие мониторинга проявления и распространения болезней в полевых условиях потери урожая могут достигать до 40–50%.

По данным Т.К. Шешеговой [21], в Волго-Вятском регионе из головневых болезней наибольшее распространение имеет пыльная головня. Период проведения исследований характеризовался слабым уровнем естественной инфекционной нагрузки патогена, поражение сорта-индикатора не превышало 9,1%. Все мутантные формы были высокоустойчивыми к пыльной головне, поражение составило от 0,4 до 3,8%. Наименьшая степень поражения пыльной головней отмечалась у мутантных форм М 4–16–3 и М 5–11 (0,4%).

Неотъемлемую часть селекционной работы представляют изучение мутантных форм по элементам структуры урожайности и выявление источников селекционно-ценных признаков, позволяющие использовать их в качестве исходного материала для создания сортов, отвечающих требованиям современного производства [10].

За период исследований общая кустистость в среднем составляла $2,3 \pm 0,1$ шт/раст., продуктивная кустистость – $2,0 \pm 0,1$ шт/раст. По продуктивной кустистости значительно превышал стандартный сорт и исходную форму мутант М 11–13-Ха.

Средняя длина колоса составляла $7,3 \pm 0,1$ см. По длине колоса «Родник Прикамья» превышал М 11–13-Ха, М 6–10 и М 10–12. Исходную форму по этому показателю не превысил ни один мутант.

Мутантные формы сформировали колос со средней плотностью $12,8 \pm 0,1$. Достоверное превышение стандарта было выявлено у мутантов М 9–5–3, М 2–37–6, М 4–10 и М 5–3, превышение стандарта и исходной формы – у М 5–11 и М 11–13-Ха.

Среднее количество колосков в колосе составляло $21,2 \pm 0,3$ шт., зерен – $19,4 \pm 0,2$ шт. По количеству колосков и зерен стандарт достоверно превышали мутанты М 6–10, М 10–12 и сорт Памяти Дудина. Существенно превосходили стандарт по количеству колосков мутанты М 4–16–3 и М 5–11, по количеству зерен – М 4–10. Исходную форму по этим показателям не превысил ни один мутант.

Средняя масса зерна с колоса составляла $0,89 \pm 0,02$ г, с растения – $1,55 \pm 0,05$ г. Достоверное превышение стандартного сорта по продуктивности колоса было отмечено у мутантных форм М 4–16–3, М 9–5–3, М 5–11, М 5–3, М 6–10, М 10–12 и сорта Памяти Дудина. Исходную форму по продуктивности колоса не превысил ни один мутант. По продуктивности растений различия не выявлены.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили возможность получения полезных мутаций на культуре ячменя в результате применения малотоксичных и безопасных факторов химической и физической природы. Выявлены стрессоустойчивые мутантные формы, способные давать стабильную урожайность как в благоприятные годы, так и в годы с контрастными условиями, – М 4–10, М 5–3, М 9–5–3 и М 6–10. В результате исследований выявлено, что все изученные мутантные формы выделяются по комплексу селекционно-ценных признаков и являются ценным исходным материалом при создании новых сортов ячменя ярового для условий Волго-Вятского региона. Однако включать их в скрещивания необходимо с устойчивыми к полеганию генотипами.

Библиографический список

1. Барковская Т.А., Гладышева О.В., Кокорева В.Г. Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2023. – Т. 24, № 1. – С. 58–65. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65>.
2. Белкина Р.И., Губанов М.В., Грязнов А.А., Губанова В.М. Качество зерна сортообразцов пленчатого и голозерного ячменя в условиях Северного Зауралья // *Агрородовольственная политика России*. – 2015. – № 10. – С. 22–25.
3. Бойко Е.С., Салфетников А.А., Репко Н.В., Назаренко Л.В. Оценка исходного материала для селекции озимого ячменя в КубГАУ // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2014. – № 97. – С. 799–809.
4. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: учеб. – М.: Колос, 1985. – 416 с.
6. Жилин Н.А., Щенникова И.Н. Методы и результаты селекции ячменя в Волго-Вятском регионе // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. – 2020. – № 1 (60). – С. 79–82.
7. Зыкин В.А., Мешков В.В., Санега В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: Методические рекомендации // Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1984. – С. 11–21.

8. Козлова Л.М., Попов Ф.А., Носкова Е.Н., Иванов В.Л. Улучшенная ресурсосберегающая технология обработки почвы и применения биопрепаратов под яровые зерновые культуры в условиях центральной зоны Северо-Востока Европейской части России // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2017. – № 3 (58). – С. 43–48.

9. Кривченко В.И., Щелко Л.Г., Тимошенко З.В. Методы изучения устойчивости ячменя и овса к головневым болезням // *Методы фитопатологических и энтомологических исследований в селекции растений*. – М.: Колос, 1977. – С. 51–57

10. Ланочкина М.А., Блохин В.И., Ганиева И.С., Дюрбин Д.С., Вильданова Г.В. Исходный материал на продуктивность в селекции ярового ячменя // *Повышение эффективности АПК в современных условиях*. – 2015. – С. 161–175.

11. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Возможности создания сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) с широкой изменчивостью параметров вегетационного периода // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2015. – Т. 19, № 2. – С. 176–184. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ15>.

12. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 2019. – Вып. 1. Общая часть. – 329 с.

13. Новикова В.М., Жаркова С.В., Дворникова Е.И., Шмидт Р.В., Росихин П.С. Формирование показателей признака «урожайность» сортов ячменя ярового в условиях лесостепи предгорий Салаира // *Аграрная наука – сельскому хозяйству*. – 2017. – С. 221–223.

14. Орлова Е.А., Бехтольд Н.П. Характеристика генофонда яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по устойчивости к пыльной головне в условиях лесостепи Западной Сибири // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2019. – Т. 23, № 5. – С. 551–558. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.524>.

15. Репко Н.В., Коблянский А.С., Хронюк Е.В. Высота растений и устойчивость к полеганию коллекционных сортов озимого ячменя // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 133. – С. 160–172.

16. Рындин А.Ю. Физические методы определения качества зерна: анализ источников // *Вестник НГИЭИ*. – 2013. – № 12 (31). – С. 72–82.

17. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. – 1928. – Вып. 20. – С. 165–177.

18. Таланов И.П., Вильданова Г.В., Блохин В.И., Ланочкина М.А., Шайтанов О.Л., Ганиева И.С. Формирование белка в зерне сортов ячменя, возделываемых в Татарстане // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. – 2016. – Т. 11, № 1. – С. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.12737/19300>.

19. Тетяников Н.В., Боме Н.А. Исследование мутагенного эффекта фосфемиды на ячмене // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. – 2022. – Т. 183, № 4. – С. 141–151. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-141-151>.

20. Усольцев Ю.А. Снижение потерь урожая ярового ячменя от головневых заболеваний // *Вестник Курганской ГСХА*. – 2018. – № 3 (27). – С. 65–69.

21. Шешегова Т.К. Анализ фитосанитарного состояния посевов яровых зерновых культур в Кировской области (аналитический обзор) // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2015. – № 5 (48). – С. 10–14.

22. Щенникова И.Н., Шешегова Т.К., Кокина Л.П., Зайцева И.Ю., Ковалева О.Н. Биоресурсы ячменя ярового для селекции новых коммерческих сортов в условиях Волго-Вятского региона: Методическое руководство. – Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2022. – 28 с. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2022/Биоресурсы-ячменя-2022.pdf>.

23. Юсова О.А., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 2. – С. 24–28. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10205>.

24. Юсова О.А. Основные моменты стратегии реализации программы создания пивоваренного сорта ячменя // Плодоводство и ягодоводство России. – 2023. – Т. 72. – С. 13–15.

25. Яковлев В.К., Першаков А.Ю., Белкина Р.И. Продуктивность и качество зерна пивоваренных сортов ячменя в Северном Зауралье // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 12. – С. 10–15.

26. Ansari S.B., Raina A.A., Amin R., Jahan R., Malik S., Khan S. Mutation breeding for quality improvement: A case study for oilseed crops shazia bi nsari, aamir raina // Mutagenesis, Cytotoxicity and Crop Improvement: Revolutionizing Food Science. – 2021. – Pp. 171–221.

27. Fita A., Rodríguez B.A., Boscaiu M., Prohens J., Vicente O. Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: a new paradigm for increasing food production // Frontiers in Plant Science. – 2015. – Vol. 6. – P. 978. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00978>.

28. Ichida H., Morita R., Shirakawa Y., Hayashi Y., Abe T. Targeted exome sequencing of unselected heavy-ion beam-irradiated populations reveals less-biased mutation characteristics in the rice genome // The Plant Journal. – 2019. – Vol. 98, № 2. – Pp. 301–314. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.14213>.

29. International Atomic Energy Agency (IAEA). – Режим доступа: <https://www.iaea.org/> (дата обращения: 24.01.2024).

30. Luxiang L., Xiong H., Guo H., Zhao L., Xie Y. New mutation techniques applied in crop improvement in China // FAO/IAEA International Symposium on Plant Mutation Breeding and Biotechnology. – 2018.

31. Thomas C.D., Alison C., Green E., Bakkenes M., Beaumont J., Collingham C. *et al.* Extinction risk from climate change // Nature. – 2004. – Vol. 427, № 6970. – Pp. 145–148.

32. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia // International Journal of Economics and Financial Issues. – 2016. – Vol. 6, no. S5. – Pp. 33–41.

33. Viana V.E., Pegoraro C., Busanello C., Costa de Oliveira A. Mutagenesis in rice: the basis for breeding a new super plant // Frontiers in plant science. – 2019. – Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01326>.

BREEDING VALUE OF MUTANT FORMS OF SPRING BARLEY IN THE CONDITIONS OF THE VOLGA-VYATKA REGION

I.YU. ZAYTSEVA, L.V. PANIKHINA, I.N. SHCHENNIKOVA, N.A. ZHILIN

(Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky)

Many crops have a very small genetic “base”. The use of a limited number of parental forms reduces the genetic diversity of commercial varieties and exacerbates the problem of their resistance to adverse environmental factors. Induced mutagenesis is one of the means to generate genetic variation in crops in a shorter time compared to crosses and can be used to develop source material for breeding and new varieties with high yields, excellent product quality, resistance to climate change and tolerance to biotic and abiotic stresses. The aim of the research

is to evaluate mutant forms of spring barley for economic characters based on competitive variety testing data, to identify sources of breeding valuable traits for further use as source material in breeding. The research was carried out in 2021–2023 at the FARC of the North-East, Kirov. The object of research were nine mutant samples and variety Pamyati Dudina, created at the Vyatka State Agrotechnological University through the influence of various combinations of mutant factors on the seeds of spring barley variety Bios 1. During the research period a comprehensive study of mutant forms of spring barley was conducted in the nursery of competitive variety testing. The conducted research has confirmed the possibility of obtaining beneficial mutations on barley crop as a result of application of chemical and physical low-toxic and safe factors. Stress-resistant mutant forms capable of stable yield in both favorable and unfavorable years have been identified: M 4–10, M 5–3, M 9–5–3 and M 6–10. The conducted research has shown that all the studied mutant forms are characterized by a complex of breeding-valuable traits and are a valuable source material for the creation of new varieties of spring barley for the conditions of the Volga-Vyatka region. However, it is necessary to include them in crosses with lodging resistant genotypes.

Keywords: mutagenesis, yield capacity, yield structure elements, grain quality, growing season, lodging resistance, loose smut.

References

1. Barkovskaya T.A., Gladysheva O.V., Kokoreva V.G. Assessment of adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions of the Ryazan region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(1):58–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65>
2. Belkina R.I., Gubanov M.V., Gryaznov A.A., Gubanova V.M. Grain quality of varieties of filmy and naked barley in the conditions of the Northern Urals. *Agro-Food Policy in Russia*. 2015;10:22–25. (In Russ.)
3. Boyko E.S., Salfetnikov A.A., Repko N.V., Nazarenko L.V. Estimation of initial material for breeding of winter barley in KubSAU. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2014;97:799–809. (In Russ.)
4. Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2005;6:49–53. (In Russ.)
5. Dospekhov B.A. *Methodology of field experiment*. Moscow, USSR: Kolos, 1985:416. (In Russ.)
6. Zhilin N.A., Schennikova I.N. Barley breeding methods and results in the Volga-Vyatka region. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2020;1(60):79–82. (In Russ.)
7. Zykin V.A., Meshkov V.V., Sapega V.A. *Parameters of ecological plasticity of agricultural plants, their calculation and analysis: methodical recommendations*. Novosibirsk, USSR: SO VASKhNIL, 1984:11–21. (In Russ.)
8. Kozlova L.M., Popov F.A., Noskova E.N., Ivanov V.L. Improved resource-saving technology of soil cultivation and use of bio-preparations for spring cereals crops under conditions of central zone of North-East of European part of Russia. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(3):43–48. (In Russ.)
9. Krivchenko V.I., Shchelko L.G., Timoshenko Z.V. *Methods for studying the resistance of barley and oats to smut diseases. Methods of phytopathological and entomological research in plant breeding*. Moscow, USSR: Kolos, 1977:51–57. (In Russ.)
10. Lanochkina M.A., Blokhin V.I., Ganieva I.S., Dyurbin D.S., Vil'danova G.V. Source material for productivity in the breeding of spring barley. *Vserossiyskaya*

nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 95-letiyu so dnya osnovaniya TatNIISKH "Povyshenie effektivnosti APK v sovremennykh usloviyakh". July 02–03, 2015. Kazan, Russia: OOO "Tsentri innovatsionnykh tekhnologiy", 2015:161–175. (In Russ.)

11. Malchikov P.N., Myasnikova M.G. Approaches to the development of durum wheat cultivars (*Triticum durum* desf.) with wide variability of the growing season. *Vavilov journal of genetics and breeding*. 2015;19(2):176–184. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ15>

12. *Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part*. Moscow, Russia, 2019:329. (In Russ.)

13. Novikova V.M., Zharkova S.V., Dvornikova E.I., Shmidt R.V., Rosikhin P.S. Formation of indicators of the “yield” trait of spring barley varieties in the conditions of the grove belt of the Salair foothills. *XII mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu". February 07–08, 2017. Barnaul, Russia: Altai State Agricultural University, 2017:221–223. (In Russ.)*

14. Orlova E.A., Baechtold N.P. Characteristics of the gene pool of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) for resistance to loose smut in the forest-steppe of Western Siberia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(5):551–558. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ19.524>

15. Repko N.V., Koblyanskiy A.S., Khronyuk E.V. Plant height and lodging resistance of collection varieties of winter barley. *Polythematic Online Scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;133:160–172. (In Russ.)

16. Ryndin A.Yu. Physical of defining grain quality: analysis of sources. *Vestnik NGIEI*. 2013;12(31):72–82. (In Russ.)

17. Selyaninov G.T. On agricultural climate assessment. *Trudy po sel'skokhozyaystvennoy meteorologii*. 1928;20:165–177. (In Russ.)

18. Talanov I.P., Vildanova G.V., Blokhin V.I., Lanochkina M.A. et al. Formation of protein in barley grain, cultivated in Tatarstan. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2016;11(1):10–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/19300>

19. Tetyannikov N.V., Bome N.A. Studies on mutagenic effect of phosphemide in barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):141–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-141-151>

20. Usoltsev Yu.A. Reduction of losses of the harvest of spring barley from head diseases. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2018;3 (27):65–69. (In Russ.)

21. Sheshegova T.K. Analysis of a phytosanitary condition of sowings of spring grain crops in the Kirov region (Analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;5 (48):10–14. (In Russ.)

22. Shchennikova I.N., Sheshegova T.K., Kokina L.P., Zaytseva I.Yu., Kovaleva O.N. *Bioresources of spring barley for breeding new commercial varieties in the conditions of the Volga-Vyatka region: Methodological guidance*. Kirov, Russia: Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 2022:28. (In Russ.)

23. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Anis'kov N.I., Safonova I.V. Adaptability of barley varieties by the weight of 1000 grains under forest-steppe conditions of the Omsk region. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2020;34(2):24–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10205>

24. Yusova O.A., Nikolaev P.N. Highlights of the strategy for the implementation of the brewing barley variety program. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2023;72:13–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2023-72-13-15>

25. Yakovlev V.K., Pershakov A.Yu., Belkina R.I. Productivity and grain quality of malting barley in Northern Trans-Urals. *Bulletin of KSAU*. 2017;12:10–15. (In Russ.)
26. Ansari S.B., Raina A.A., Amin R., Jahan R. et al. Mutation breeding for quality improvement: A case study for oilseed crops shazia bi ansari, aamir raina. *Mutagenesis, Cytotoxicity and Crop Improvement: Revolutionizing Food Science*. 2021:171–221.
27. Fita A., Rodríguez B.A., Boscaiu M., Prohens J., Vicente O. Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: a new paradigm for increasing food production. *Frontiers in Plant Science*. 2015;6:978. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00978>
28. Ichida H., Morita R., Shirakawa Y., Hayashi Y., Abe T. Targeted exome sequencing of unselected heavy-ion beam-irradiated populations reveals less-biased mutation characteristics in the rice genome. *The Plant Journal*. 2019;98(2):301–314. <https://doi.org/10.1111/tpj.14213>
29. International Atomic Energy Agency (IAEA). URL: <https://www.iaea.org/>
30. Luxiang L., Xiong H., Guo H., Zhao L., Xie Y. New mutation techniques applied in crop improvement in China. *FAO/IAEA International Symposium on Plant Mutation Breeding and Biotechnology*, 2018.
31. Thomas C.D., Alison C., Green E., Bakkenes M. et al Extinction risk from climate change. *Nature*. 2004;427(6970):145–148.
32. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2016;6 (S5):33–41.
33. Viana V.E., Pegoraro C., Busanello C., Costa de Oliveira A. Mutagenesis in rice: the basis for breeding a new super plant. *Frontiers in plant science*. 2019;10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01326>

Сведения об авторах

Зайцева Ирина Юрьевна, канд. биол. наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: irina-zajjceva30@ Rambler.ru; тел.: (900) 528–38–96. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>

Панихина Любовь Владимировна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: miss.lovemama@mail.ru; тел.: (912) 362–95–32. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>

Щенникова Ирина Николаевна, д-р с.-х. наук, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, член-корреспондент РАН; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: i.schennikova@mail.ru; тел.: (912) 737–63–44. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>

Жилин Николай Александрович, канд. биол. наук, научный сотрудник отдела семеноводства, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: zhilin.nickolaj@gmail.com; тел.: (900) 525–01–97. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6827-5102>

Information about the authors

Irina Yu. Zaitseva, CSc (Bio), Junior Research Associate at the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Barley, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (166a Lenina St., Kirov, 610007, Russian Federation; phone: (900) 528–38–96; e-mail: irina-zajjceva30@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>)

Lyubov V. Panikhina, post-graduate student, Junior Research Associate at the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Barley, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (166a Lenina St., Kirov, 610007, Russian Federation; phone: (912) 362–95–32; e-mail: miss.lovemama@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>)

Irina N. Schennikova, DSc (Ag), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Barley, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (166a Lenina St., Kirov, 610007, Russian Federation; phone: (912) 737–63–44; e-mail: i.schennikova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>)

Nikolay A. Zhilin, CSc (Bio), Research Associate at the Seed Production Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (166a Lenina St., Kirov, 610007, Russian Federation; phone: (900) 525–01–97; e-mail: zhilin.nickolaj@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6827-5102>)

ФАКТОРЫ ИНДУКЦИИ ГИНОГЕНЕЗА ОГУРЦА (*CUCUMIS SATIVUS* L.) В КУЛЬТУРЕ СЕМЯЗАЧАТКОВ

Е.В. ОСМИНИНА, А.В. ВИШНЯКОВА, Я.Т. ЭЙДЛИН, Э.Р. МУРЗИНА,
А.А. МИРОНОВ, Д.Д. ЛИСОВАЯ, С.Г. МОНАХОС

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Повышение эффективности технологии производства удвоенных гаплоидов является актуальной задачей в целях расширения возможностей фундаментальных исследований и повышения темпов селекции коммерческих F1-гибридов. В данном исследовании изучено влияние компонентов индукционной питательной среды, гидролизата казеина 250 мг/л, 500 мг/л, глутатиона 10 мг/л, сочетания регуляторов роста TDZ 0,04 мг/л, 2,4-D0,15 мг/л на гиногенную отзывчивость огурца в культуре неоплодотворенных семязачатков. У 2 образцов показано повышение частоты гиногенной индукции семязачатков более чем в 2 раза при культивировании на индукционной питательной среде, дополненной 250 мг/л гидролизата казеина. Добавление в питательную среду 10 мг/л глутатиона способствует повышению частоты гиногенной индукции семязачатков в 1,5–2 раза у 3 образцов из 6. Сочетание регуляторов роста TDZ 0,04 мг/л, 2,4-D0,15 мг/л повышает частоту гиногенной индукции семязачатков в 1,5–2 раза у 2 образцов из 6. Установлено, что культивирование фрагментов завязи огурца на питательной среде, дополненной 0,5 мг/л нутресцина, приводит к резкому снижению частоты гиногенной индукции семязачатков. Полученные данные о влиянии компонентов индукционной питательной среды в культуре семязачатков могут быть использованы для оптимизации технологии производства удвоенных гаплоидов огурца.

Ключевые слова: *огурец, Cucumis sativus L., гиногенез, удвоенные гаплоиды, культура семязачатков, частота гиногенной индукции.*

Введение

В настоящее время селекция сельскохозяйственных растений тесно связана с применением современных биотехнологических методов. Биотехнологические методы позволяют значительно ускорить создание новых коммерческих F1-гибридов и повысить эффективность селекционного процесса. F1-гибриды отличаются от сортов рядом преимуществ: высокая однородность, устойчивость к биотическим и абиотическим факторам, высокая урожайность, защита растительного материала от нелегального семеноводства [5].

Огурец (*Cucumis sativus* L.) является наиболее экономически важной культурой среди всех видов семейства *Cucurbitaceae*. По данным FAOSTAT за 2021 г., Россия заняла 6 место в мире по посевным площадям, занимаемыми огурцами, – более 38 тыс. га. По показателю урожайности Российская Федерация находится на 46 месте. Значительное повышение урожайности овощных культур, в том числе огурца, обеспечивается за счет создания новых коммерческих F1-гибридов, обладающих комплексом хозяйственно-ценных признаков. Однако время создания F1-гибридов огурца с использованием классических методов селекции занимает более 6 лет.

Для производства семян F1-гибридов требуются чистые гомозиготные родительские линии, создание которых сопряжено с рядом временных, трудовых и финансовых затрат. Значительно уменьшить сроки создания чистых линий помогает один из биотехнологических методов – технология создания удвоенных гаплоидов (DH) [2]. Использование данной технологии позволяет избегать процесса

принудительного самоопыления и сократить время на создание чистых гомозиготных линий с более чем четырех лет до одного года у однолетних культур [3, 14].

Помимо использования в селекционном процессе, ДН-технологии находят применение в фундаментальных исследованиях [1]. Технология создания удвоенных гаплоидов имеет важное значение для исследований в области генетики и эмбриологии растений, позволяет изучать генетические взаимодействия, процессы эмбрионального развития и мутагенеза [11, 14, 24].

В основе технологии создания удвоенных гаплоидов лежит стимулирование перехода мужского или женского гаметофита с гаметофитного пути развития на спорофитный за счет различных индуцирующих факторов с последующим образованием эмбриоидов или морфогенного каллуса.

Для производства удвоенных гаплоидов огурца используют: гаплоидный партеногенез, индуцируемый опылением инактивированной облучением пыльцой; андрогенез, культивируя микроспоры или пыльники *in vitro*; гиногенез, культивируя завязи или семязачатки *in vitro* [11].

Технология создания удвоенных гаплоидов на основе гиногенеза состоит из последовательных этапов:

1. Выращивание и подготовка донорных растений, изоляция и поверхностная стерилизация завязей за 1–2 дня до цветения.
2. Инокуляция изолированных семязачатков на питательную среду *in vitro* и стимулирование перехода яйцеклетки с гаметофитного пути развития на спорофитный за счет различных индуцирующих факторов.
3. Оценка уровня пloidности растений-регенерантов с последующим удвоением хромосом выделенных гаплоидных растений.
4. Оценка гомо-, гетерозиготности растений-регенерантов с использованием молекулярных маркеров с целью исключения клонов из диплоидных тканей семязачатка или фрагмента завязи.
5. Адаптация и укоренение растений удвоенных гаплоидов в почвенном субстрате и производство семян линий удвоенных гаплоидов.

Существующие протоколы производства гиногенных удвоенных гаплоидов огурца обладают низкой эффективностью и нуждаются в оптимизации с целью повышения частоты эмбриогенеза. По результатам исследований, частота эмбриогенеза варьируется от 0,12 до 18,4 эмбриоидов на завязь [14, 16]. Один из лучших результатов зафиксирован у Diao et al. (2009). Согласно их данным частота образования эмбриоидов в культуре семязачатков огурца составила 89,4% [10].

На индукцию гиногенеза влияет ряд требующих изучения факторов – таких, как генотип донорного растения, условия выращивания и подготовки донорных растений, тип экспланта, стадия развития экспланта, тип питательной среды и ее компоненты, температурная обработка [16, 17].

Цель исследований: изучение влияния компонентов питательной среды (гидролизат казеина, глутатион, TDZ и 2,4-D, путресцин) на частоту гиногенной индукции семязачатков огурца (*Cucumis sativus* L.) в культуре семязачатков.

Материал и методы исследований

Растительный материал и условия его выращивания. В качестве донорных растений использовали 3 коммерческих F1-гибрида (F1 Спринт, F1 Дружный, F1 Добрыня) и 3 селекционные гибридные комбинации (№ 13, № 21, № 26). F1 Спринт – раннеспелый пчелоопыляемый гибрид, преимущественно женского типа цветения, устойчивый к оливковой пятнистости, вирусу огуречной мозаики (ВОМ), мучнистой росе (МР) и ложной мучнистой росе (ЛМР); F1 Дружный – раннеспелый,

партенокарпический гибрид женского типа цветения, устойчивый к кладоспориозу, ВОМ, МР; F1 Добрыня – среднеранний, партенокарпический гибрид женского типа цветения, устойчивый к кладоспориозу, ВОМ, МР.

Посев производили в кассеты 8 × 8, наполненные торфяным субстратом (Агробалт, Россия), заправленным комплексными минеральными удобрениями N120, P2O5 80, K2O 140, Mg 30, Ca 170 мг/л, Cu 9, Mn 40, Zn 9, Co 0,001 мг/кг, pH (H2O) 5,5–6,6 в третьей декаде июля. Через 30 суток рассаду высаживали в необогреваемую пленочную теплицу с естественным освещением в фазе 3 настоящих листьев. Через 4–5 суток растения подвязывали к вертикальной шпалере. Ослепление и удаление боковых побегов не производили; осуществляли удаление усов. Полив осуществляли по мере необходимости. Корневые подкормки аммиачной селитрой (содержание общего азота – 34,4%) осуществляли каждую неделю.

Культура семязачатков. Отбор завязей осуществляли спустя 2 недели после распускания первого цветка на растении за сутки до раскрытия бутона в стадии ярко окрашенного венчика.

Культивирование семязачатков осуществляли согласно методике (Diao, W. P., 2009) с модификациями. С завязей удаляли околоцветник и трихомы, промывали под проточной водой. Поверхностную стерилизацию проводили в ламинарном боксе в растворе 70%-ного этанола в течение 60 с, затем завязи помещали в раствор 2%-ного гипохлорита натрия с добавлением 1–2 капель Tween 20 в течение 10 мин с последующим трехкратным промыванием в стерильной дистиллированной воде в течение 1, 5, 10 мин.

Семязачатки в составе дисков толщиной 1–2 мм, нарезанных скальпелем из завязей, инокулировали пинцетом на твердую индукционную питательную среду в чашки Петри 100 × 20 мм, по одной завязи на чашку. Количество фрагментов зависело от величины завязи образца и варьировало от 15 до 30 шт. В качестве повторности использовали одну чашку Петри. Для каждого изучаемого фактора было использовано не менее 7 повторностей.

В качестве индукционной питательной среды использовали МС (Murashige T., Skoog F., 1962), дополненную 3%-ной сахарозой, 0,8%-ным агаром (Sigma-Aldrich, Германия), 0,04 мг/л тидиазурона (TDZ) (Sigma-Aldrich, Германия), 10 мг/л нитрата серебра. Данную индукционную питательную среду использовали в качестве контроля. Тидиазурон растворяли в 1 мл 1 М КОН, доводили бидистиллированной водой до концентрации 1 мг/мл, стерилизовали фильтрованием, добавляли после автоклавирования в питательную среду, охлажденную до температуры 60°C. Нитрат серебра добавляли после автоклавирования питательной среды; pH среды – 5,8 до автоклавирования.

К индукционной питательной среде добавляли изучаемые компоненты. Изучали влияние на частоту индукции гиногенного развития семязачатков компонентов индукционной питательной среды:

- 1) гидролизат казеина – 250 мг/л, 500 мг/л;
- 2) глутатион – 10 мг/л (Sigma-Aldrich, Германия);
- 3) сочетание регуляторов роста TDZ 0,04 мг/л, 2,4-D0,15 мг/л (Sigma-Aldrich, Германия);
- 4) путресцин – 0,5 мг/л (Sigma-Aldrich, Германия).

Экспланты инкубировали при температуре 35°C в темноте в течение 3 суток, далее – при температуре 25°C и 16-часовом фотопериоде.

Через 2 недели семязачатки переносили на регенерационную питательную среду МС, дополненную 3%-ной сахарозой, 0,8%-ным агаром, 1,5 мг/л 6-ВАР (Alfa Aesar, Германия). 6-ВАР разводили при помощи 1 мл 1 М КОН, доводили бидистиллированной водой до концентрации 1 мг/мл, стерилизовали при помощи фильтрстерилизации. Уровень pH среды – 5,8 до автоклавирования. Пересадку на свежую питательную среду осуществляли каждые 2 недели.

Статистический анализ данных. Частоту гиногенной индукции оценивали через 30 суток культивирования семязачатков на питательной среде. К индукции гиногенного развития семязачатков относили зеленые, увеличенные в размерах в 2 раза и более, выступающие на поверхности диска завязи семязачатки. Частоту гиногенной индукции определяли как число гиногенно развившихся семязачатков на завязь. Статистический анализ данных проводили с помощью теста Манна-Уитни на 5%-ном уровне значимости ($P < 0,05$) с использованием программного пакета R Studio.

Результаты и их обсуждение

Гиногенное развитие семязачатков наблюдали на всех вариантах питательных сред в среднем через неделю после инокуляции. Семязачатки увеличивались в размерах в 2 раза и более, изменяли цвет с белого на зеленый и выступали на поверхности поперечного среза завязи (рис. 1А). Неотзывчивые образцы не формировали увеличенных семязачатков (рис. 1Б). Через 2 недели культивирования у всех изучаемых образцов на поверхности дисков завязей формировались клетки каллуса.

Гиногенное развитие семязачатков наблюдали с большей частотой при непосредственном контакте с питательной средой, с нижней стороны диска завязи огурца. Некоторые семязачатки отделялись от окружающих тканей диска завязи, что в последующем приводило к некрозу тканей или формированию каллуса с последующим некрозом (рис. 1В). В ранних исследованиях также было показано, что морфогенные структуры образуются только при культивировании семязачатков в составе дисков завязей. При этом идентифицировать происхождение морфогенных структур не удалось [4].

Формирование морфогенных структур и далее формирование органов из культивируемых семязачатков наблюдали через 30–60 суток от начала культивирования в зависимости от генотипа (рис. 1Г, 1Д). Прямой эмбриогенез не наблюдали ни на одном из образцов ни в одном из вариантов опыта включая контроль. Эмбриониды формировались из каллуса (рис. 1Е).

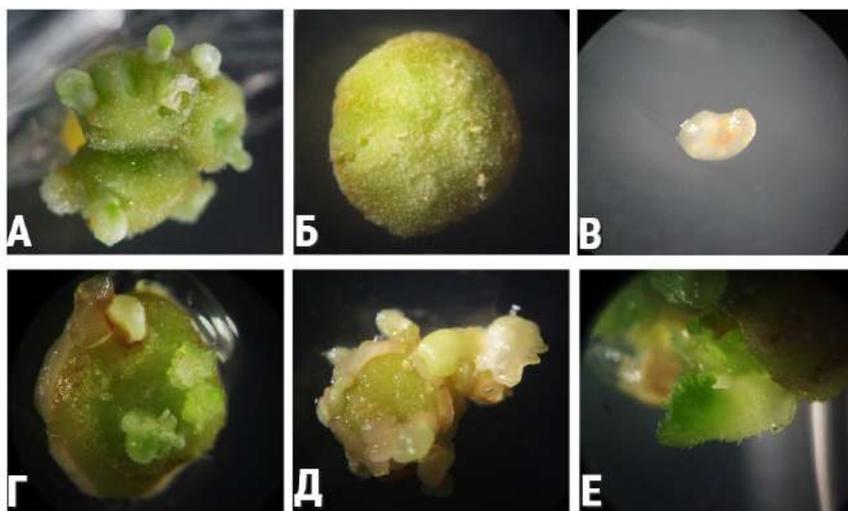


Рис. 1. Вариации гиногенного развития в культуре семязачатков огурца: А) гиногенно развивающиеся семязачатки; Б) диск завязи с неотзывчивыми семязачатками; В) семязачаток, спонтанно отделившийся от диска завязи; Г) морфогенные структуры, сформированные из семязачатков; Д) органогенный каллус и органогенез; Е) эмбрионид, сформированный из каллуса

Изучение влияния гидролизата казеина на частоту гиногенной индукции огурца в культуре семязачатков. При культивировании поперечных срезов завязи огурца на индукционной питательной среде с добавлением 250 мг/л гидролизата казеина наблюдали статистически достоверное повышение среднего числа гиногенно развивающихся семязачатков у 2 из 6 образцов (F1 Спринт, № 21) по сравнению с эксплантами, культивируемыми на питательной среде без добавления гидролизата казеина (контроль). Наблюдали положительную тенденцию увеличения среднего числа гиногенно развивающихся семязачатков при культивировании на питательной среде с добавлением 250 мг/л гидролизата казеина у 2 из 6 образцов (F1 Дружный, F1 Добрыня). Гибридная комбинация № 26 показала достоверное уменьшение среднего числа семязачатков при культивировании поперечных фрагментов на питательной среде, содержащей 250 мг/л гидролизата казеина, по сравнению со средой без гидролизата казеина (табл. 1).

При культивировании поперечных срезов завязи огурца на индукционной питательной среде, дополненной 500 мг/л гидролизата казеина, не отметили достоверных различий на 5%-ном уровне значимости у 5 из 6 образцов. Наблюдали тенденцию снижения среднего числа гиногенно развивающихся семязачатков при культивировании на питательной среде, дополненной 500 мг/л гидролизата казеина, по сравнению с питательной средой без гидролизата казеина у 2 из 6 образцов. Гибридная комбинация № 26 показала достоверное снижение среднего числа индуцированных семязачатков при культивировании поперечных срезов на питательной среде, дополненной 500 мг/л гидролизата казеина, по сравнению с питательной средой без гидролизата казеина (табл. 1).

Из представленных данных следует, что добавление в индукционную питательную среду гидролизата казеина 500 мг/л менее эффективно по сравнению с питательной средой при добавлении 250 мг/л гидролизата казеина. Частота индукции гиногенеза при культивировании эксплантов на питательной среде, дополненной 500 мг/л гидролизата казеина, повышается незначительно либо снижается по сравнению со средой с добавлением 250 мг/л гидролизата казеина. Гибрид F1 Спринт сформировал большее число гиногенно развивающихся семязачатков (44,8 шт/завязь при культивировании семязачатков на среде с 250 мг/л гидролизата казеина) и меньшее (33 шт/завязь) – на среде с 500 мг/л гидролизата казеина. Пониженная концентрация гидролизата казеина (250 мг/л) способствует повышению частоты гиногенной индукции у отдельных образцов.

Таблица 1

Влияние гидролизата казеина в концентрации 250 мг/л на частоту гиногенной индукции семязачатков огурца, шт/завязь

| Образец | Без добавления гидролизата казеина | Гидролизат казеина, 250 мг/л | Гидролизат казеина, 500 мг/л |
|------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| F1 Спринт | 14,8 а | 44,8 b | 33,0 а |
| F1 Дружный | 22,5 а | 32,6 а | 34,4 а |
| F1 Добрыня | 32,5 а | 34,3 а | 37,0 а |
| № 13 | 21,8 а | 21,5 а | 12,8 а |
| № 21 | 10,9 а | 26,8 b | 7,5 а |
| № 26 | 31,1 а | 16,0 b | 13,5 b |

Примечание. Значения в строке, отмеченные одинаковыми строчными буквами (а), согласно U-критерию Манна-Уитни не имеют существенного различия на 5%-ном уровне значимости ($P \leq 0,05$).

Изучение влияния глутатиона на частоту гиногенной индукции огурца в культуре семязачатков. Согласно данным таблицы 2 частота гиногенной индукции достоверно различается при культивировании на питательной среде, дополненной 10 мг/л глутатиона, и без добавления глутатиона у 3 из 6 образцов. Так, гибридная комбинация № 13 сформировала 54,7 шт/завязь гиногенно развивающихся семязачатков на питательной среде, дополненной 10 мг/л глутатиона, и 21,8 шт/завязь на питательной среде без глутатиона. Гибридная комбинация № 21 на питательной среде с глутатионом сформировала 31,4 шт/завязь гиногенно развивающихся семязачатков, на питательной среде без глутатиона – 10,9 шт/завязь семязачатков соответственно. Образец F1 Спринт на питательной среде с глутатионом сформировал 26,0 шт/завязь гиногенно развивающихся семязачатков, на питательной среде без глутатиона – 14,8 шт/завязь соответственно. Наблюдалась тенденция увеличения частоты образования гиногенно развивающихся семязачатков у 3 из 6 образцов (F1 Дружный, F1 Добрыня, № 26).

Изучение влияния регуляторов роста TDZ и 2,4-D на частоту гиногенной индукции огурца в культуре семязачатков. У 2 из 6 образцов, F1 Спринт и № 21, отмечена тенденция увеличения числа гиногенно развивающихся семязачатков на индукционной питательной среде, дополненной 0,04 мг/л TDZ и 0,15 мг/л 2,4-D, по сравнению с питательной средой, дополненной только TDZ (0,04 мг/л) (табл. 3). Образцы F1 Добрыня и F1 Дружный показали снижение числа гиногенно развивающихся семязачатков при культивировании на индукционной питательной среде, дополненной сочетанием регуляторов роста TDZ и 2,4-D. Сочетание регуляторов роста 0,04 мг/л TDZ и 0,15 мг/л 2,4-D оказывают существенное влияние на частоту гиногенной индукции в культуре семязачатков огурца у 2 из 6 образцов по сравнению с питательной средой, дополненной только 0,04 мг/л TDZ.

Изучение влияния путресцина в индукционной питательной среде на частоту гиногенной индукции огурца в культуре семязачатков. При культивировании дисков завязей огурца на питательной среде, дополненной 0,5 мг/л путресцина, и без него частота гиногенной индукции достоверно различается (табл. 4). Наблюдали статистически значимое снижение числа гиногенно развивающихся семязачатков при культивировании эксплантов на питательной среде, дополненной путресцином, у всех образцов. Гибриды F1 Спринт и F1 Добрыня не формировали гиногенно развивающихся семязачатков на питательной среде, дополненной 0,5 мг/л путресцина. Диски завязей не формировали каллус на поверхности среза, изменяли цвет с зеленого на бледно-желтый.

Таблица 2

Влияние глутатиона в концентрации 10 мг/л на частоту гиногенной индукции в культуре семязачатков огурца, шт/завязь

| Образец | Без добавления глутатиона | Глутатион, 10 мг/л |
|------------|---------------------------|--------------------|
| F1 Спринт | 14,8 а | 26,0 b |
| F1 Дружный | 22,5 а | 33,0 а |
| F1 Добрыня | 32,5 а | 34,3 а |
| № 13 | 21,8 а | 54,7 b |
| № 21 | 10,9 а | 31,4 b |
| № 26 | 31,1 а | 49,6 а |

Примечание. Значения в строке, отмеченные одинаковыми строчными буквами (а), согласно U-критерию Манна-Уитни не имеют существенного различия на 5%-ном уровне значимости ($P \leq 0,05$).

Таблица 3

**Влияние регуляторов роста 0,04 мг/л TDZ и 0,15 мг/л 2,4-D
на частоту гиногенной индукции в культуре семязачатков огурца, шт/завязь**

| Образец | 0,04 мг/л TDZ | TDZ 0,04 мг/л и 2,4-D 0,15 мг/л |
|------------|---------------|------------------------------------|
| F1 Спринт | 14,8 а | 33,0 а |
| F1 Дружный | 22,5 а | 22,1 а |
| F1 Добрыня | 32,5 а | 16,8 а |
| № 13 | 21,8 а | 44,1 b |
| № 21 | 10,9 а | 15,8 а |
| № 26 | 31,1 а | 54,6 b |

Примечание. Значения в строке, отмеченные одинаковыми строчными буквами (а), согласно U-критерию Манна-Уитни не имеют существенного различия на 5%-ном уровне значимости ($P \leq 0,05$).

Таблица 4

**Влияние путресцина в концентрации 0,5 мг на частоту гиногенной индукции
в культуре семязачатков огурца, шт/завязь**

| Образец | Без добавления путресцина | Путресцин, 0,5 мг/л |
|------------|---------------------------|---------------------|
| F1 Спринт | 14,8 а | 0 b |
| F1 Дружный | 22,5 а | 2,7 b |
| F1 Добрыня | 32,5 а | 0 b |
| № 13 | 21,8 а | 7,25 b |
| № 21 | 10,9 а | 3,4 b |
| № 26 | 31,1 а | 5,8 b |

Примечание. Значения в строке, отмеченные одинаковыми строчными буквами (а), согласно U-критерию Манна-Уитни не имеют существенного различия на 5%-ном уровне значимости ($P \leq 0,05$).

Обсуждение. Использование в питательных средах органических компонентов, в том числе гидролизата казеина, широко практикуется в различных биотехнологических методах. Гидролизат казеина является источником аминокислот, и в меньшей степени – фосфатов, витаминов, микроэлементов. Некоторые исследователи пришли к выводу о том, что гидролизат казеина может быть более эффективным в культуре клеток и тканей, чем аминокислоты [12]. Как правило, гидролизат казеина используют при создании удвоенных гаплоидов в культуре пыльников у таких культур, как ячмень, кукуруза, рис [19, 20, 25].

Y. Zhu с соавт. (2019) использовал индукционную питательную среду, дополненную 600 мг/л гидролизата казеина, для индукции гиногенеза в культуре семязачатков арбуза [27]. D. Skalova с соавт. (2010) отметил положительный эффект добавления 1 г/л гидролизата казеина в питательную среду, используемую для технологии спасения зародышей при отдаленной гибридизации видов рода *Cucumis* [18]. Согласно данным N. Ahmad, M. Anis (2005) использование 200 мг/л гидролизата казеина значительно повысило количество пазушных побегов при микроклональном размножении огурца [6].

Результаты исследований показали, что добавление в индукционную питательную среду гидролизата казеина в концентрации 250 мг/л повысило частоту гиногенной индукции в 2 раза и более у 2 из 6 образцов. Повышение концентрации гидролизата казеина до 500 мг/л является менее эффективным и снижает число гиногенно развивающихся семязачатков по сравнению с питательной средой, дополненной 250 мг/л.

Один из возможных ограничивающих факторов, влияющих на регенерацию в культуре клеток и тканей, – окислительный стресс, возникающий вследствие повреждения клеток активными формами кислорода. Минимизировать отрицательное влияние свободных радикалов и абиотического стресса могут антиоксиданты: аскорбиновая кислота, глутатион, мелатонин и др. Глутатион является одним из наиболее часто используемых антиоксидантов, может влиять на активность ферментов при метилировании ДНК, а также увеличивать частоту эмбриогенеза и темпы регенерации [8]. Согласно данным Żur et al. (2019) и Zieliński et al. (2020) добавление глутатиона в питательную среду позволило повысить частоту эмбриогенеза у ржи и тритикале [28, 29]. A. Zeng и соавт. (2017) отметили значительное увеличение частоты образования эмбриоидов у брокколи при культивировании изолированных микроспор на питательной среде, дополненной 20 мг/л глутатиона [26].

В наших исследованиях отмечено повышение частоты гиногенной индукции в культуре семязачатков огурца у 3 из 6 изученных образцов в 1,5–2 раза при добавлении в индукционную питательную среду 10 мг/л глутатиона.

Регуляторы роста в составе питательной среды являются одними из основных факторов, влияющих на эффективность технологии создания удвоенных гаплоидов. Для индукции гиногенеза огурца наиболее часто используется тидиазурон (TDZ) в различных концентрациях [3, 9, 16]. Ряд исследователей отмечает, что сочетание ауксинов и цитокининов в различных соотношениях повышает частоту эмбриогенеза в культуре семязачатков огурца. По данным P.A. Tantasawat с соавт. (2015), наиболее высокую частоту эмбриогенеза наблюдали при использовании индукционной питательной среды, дополненной 1 мг/л TDZ и 1 мг/л 6-BAР [21]. M. Golabadi и соавт. (2017) отметили, что частота эмбриогенеза повышается при добавлении в индукционную питательную среду 1,5 мг/л 2,4-D и 1 мг/л кинетина [15]. G. Vaktemur с соавт. (2022) в своем исследовании отметил, что сочетание регуляторов роста кинетина (1,5 мг/л) и 2,4-D (0,15 мг/л) способствует значительному повышению частоты образования эмбриоидов и проростков [7].

В результате наших исследований отмечено, что сочетание регуляторов роста 0,04 мг/л TDZ и 0,15 мг/л 2,4-D в индукционной питательной среде повышает частоту гиногенной индукции у 2 из 6 образцов в 1,5–2 раза.

Полиамины связаны со многими важными клеточными процессами – такими, как деление клеток, синтез белка, репликация ДНК, реакция на абиотический стресс, регуляция ризогенеза и эмбриогенез. Полиамины выступают в качестве ингибитора синтеза этилена. Согласно многочисленным исследованиям для создания удвоенных гаплоидов на основе гиногенеза у огурца в индукционную питательную

среду добавляют нитрат серебра для снижения скорости синтеза этилена [10, 15, 16]. М. Thiruvengadam и соавт. (2013) отметили увеличение частоты соматического эмбриогенеза у *Momordica dioica Roxb. ex. Willd* при добавлении в питательную среду 0,5 μM путресцина [23]. Сочетание регуляторов роста и полиаминов (спермидин, спермин и путресцин) в различных концентрациях в составе питательной среды способствовало повышению темпов регенерации *Cucumis anguria L.* [22]. М.Н. Erol (2019) исследовал влияние полиаминов спермидина и путресцина на частоту эмбриогенеза в культуре изолированных семязачатков огурца в концентрациях 40, 80, 120, 160, 200 μM и сочетания спермидина и путресцина в соотношении 1:1 в различных концентрациях. Частота образования эмбриоидов в его исследовании сильно варьировала в зависимости от образца [13].

В нашем исследовании было отмечено, что использование индукционной питательной среды, дополненной 0,5 мг/л путресцина, значительно снижает частоту гиногенной индукции в культуре семязачатков огурца. У некоторых образцов совсем не наблюдалось формирование гиногенно развивающихся семязачатков. Можно предположить, что сочетание путресцина и нитрата серебра (AgNO_3), выступающих в качестве ингибиторов этилена, оказывает сильное ингибирующее действие на эмбриогенез в культуре семязачатков огурца.

Выводы

В исследованиях установлено влияние компонентов индукционной питательной среды на частоту гиногенной индукции в культуре семязачатков огурца. Добавление в питательную среду гидролизата казеина в концентрации 250 мг/л повышает частоту гиногенной индукции более чем в 2 раза у 2 из 6 образцов. Повышение концентрации гидролизата казеина приводит к снижению числа гиногенно развивающихся семязачатков. Добавление в питательную среду 10 мг/л глутатиона повышает частоту гиногенно развивающихся семязачатков в 1,5–2 раза у 3 из 6 образцов. Сочетание регуляторов роста 0,04 мг/л TDZ и 0,15 мг/л 2,4-D позволяет повысить частоту индукции гиногенного развития семязачатков в 1,5–2 раза у 2 из 6 образцов. Добавление в индукционную питательную среду 0,5 мг/л путресцина резко снижает частоту гиногенной индукции в культуре семязачатков огурца у всех образцов.

Полученные данные могут быть применены для оптимизации технологии создания удвоенных гаплоидов огурца в культуре семязачатков с целью повышения частоты индукции гиногенеза.

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

Библиографический список

1. Вишнякова А.В., Александрова А.А., Монахос С.Г. Факторы прямого прорастания микроспорогенных эмбриоидов *Brassica Napus L.* // Известия ТСХА. – 2022. – № 6. – С. 43–53.
2. Григолава Т.Р., Вишнякова А.В., Сеницына А.А. и др. Методические подходы создания удвоенных гаплоидов сахарной и столовой свеклы (*Beta vulgaris L.*) // Вавилонский журнал генетики и селекции. – 2021. – Т. 25, № 3. – С. 276–283.

3. Домблides Е.А., Шмыкова Н.А., Белов С.Н. и др. Получение ДН-растений огурца (*Cucumis sativus* L.) в культуре неопыленных семян in vitro // Овощи России. – 2019. – № 6. – С. 3–9.
4. Осминина Е.В., Моначос С.Г. Особенности индукции гиногенеза в культуре изолированных семязачатков и фрагментов завязи *Cucumis sativus* L. // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова (г. Москва, 6–8 июня 2022 г.). – М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022. – Т. 2. – С. 301–304.
5. Шмыкова Н.А., Химич Г.А., Коротцева И.Б., Домблides Е.А. Перспективы получения удвоенных гаплоидов растений семейства Cucurbitaceae // Овощи России. – 2015. – № 3–4. – С. 28–31.
6. Ahmad N., Anis M. In Vitro Mass Propagation of *Cucumis sativus* L. from Nodal Segments // Turkish Journal of Botany. – 2005. – Vol. 29, № 3. – Pp. 237–240.
7. Baktemur G., Keles D., Kara E. et al. Effects of Genotype and Nutrient Medium on Obtaining Haploid Plants through Ovary Culture in Cucumber // Molecular Biology Reports. – 2022. – Vol. 49, № 6. – Pp. 5451–5458.
8. Bednarek P.T., Orłowska R., Mankowski D.R. et al. Glutathione and Copper Ions as Critical Factors of Green Plant Regeneration Efficiency of Triticale In Vitro Anther Culture // Frontiers in Plant Science. – 2022. – Vol. 13. – Art. 926305. DOI: 10.3389/fpls.2022.926305.
9. Deng Y., Tang B., Zhou X. et al. Direct Regeneration of Haploid or Doubled Haploid Plantlets in Cucumber (*Cucumis sativus* L.) through Ovary Culture // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 2020. – Vol. 142, № 2. – Pp. 253–268.
10. Diao W.P., Jia Y.Y., Song H. et al. Efficient Embryo Induction in Cucumber Ovary Culture and Homozygous Identification of the Regenetants Using SSR Markers // Scientia Horticulturae. – 2009. – Vol. 119, № 3. – Pp. 246–251.
11. Dong Y.Q., Zhao W.X., Li X.H. et al. Androgenesis, Gynogenesis, and Parthenogenesis Haploids in cucurbit species // Plant Cell Reports. – 2016. – Vol. 35. – Pp. 1991–2019.
12. Elmeier K.E.S. Factors Regulating somatic embryogenesis in plants // Somatic Embryogenesis and Gene Expression. – New Delhi: Narosa Publ., 2013. – Pp. 56–81.
13. Erol M.H., Sari N. The Effect of Ovule-ovary Culture and Spermidine-putrescine Applications on Haploid Embryo Induction of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) // Alatarim. – 2019. – Vol. 18, № 2. – Pp. 108–117.
14. Gemes-Juhasz A., Balogh P., Ferenczy A., Kristof Z. Treatment on In Vitro Gynogenesis Induction in Cucumber (*Cucumis sativus* L.) // Effect of Optimal Stage of Female Gametophyte and Heat Plant Cell Reports. – 2002. – Vol. 21. – Pp. 105–111.
15. Golabadi M., Ghanbari Y., Keighobadi K., Ercisli S. Embryo and Callus Induction by Different Factors in Ovary Culture of Cucumber // Journal of Applied Botany and Food Quality. – 2017. – Vol. 90. – Pp. 68–75. DOI: 10.5073/JABFQ.2017.090.010.
16. Li J.W., Si S.W., Cheng J.Y. et al. Thidiazuron and Silver Nitrate Enhanced Gynogenesis of Unfertilized Ovule Cultures of *Cucumis sativus* // Biologia Plantarum. – 2013. – Vol. 57, № 1. – Pp. 164–168.
17. Shalaby T.A. Factors Affecting Haploid Induction through In Vitro Gynogenesis in Summer Squash (*Cucurbita pepo* L.) // Scientia Horticulturae. – 2007. – Vol. 115, № 1. – Pp. 1–6. DOI: 10.1016/j.scienta.2007.07.008.
18. Skalova D., Ondrej V., Dolezalova I. et al. Polyploidization Facilitates Biotechnological In Vitro Techniques in the Genus *Cucumis* // BioMed Research International. – 2010. – Vol. 2010. – Art. 475432. DOI: 10.1155/2010/475432.

19. *Sriskandarajah S., Sameri M., Lerceteau-Köhler E., Westerbergh A.* Increased Recovery of green doubled haploid plants from barley anther culture // *Crop Science*. – 2015. – Vol. 55, № 6. – Pp. 2806–2812. DOI: 10.2135/cropsci2015.04.0245.
20. *Tang F.* In Vitro Production of Haploid and Doubled Haploid Plants from Pollinated Ovaries of Maize (*Zea mays*) // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. – 2006. – Vol. 84. – Pp. 233–237.
21. *Tantasawat P.A., Sorntip A., Poolsawat O. et al.* Evaluation of Factors Affecting Embryo-like Structure and Callus Formation in Unpollinated Ovary Culture of Cucumber (*Cucumis sativus*) // *International Journal of Agriculture and Biology*. – 2015. – Vol. 17, № 3. – Pp. 613–618. <https://doi.org/10.17957/ijab.17.3.14.257>.
22. *Thiruvengadam M., Chung I.M.* Phenolic Compound Production and Biological Activities from In Vitro Regenerated Plants of Gherkin (*Cucumis anguria* L.) // *Electronic Journal of Biotechnology*. – 2015. – Vol. 18, № 4. – Pp. 295–301.
23. *Thiruvengadam M., Rekha K.T., Jayabalan N. et al.* Effect of Exogenous Polyamines Enhances Somatic Embryogenesis via Suspension Cultures of Spine Gourd (*Momordica dioica* Roxb. ex. Willd.) // *Australian Journal of Crop Science*. – 2013. – Vol. 7, № 3. – Pp. 446–453.
24. *Wędzony M., Forster B.P., Żur I. et al.* Progress in Doubled Haploid Technology in Higher Plants // *Advances in Haploid Production in Higher Plants*. – 2009. – Pp. 1–33.
25. *Lee S.Y., Lee J.H., Kwon T.O.* Selection of Salt-tolerant Doubled Haploids in Rice Anther Culture // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. – 2003. – Vol. 74. – Pp. 143–149.
26. *Zeng A., Song L., Cui Y., Yan J.* Reduced Ascorbate and Reduced Glutathione Improve Embryogenesis in Broccoli Microspore Culture // *South African Journal of Botany*. – 2017. – Vol. 109. – Pp. 275–280. DOI: 10.1016/j.sajb.2017.01.005.
27. *Zhu Y., Sun D., Deng Y.* Regeneration of double haploid plants from unpollinated ovary cultures of watermelon // *Research Square*. – 2019. – URL: <https://www.researchsquare.com/article/rs-4797/v1/> (дата обращения: 12.02.2024). DOI: 10.21203/rs.2.14098/v1.
28. *Zieliński K., Krzewska M., Żur I. et al.* The Effect of Glutathione and Mannitol on Androgenesis in Anther and Isolated Microspore Cultures of Rye (*Secale cereale* L.) // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. – 2020. – Vol. 140, № 3. – Pp. 577–592. DOI: 10.1007/s11240-019-01754-9.
29. *Żur I., Dubas E., Krzewska M. et al.* Glutathione Provides Antioxidative Defence and Promotes Microspore-derived Embryo Development in Isolated Microspore Cultures of Triticale (\times *Triticosecale* Wittm.) // *Plant Cell Reports*. – 2019. – Vol. 38. – Pp. 195–209. DOI: 10.1007/s00299-018-2362-x.

FACTORS AFFECTING GYNOGENESIS INDUCTION IN CUCUMBER (*CUCUMIS SATIVUS* L.) THROUGH OVARY CULTURE

E.V. OSMININA, A.V. VISHNYAKOVA, Y.T. EYDLIN, E.R. MURZINA,
A.A. MIRONOV, D.D. LISOVAYA, S.G. MONAKHOS

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

Improving the efficiency of doubled haploid technology is an urgent task to expand the possibilities of fundamental research and to increase the selection rate of commercial F1 hybrids. This study investigated the effect of the components of the induction nutrient medium:

casein hydrolyzate (250 mg/l and 500 mg/l), glutathione (10 mg/l), a combination of growth regulators TDZ (0.04 mg/l) and 2,4-D (0.15 mg/l) on the gynogenic response of cucumber in unfertilized ovules culture. The results showed that the addition of 250 mg/l of casein hydrolyzate to the induction medium resulted in a more than twofold increase in the frequency of gynogenic ovules in two samples. The addition of 10 mg/l of glutathione to the induction medium helps to increase the frequency of gynogenic ovules by 1.5 to 2 times in 3 out of 6 samples. The results showed that cultivation of cucumber ovary fragments on the induction medium supplemented with 0.5 mg/l of putrescine leads to decrease in frequency of gynogenic ovules. The obtained data on the influence of the components of the induction medium in the culture of ovules can be used to optimize the technology for the production of doubled haploids in cucumber.

Keywords: cucumber, *Cucumis sativus* L., gynogenesis, doubled haploids, ovule culture, frequency of gynogenic induction.

References

1. Vishnyakova A.V., Aleksandrova A.A., Monakhos S.G. Factors of direct germination of microspore derived embryos of *Brassica napus* L. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2022;1(6):43–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-6-43-53>
2. Grigolava T.R., Vishnyakova A.V., Sinitsyna A.A., Voronina A.V. et al. Methodological approaches for producing doubled haploids in sugar beet and red beet (*Deta vulgaris* L.). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(3):276–283. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ21.031>
3. Domblides E.A., Shmykova N.A., Belov S.N., Korotseva I.B., Soldatenko A.V. DH-plant production in culture of unpollinated ovules of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Vegetable crops of Russia*. 2019;(6):3–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-3-9>
4. Osminina E.V., Monakhos S.G. Peculiarities of gynogenesis induction in culture of isolated seed bracts and ovary fragments of *Cucumis sativus* L. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya molodykh uchyonykh i spetsialistov, posvyashchyonnaya 135-letiyu so dnya rozhdeniya A.N. Kostyakova. June 06–08, 2022*. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2022;2:301–304. (In Russ.)
5. Shmykova N.A., Khimich G.A., Korotseva I.B., Domblides E.A. Prospective of development of doubled haploid plants of Cucurbitaceae family. *Vegetable crops of Russia*. 2015;(3–4):28–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-3-4-28-31>
6. Ahmad N., Anis M. In vitro mass propagation of *Cucumis sativus* L. from nodal segments. *Turkish journal of botany*. 2005;29(3):237–240.
7. Baktetur G., Keles D., Kara E., Yıldız S., Taskın H. Effects of genotype and nutrient medium on obtaining haploid plants through ovary culture in cucumber. *Molecular Biology Reports*. 2022;49(6):5451–5458.
8. Bednarek P.T., Orłowska R., Mankowski D.R., Zimny J. et al. Glutathione and copper ions as critical factors of green plant regeneration efficiency of triticale in vitro anther culture. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:926305. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.926305>
9. Deng Y., Tang B., Zhou X., Fu W. et al. Direct regeneration of haploid or doubled haploid plantlets in cucumber (*Cucumis sativus* L.) through ovary culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2020;142(2):253–268.

10. Diao W.P., Jia Y.Y., Song H., Zhang X.Q. et al. Efficient embryo induction in cucumber ovary culture and homozygous identification of the regenerants using SSR markers. *Scientia Horticulturae*. 2009;119(3):246–251.
11. Dong Y.Q., Zhao W.X., Li X.H., Liu X.C. et al. Androgenesis, gynogenesis, and parthenogenesis haploids in cucurbit species. *Plant Cell Reports*. 2016;35:1991–2019.
12. Elmeer K.E.S. Factors regulating somatic embryogenesis in plants. In: *Somatic embryogenesis and gene expression*. New Delhi, India: Narosa Publishing House, 2013:56–81.
13. Erol M.H., Sari N. The effect of ovule-ovary culture and spermidine-putrescine applications on haploid embryo induction of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Alatarim*. 2019;18(2):108–117.
14. Gemes-Juhasz A., Balogh P., Ferenczy A., Kristof Z. Effect of optimal stage of female gametophyte and heat treatment on in vitro gynogenesis induction in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Cell Reports*. 2002;21:105–111.
15. Golabadi M., Ghanbari Y., Keighobadi K., Ercisli S. Embryo and callus induction by different factors in ovary culture of cucumber. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2017;90:68–75 <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2017.090.010>
16. Li J.W., Si S.W., Cheng J.Y., Li J.X. et al. Thidiazuron and silver nitrate enhanced gynogenesis of unfertilized ovule cultures of *Cucumis sativus*. *Biologia Plantarum*. 2013;57(1):164–168.
17. Shalaby T.A., Skalova D., Ondrej V., Dolezalova I. et al. Factors affecting haploid induction through in vitro gynogenesis in summer squash (*Cucurbita pepo* L.). *Scientia Horticulturae*. 2007;115(1):1–6. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.07.008>
18. Skalova D., Ondrej V., Dolezalova I., Navratilova B., Lebeda A. Polyploidization facilitates biotechnological in vitro techniques in the genus *Cucumis*. *BioMed Research International*. 2010;2010:475432. <https://doi.org/10.1155/2010/475432>
19. Srisankarajah S., Sameri M., Lerceteau-Köhler E., Westerbergh A. Increased recovery of green doubled haploid plants from barley anther culture. *Crop Science*. 2015;55(6):2806–2812. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.04.0245>
20. Tang F. In vitro production of haploid and doubled haploid plants from pollinated ovaries of maize (*Zea mays*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2006;84:233–237.
21. Tantasawat P.A., Sorntip A., Poolsawat O. et al. Evaluation of factors affecting embryo-like structure and callus formation in unpollinated ovary culture of cucumber (*Cucumis sativus*). *International Journal of Agriculture and Biology*. 2015;17(3):613–618. <https://doi.org/10.17957/ijab.17.3.14.257>
22. Thiruvengadam M., Chung I.M. Phenolic compound production and biological activities from in vitro regenerated plants of gherkin (*Cucumis anguria* L.). *Electronic Journal of Biotechnology*. 2015;18(4):295–301.
23. Thiruvengadam M., Rekha K.T., Jayabalan N. et al. Effect of exogenous polyamines enhances somatic embryogenesis via suspension cultures of spine gourd (*Momordica dioica* Roxb. ex. Willd.). *Australian Journal of Crop Science*. 2013;7(3):446–453.
24. Wędzony M., Forster B.P., Żur I. et al. Progress in doubled haploid technology in higher plants. *Advances in Haploid Production in Higher Plants*. 2009:1–33.
25. Yeob Lee S., Ho Lee J., Oh Kwon T. Selection of salt-tolerant doubled haploids in rice anther culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2003;74:143–149.
26. Zeng A., Song L., Cui Y., Yan J. Reduced ascorbate and reduced glutathione improve embryogenesis in broccoli microspore culture. *South African Journal of Botany*. 2017;109:275–280. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.01.005>

27. Zhu Y., Sun D., Deng Y. Regeneration of double haploid plants from unpollinated ovary cultures of watermelon. *Research Square*. 2019. <https://doi.org/10.21203/rs.2.14098/v1>
28. Zieliński K., Zieliński K., Krzewska M. et al. The effect of glutathione and mannitol on androgenesis in anther and isolated microspore cultures of rye (*Secale cereale* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2020;140(3):577–592. <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01754-9>
29. Žur I., Dubas E., Krzewska M. et al. Glutathione provides antioxidative defence and promotes microspore-derived embryo development in isolated microspore cultures of triticale (\times *Triticosecale* Wittm.). *Plant Cell Reports*. 2019;38:195–209. <https://doi.org/10.1007/s00299-018-2362-x>

Сведения об авторах

Осминина Екатерина Васильевна, ассистент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–41–71; e-mail: e.osminina@rgau-msha.ru

Вишнякова Анастасия Васильевна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–41–71; e-mail: a.vishnyakova@rgau-msha.ru

Эйдлин Яков Тарасович, ассистент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–41–71; e-mail: ya.eidlin@rgau-msha.ru

Мурзина Эльвира Рафаэлевна, ассистент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–41–71; e-mail: e.murzina@rgau-msha.ru

Миронов Алексей Александрович, канд. с.-х. наук, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–41–71; e-mail: a.mironov@rgau-msha.ru

Лисовая Дарья Дмитриевна, ассистент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–41–71; e-mail: d.lisovaya@rgau-msha.ru

Монахос Сократ Григорьевич, д-р с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–41–71; e-mail: s.monakhos@rgau-msha.ru

Information about the authors

Ekaterina V. Osminina, Assistant at the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: e.osminina@rgau-msha.ru)

Anastasiya V. Vishnyakova, CSc (Agr), Associate Professor at the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow

Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: a.vishnyakova@rgau-msha.ru)

Yakov T. Eydlin, Assistant at the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: ya.eidlin@rgau-msha.ru)

Elvira R. Murzina, Assistant at the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: e.murzina@rgau-msha.ru)

Aleksey A. Mironov, CSc (Agr), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: a.mironov@rgau-msha.ru)

Daria D. Lisovaya, Assistant at the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: d.lisovaya@rgau-msha.ru)

Sokrat G. Monakhos, DSc (Agr), Professor, Head of the Department Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–41–71; E-mail: s.monakhos@rgau-msha.ru)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И СПЕЦИФИЧНОСТИ МЕТОДОВ ПЦР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЧЕРНОЙ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ПЯТНИСТОСТИ ТОМАТА

О.О. БЕЛОШАПКИНА¹, И.Н. ПИСАРЕВА²¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева²Всероссийский центр карантина растений)

Статья посвящена молекулярно-генетическим методам диагностики возбудителей черной бактериальной пятнистости томата – вредоносного бактериального заболевания томата и перца, распространенного преимущественно в открытом грунте в южных регионах. Исследования проведены на базе Всероссийского центра карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР») в 2022–2023 гг. В задачи работы входило определение аналитической чувствительности и специфичности молекулярно-генетических методов выявления и идентификации трех видов разных патологических типов бактерий рода *Xanthomonas* – возбудителей черной бактериальной пятнистости томата. Ввиду необходимости импортозамещения дорогостоящих реагентов испытания проводили с отечественными реактивами производства фирм ООО «Евроген» и ЗАО «Диалат». Приведены результаты эффективности ПЦР «в реальном времени» (ПЦР-РВ), анализ которых показал, что все тестируемые праймерные системы можно рекомендовать для выявления возбудителей бактериоза. При этом установлено, что ПЦР-РВ AFLP derived Taqman PCR и ХорD Taqman PCR обладают высокой аналитической чувствительностью (10^2 – 10^3 КОЕ/мл). Показано, что 3 из 4 праймерных систем в соответствии с методикой Koenraad et al. (2009) также обладают высоким уровнем чувствительности – 10^2 КОЕ/мл. Аналитическая чувствительность праймеров Bs-XpF/R для выявления *X. euvesicatoria* pv. *perforans* составила 10^4 КОЕ/мл, что достаточно для образцов с высокой концентрацией патогена и для идентификации чистой культуры бактерий. Все праймеры обладают 100%-ной специфичностью по отношению к целевым штаммам патогенов. Перекрестные реакции с другими штаммами не отмечены. Предлагаемая достоверная оперативная методика выявления возбудителей черной бактериальной пятнистости в семенах томата и перца в значительной степени снизит потери урожая и повысит экономическую эффективность производства отечественных овощей.

Ключевые слова: черная бактериальная пятнистость томата, *Xanthomonas* spp., выявление семенной инфекции, ПЦР «в реальном времени», аналитическая чувствительность, специфичность методов.

Введение

Томат (*Solanum lycopersicum* L.) является одним из самых потребляемых овощей в мире [1]. По данным ФАО на 2022 г., томат в мире занимает первое место по площадям возделывания среди всех овощей: более 4,9 млн га с валовым сбором, превышающим 186 млн т. В России в промышленном секторе валовой сбор составил более 4,3 млн т (открытый грунт – 2,176 млн т, защищенный грунт – 2,212 млн т) [2].

В настоящее время производство томата невозможно без внедрения системы защиты этой культуры от болезней и вредителей как в открытом, так и в защищенном грунте. Среди болезней бактериальной этиологии наряду с бактериальным раком томата (*Clavibacter michiganensis* (Smith, Davis et al.), Li et al.) черная бактериальная пятнистость томата является наиболее вредоносной болезнью [3, 4].

Впервые черная бактериальная пятнистость томата обнаружена в Южной Африке в 1914 г., ее возбудитель был назван как *Bacterium vesicatorium*. Примерно в то же время симптомы той же болезни появились в США (было предложено название возбудителя – *Bacterium exitiosum*). Двумя годами позже болезнь впервые была описана на перце во Флориде. С тех пор это заболевание распространилось на все континенты, где выращивают томат и перец [5].

В течение многих лет менялась классификация бактерий, вызывающих черную бактериальную пятнистость томата. После ряда пересмотров несколько фенотипически и филогенетически различных бактериальных популяций (в итоге обозначенных как группы А-D) отнесли к *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. Позже группы А и С были названы как *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* [6–7], группа В – как *X. vesicatoria*, а штаммы группы D – *X. gardneri* [8]. Новый вид *X. euvesicatoria* был предложен для обозначения штаммов группы А, а штаммы группы С – *X. perforans*. В 2010 г. патогены выделили в 4 различных вида: *X. Vesicatoria*; *X. Euvesicatoria*; *X. Perforans*; *X. gardneri* [9]. По результатам анализа мультилокусной последовательности видов *Xanthomonas* spp., классификация снова пересмотрена. В настоящее время микроорганизмы дифференцированы таким образом: *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *euvesicatoria*; *Xanthomonas vesicatoria*; *Xanthomonas hortorum* pv. *Gardneri*; *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* (*Xanthomonas* spp.) [5].

Возбудители черной бактериальной пятнистости томата *Xanthomonas* spp. широко распространены в мире и наносят значительный экономический ущерб при выращивании томата. Пораженность рассады томата достигает 80–100%, потери плодов – 70% [10, 11]. В России бактериоз отмечен на Северном Кавказе, в Краснодарском и Алтайском краях, в Воронежской, Читинской, Волгоградской и других областях [12].

Широкое распространение *Xanthomonas* spp. в мире обусловлено тем, что возбудители болезни передаются семенами и с латентно зараженной рассадой [5].

Основная и эффективная мера борьбы – использование семян и рассады томата и перца, свободных от возбудителей черной бактериальной пятнистости томата [13].

Таким образом, своевременная и качественная диагностика *Xanthomonas* spp. на самых ранних стадиях развития растений является эффективным способом снижения потерь урожая и повышения экономической эффективности производства отечественных овощей.

Методы диагностики, применяемые в аккредитованных лабораториях, должны быть гармонизированы с методами, описанными в международных протоколах. Обязательным условием является также оценка применимости (валидация) этих методов.

В международной практике диагностики *Xanthomonas* spp. применяются следующие документы: протокол испытаний Международной федерации по семеноводству (ISF) («Method for the Detection of *Xanthomonas* spp. in Tomato seed») [14]; региональный стандарт ЕОКЗР РМ 7/110 (2) [15].

В обоих протоколах описаны ПЦР в «реальном времени» (ПЦР-РВ) для выявления и идентификации *Xanthomonas* spp.:

– AFLP derived Taqman PCR с праймерами и зондами для каждого вида (XEF/XER/XEFAM, XVF/XVR/XVFAM, XPF/XPR/XPFAM, XGF/XGR/XGFAM);

– ХорD Taqman PCR с праймерами XDF/R. Эти праймеры являются универсальными для всех четырех возбудителей болезней.

В стандарте ЕОКЗР для идентификации *Xanthomonas* spp. рекомендован ПЦР-тест, разработанный Koenraad et al., с праймерами: Bs-XeF/Bs-XeR, BsXvF/Bs-XvR, Bs-XgF/Bs-XgR и Bs-XpF/Bs-XpR.

На рисунке 1 представлена электрофореграмма продуктов классической ПЦР (Koenraad et al., 2009).

Задачи исследований составило определение основных параметров оценки применимости (аналитическая чувствительность и специфичность) описанных выше методов и определение эффективности ПЦР-РВ.

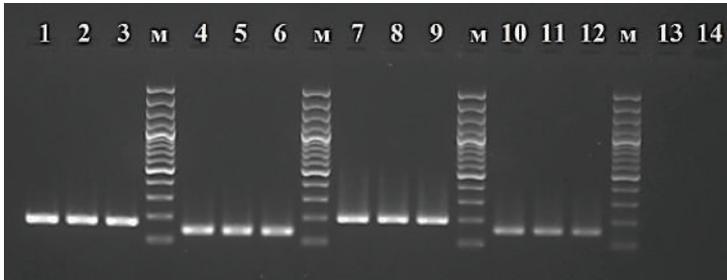


Рис. 1. Электрофореграмма продуктов ПЦР по Koenraad et al. (2009):
 1–3 – *X. euvesicatoria* pv. *euvesicatoria* (173 п.н.); 4–6 – *X. vesicatoria* (138 п.н.);
 7–9 – *X. euvesicatoria* pv. *perforans* (197 п.н.); 10–12 – *X. hortorum* pv. *gardneri* (154 п.н.);
 13 – К-в – отрицательный контроль выделения;
 К ч – отрицательный контроль чистой зоны; М – маркер длин ДНК

Материал и методы исследований

Объектом исследований являлись возбудители черной бактериальной пятнистости томата *Xanthomonas* spp. Исследования проводили на базе научно-методического отдела бактериологии ФГБУ «ВНИИКР».

Бактериальные штаммы. В работе использовали 59 штаммов (табл. 1, 2) из DSMZ (Немецкая коллекция микроорганизмов и клеточных культур), CIRM-CFBR (Французская коллекция бактерий, ассоциированных с растениями), NCPPB (Национальная коллекция фитопатогенных бактерий, Великобритания) и коллекции ФГБУ «ВНИИКР».

Определение аналитической чувствительности и оценка эффективности ПЦР-РВ тестов. В соответствии со стандартом ЕОКЗР РМ 7/98 (4) для определения аналитической чувствительности (АЧ) использовали образцы с различным уровнем зараженности целевым организмом в трехкратной повторности.

Для определения АЧ праймерных систем и оценки эффективности (Е) ПЦР-РВ использовали 8 десятикратных разведений чистой культуры в экстракте семян томата. Подготовку аналитических проб из семян проводили методом гомогенизации [15]. Штаммы, используемые на данном этапе, представлены в таблице 1.

Эффективность ПЦР выражали в процентах и рассчитывали по формуле:

$$\{E = (10[1/a] - 1) \times 100\},$$

где а – угловой коэффициент (slope).

Эффективность реакции в диапазоне от 90 до 110% считали приемлемой [16].

Определение аналитической специфичности. При оценке специфичности, помимо целевых бактерий из DSMZ (табл. 1), использовали 55 штаммов, представленных в таблице 2. Из двух суточных чистых бактериальных культур готовили суспензии бактерий в концентрации 10^5 – 10^6 КОЕ/мл и выделяли из них ДНК.

Таблица 1

Штаммы, использованные для определения АЧ

| № п/п | Вид бактерии | № в коллекции ВНИИКР | № в коллекции DSMZ |
|-------|---|----------------------|--------------------|
| 1 | <i>Xanthomonas euvesicatoria</i> pv. <i>euvesicatoria</i> | 0338 | DSM 19128 |
| 2 | <i>Xanthomonas vesicatoria</i> | 0374 | DSM 22252 |
| 3 | <i>Xanthomonas euvesicatoria</i> pv. <i>perforans</i> | 0343 | DSM 18975 |
| 4 | <i>Xanthomonas hortorum</i> pv. <i>gardneri</i> | 0344 | DSM 19127 |

Таблица 2

Штаммы, использованные для оценки специфичности ПЦР-тестов

| № п/п | № в коллекции ВНИИКР | Вид бактерии | Примечание |
|-------|----------------------|--|--|
| 1 | 0039 | <i>Ralstonia solanacearum</i> | NCPPB2315 |
| 2 | 0044 | <i>Erwinia billingiae</i> | <i>Malus domestica</i> , Воронежская обл. |
| 3 | 0050 | <i>Xilophilus ampelinus</i> | <i>Vitis vinifera</i> , Франция |
| 4 | 0092 | <i>Acidovorax citrulli</i> | <i>Citrullus lanatus</i> , США, IVIA CPB |
| 5 | 0109 | <i>Erwinia piriflorinigrans</i> | <i>Pyrus communis</i> , EUFRESCO |
| 6 | 0120 | <i>Pantoea stewartii</i> subsp. <i>stewartii</i> | <i>Zea mays</i> , Венгрия |
| 7 | 0141 | <i>Pectobacterium carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i> | DSM30168 |
| 8 | 0142 | <i>Pectobacterium atrosepticum</i> | DSM18077 |
| 9 | 0148 | <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>raphani</i> | NCPPB1946 |
| 10 | 0149 | <i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>pruni</i> | Венгрия |
| 11 | 0172 | <i>Erwinia amylovora</i> | CFBP1430 |
| 12 | 0222 | <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i> | Венгрия |
| 13 | 0226 | <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i> | <i>Brassica oleracea</i> , Московская обл. |
| 14 | 0227 | <i>Xanthomonas oryzae</i> | NCPPB3002 |
| 15 | 0239 | <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i> | CFBP 2492 |
| 16 | 0311 | <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i> | NCPPB2137 |
| 17 | 0337 | <i>Xanthomonas translucens</i> | DSM 18974 |

| № п/п | № в коллекции ВНИИКР | Вид бактерии | Примечание |
|-------|----------------------|--|---------------------------|
| 18 | 0345 | <i>Xanthomonas fragariae</i> | NIB, Словения |
| 19 | 0348 | <i>Xanthomonas</i> sp. | NIB, Словения |
| 20 | 0376 | <i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzicola</i> | CFBP 2286 |
| 21 | 0377 | <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>allii</i> | CFBP 6107 |
| 22 | 0379 | <i>Curtobacterium flaccumfaciens</i> pv. <i>flaccumfaciens</i> | CFBP 3418 |
| 23 | 0380 | <i>Curtobacterium flaccumfaciens</i> pv. <i>oortii</i> | CFBP 1384 |
| 24 | 0381 | <i>Curtobacterium flaccumfaciens</i> pv. <i>poinsettiae</i> | CFBP 2403 |
| 25 | 0382 | <i>Pseudomonas savastanoi</i> pv. <i>phaseolicola</i> | CFBP 1390 |
| 26 | 0385 | <i>Pseudomonas savastanoi</i> pv. <i>glycinea</i> | CFBP 2214 |
| 27 | 0386 | <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> | CFBP 2534 |
| 28 | 0389 | <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>nebraskensis</i> | CFBP 2405 |
| 29 | 0394 | <i>Xanthomonas</i> sp. | <i>Trifolium hybridum</i> |
| 30 | 0405 | <i>Xanthomonas vesicatoria</i> | 5235 (Игнатов А.Н.) |
| 31 | 0406 | <i>Xanthomonas campestris</i> | phw 23 (Игнатов А.Н.) |
| 32 | 0418 | <i>Rhizobium radiobacter</i> | <i>Malus domestica</i> |
| 33 | 0419 | <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>allii</i> | CFBP 6369 |
| 34 | 0420 | <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>axonopodis</i> | CFBP 5141 |
| 35 | 0421 | <i>Ralstonia syzigii</i> | CFBP 7288 |
| 36 | 0422 | <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> | CFBP 6442 |
| 37 | 0426 | <i>Xanthomonas phaseoli</i> | 1963 (Тараканов Р.И.) |
| 38 | 0438 | <i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>pruni</i> | <i>Prunus</i> |
| 39 | 0440 | <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>coronafaciens</i> | CFBP 2216 |
| 40 | 0441 | <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>maculicola</i> | CFBP 1657 |
| 41 | 0442 | <i>Acidovorax avenae</i> | CFBP 2425 |
| 42 | 0443 | <i>Pantoea stewartii</i> subsp. <i>indologenes</i> | CFBP 3614 |
| 43 | 0444 | <i>Pantoea ananatis</i> pv. <i>ananatis</i> | CFBP 3612 |
| 44 | 0446 | <i>Xanthomonas hyacinthi</i> | CFBP 1156 |
| 45 | 0447 | <i>Paraburkholderia caryophylli</i> | CFBP 1370 |

| № п/п | № в коллекции ВНИИКР | Вид бактерии | Примечание |
|-------|----------------------|---|------------|
| 46 | 0448 | <i>Paraburkholderia andropogonis</i> | CFBP 2421 |
| 47 | 0454 | <i>Pantoea agglomerans</i> | DSM 8570 |
| 48 | 0455 | <i>Pantoea vagans</i> | DSM 23078 |
| 49 | 0460 | <i>Paraburkholderia glumae</i> | DSM 9512 |
| 50 | 0463 | <i>Pantoea ananatis</i> | DSM 30080 |
| 51 | 0468 | <i>Rathayibacter tritici</i> | DSM 7486 |
| 52 | 0470 | <i>Agrobacterium rubi</i> | DSM 6772 |
| 53 | 0473 | <i>Xanthomonas citri</i> pv. <i>glycines</i> | CFBP 2526 |
| 54 | 0474 | <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> | CFBP 2212 |
| 55 | 0476 | <i>Pseudomonas corrugata</i> | CFBP 2431 |

Выделение ДНК. Образцы суспензий бактерий в количестве 200 мкл использовали для выделения ДНК коммерческим набором «Проба ГС» (ООО «АгроДиагностика», Россия).

ПЦР-анализ. Для приготовления реакционной смеси на один образец использовали:

1) AFLP derived Taqman PCR: 15 мкл деионизированной воды (H₂O), 5 мкл мастер-микса 5X qPCRmix-HS производства фирмы ООО «Евроген» (Россия), по 1 мкл каждого праймера в концентрации 10 пкм и зонда в концентрации 5 пкм;

2) ХорD Taqman PCR: 16,5 мкл H₂O, 5 мкл мастер-микса 5X qPCRmix-HS производства фирмы ООО «Евроген» (Россия), по 0,5 мкл каждого праймера в концентрации 10 пкм и зонда в концентрации 5 пкм;

3) ПЦР по Koenraad et al. (17 мкл H₂O, 5 мкл мастер-микса 5X Mas^{DD} MIX-2025 производства фирмы ЗАО «Диалат» (Россия), по 0,5 мкл каждого праймера в концентрации 10 пкм и зонда в концентрации 5 пкм).

Во все реакционные смеси вносили ДНК образцов объемом 2 мкл. Последовательности олигонуклеотидов и условия амплификации, использованные в работе, указаны в таблице 3.

ПЦР-РВ проводили на приборе в модуле реакционном оптическом в составе термоциклера для амплификации нуклеиновых кислот CFX96 («Bio-Rad», США). Для постановки классической ПЦР использовали термоциклер T100 («Bio-Rad», США).

Детекцию классической ПЦР проводили методом электрофореза в 1,5%-ном агарозном геле. В качестве флуоресцентного красителя использовали бромистый этидий. Для определения размера продукта амплификации применяли маркер длин ДНК GeneRuler 100 bp Plus DNA Ladder (Thermo Scientific, США).

В каждую лунку геля вносили по 5 мкл продукта амплификации. Режим электрофореза: 1 ч при 115 В, 165 мА и 40 Вт. Результаты фиксировали с использованием гель-документирующей системы ChemiDoc XRS+ («Bio-Rad», США).

Статистический анализ. Для определения эффективности ПЦР-РВ был произведен расчет среднего значения пороговых циклов (Ct) 5 или 6 разведений ДНК (в зависимости от чувствительности праймерной системы). Данные рассматривали с применением метода регрессионного анализа при помощи программы MS Office EXCEL 2016. Для проверки общего качества уравнения регрессии рассчитывали коэффициент детерминации (R^2). $R^2 > 0,99$ считали значимыми.

Таблица 3

Последовательности олигонуклеотидов, использованные в работе

| Название | Последовательность олигонуклеотидов | Условия амплификации |
|----------|--|---|
| XEF | CTCGCTCATCAAAGTGATAACGCC | 10 мин при 95°C; 45 циклов: 10 с при 95°C, 15 с при 60°C |
| XER | GGGCTTGGCAGGAACGGC | |
| XEFAM | TCCGGCGAGGCAATGCGCTATAGCT – BHQ1 | |
| XVF | GTGCCGTTGAAATACTTGCTAGCAG | |
| XVR | CACGCTACGGGCCGCAA | |
| XVFAM | TTCGCACCGCGGGCCCTGTTCT – BHQ1 | |
| XPF | GTCGTGTTGATGGAGCGTTCCC | |
| XPR | CCGTCTGCTACACGACTTCCGA | |
| XPFAM | TCTCCCACACCGCGATAGGATTGACAGTAGA – BHQ1 | |
| XGF | ACCTGCTCCACAACGCGCTC | |
| XGR | GCTTGAATCTGTTTTTTCATTGGGATG | |
| XGFAM | TCCCATCAATAGTTGCTGCGCTATAGCTTTTCT – BHQ1 | |
| XDF | TCGACGGCACCTTCGACTACG | -/- |
| XDR | CTGGAGCTTGCTCCGCTTGG | |
| XDFAM | FAM–CCTCATCAGGGATCGTCTTGCCCAAGC-BHQ1 | |
| BS-XeF | CATGAAGAACTCGGCGTATCG | 10 мин при 94°C; 45 циклов: 30 с при 95°C, 30 с при 64°C, 30 с при 72°C; 10 мин при 72°C |
| BS-XeR | GTCGGACATAGTGGACACATAC | |
| BS-XvF | CCATGTGCCGTTGAAATACTTG | |
| BS-XvR | ACAAGAGATGTTGCTATGATTTGC | |
| BS-XpF | GTCGTGTTGATGGAGCGTTC | |
| BS-XpR | GTGCGAGTCAATTATCAGAATGTGG | |
| BS-XgF | TCAGTGCTTAGTTCCTCATTGTC | |
| BS-XgR | TGACCGATAAAGACTGCGAAAG | |

Результаты и их обсуждение

Выявление и идентификация бактериальных фитопатогенов представляют собой сложный многоэтапный процесс, включающий в себя подготовку аналитических проб из растительных образцов, выделение тотальной ДНК, ПЦР-анализ, изоляцию на питательные среды, тест на патогенность. В идеале для заключения о наличии бактериального возбудителя болезни необходимо соблюдение постулатов Коха. Однако в последние годы в рутинной диагностике ПЦР-анализ заменил классические методы выявления и идентификации. С одной стороны, благодаря методам ПЦР удалось значительно сократить сроки диагностики заболеваний растений, с другой стороны, повысились требования к качеству ПЦР-тестов: они должны быть достаточно чувствительными и специфичными.

Все лабораторные методы характеризуется таким показателем, как аналитическая чувствительность (АЧ). АЧ отражает то минимальное количество возбудителя болезни, которое обнаруживается данным методом в конкретном субстрате (матрице). Так, аналитическая чувствительность ПЦР-систем, используемых для диагностики бактериальных фитопатогенов, составляет 10^2 – 10^3 КОЕ/мл [17, 18].

В таблицах 4–7 представлены результаты испытания тестов ПЦР-РВ, рекомендованных для выявления *X. spp.*

Таблица 4

АЧ методов ПЦР-РВ для выявления *X. euvesicatoria* pv. *euvesicatoria*

| Концентрация, КОЕ/мл | ПЦР-тесты/повторности (Ct) | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------|-------|-------|----------|------------------|-------|-------|----------|
| | праймеры XEF/ XER | | | | праймеры XDF/XDR | | | |
| | 1 | 2 | 3 | Ct сред. | 1 | 2 | 3 | Ct сред. |
| 10^7 | 21,23 | 20,93 | 21,05 | 21,07 | 20,67 | 20,22 | 20,48 | 20,46 |
| 10^6 | 24,13 | 24,19 | 24,27 | 24,20 | 23,67 | 23,62 | 23,72 | 23,67 |
| 10^5 | 27,38 | 27,27 | 27,16 | 27,27 | 26,73 | 27,03 | 26,97 | 26,91 |
| 10^4 | 30,11 | 30,32 | 30,15 | 30,19 | 29,94 | 30,17 | 30,05 | 30,05 |
| 10^3 | 33,45 | 35,09 | 33,98 | 34,17 | 34,01 | 35,00 | 34,65 | 34,55 |
| 10^2 | - | 37,57 | - | x | 40,11 | - | - | x |
| 10^1 | - | 39,01 | - | x | - | - | - | x |
| 10^0 | - | - | - | x | - | - | - | x |
| К+ | + | | | x | + | | | x |
| К-в | - | | | x | - | | | x |
| К-ч | - | | | x | - | | | x |

АЧ методов ПЦР-РВ для выявления *X. vesicatoria*

| Концентрация, КОЕ/мл | ПЦР-тесты/повторности (Ct) | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------|-------|-------|----------|------------------|-------|-------|----------|
| | праймеры XVF/ XVR | | | | праймеры XDF/XDR | | | |
| | 1 | 2 | 3 | Ct сред. | 1 | 2 | 3 | Ct сред. |
| 10 ⁷ | 20,98 | 21,09 | 21,04 | 21,04 | 20,95 | 20,98 | 21,15 | 21,03 |
| 10 ⁶ | 24,30 | 24,26 | 24,15 | 24,24 | 24,21 | 24,41 | 24,43 | 24,35 |
| 10 ⁵ | 27,61 | 28,00 | 27,87 | 27,83 | 27,94 | 28,25 | 27,64 | 27,94 |
| 10 ⁴ | 31,72 | 31,28 | 31,56 | 31,52 | 32,18 | 32,05 | 31,53 | 31,92 |
| 10 ³ | 35,01 | 35,08 | 35,03 | 35,04 | 35,28 | 35,26 | 35,01 | 35,18 |
| 10 ² | 41,20 | 37,81 | 38,45 | 38,82 | 39,09 | - | - | - |
| 10 ¹ | - | - | - | x | - | - | - | x |
| 10 ⁰ | - | - | - | x | - | - | - | x |
| К+ | + | | | x | + | | | x |
| К-в | - | | | x | - | | | x |
| К-ч | - | | | x | - | | | x |

При анализе полученных данных установлено, что чувствительность методов ПЦР-РВ для выявления *X. euvesicatoria* рв. *euvesicatoria* составила 100% при концентрации бактерий 10³ КОЕ/мл.

Пороги обнаружения праймерных систем XVF/XVR и XDF/XDR, рекомендованных для выявления возбудителя черной бактериальной пятнистости томата *X. vesicatoria*, составили 10² КОЕ/мл и 10³ КОЕ/мл соответственно.

Установлено, что порог обнаружения возбудителя болезни *X. euvesicatoria* рв. *perforans* для двух ПЦР-РВ составил 10³ КОЕ/мл.

Согласно полученным данным порог обнаружения ПЦР-тестов позволил выявить возбудителя черной бактериальной пятнистости томата *X. hortorum* рв. *gardneri* в образцах с концентрацией бактерий 10² КОЕ/мл во всех сериях (повторностях).

Наряду с АЧ эффективность ПЦР также является важным параметром, характеризующим полимеразную цепную реакцию. Ее правильная оценка позволяет существенно повысить правильность интерпретации результатов ПЦР-РВ [16]. Расчеты результатов эффективности ПЦР-РВ представлены в таблице 8.

В качестве примера на рисунке 2 представлены графики зависимости Ct от концентрации *X. euvesicatoria* рв. *euvesicatoria* в 5 разведениях с праймерами XEF/XER.

АЧ методов ПЦР-РВ для выявления *X. euvesicatoria* pv. *perforans*

| Концентрация, КОЕ/мл | ПЦР-тесты/повторности | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-------|-------|----------|------------------|-------|-------|----------|
| | праймеры XPF/ XPR | | | | праймеры XDF/XDR | | | |
| | 1 | 2 | 3 | Ст сред. | 1 | 2 | 3 | Ст сред. |
| 10 ⁷ | 22,19 | 23,31 | 22,97 | 22,82 | 21,55 | 21,98 | 21,77 | 21,77 |
| 10 ⁶ | 27,40 | 26,74 | 27,12 | 27,09 | 26,53 | 25,67 | 26,12 | 26,11 |
| 10 ⁵ | 29,80 | 29,78 | 29,65 | 29,74 | 29,08 | 29,04 | 29,15 | 29,09 |
| 10 ⁴ | 32,99 | 34,07 | 33,47 | 33,51 | 32,85 | 32,85 | 32,68 | 32,79 |
| 10 ³ | 36,83 | 37,55 | 37,02 | 37,13 | 36,43 | 35,91 | 36,12 | 36,15 |
| 10 ² | - | - | - | x | - | - | - | x |
| 10 ¹ | - | - | - | x | - | - | - | x |
| 10 ⁰ | - | - | - | x | - | - | - | x |
| К+ | + | | | x | + | | | x |
| К-в | - | | | x | - | | | x |
| К-ч | - | | | x | - | | | x |

Анализ результатов эффективности ПЦР показал, что все тестируемые праймерные системы можно рекомендовать для выявления возбудителей черной бактериальной пятнистости *Xanthomonas* spp.

Результаты определения АЧ классической ПЦР по Koenraad et al. представлены в таблице 9. Согласно полученным данным АЧ трех праймерных систем оказалась высокой и составила 10² КОЕ/мл, кроме Bs-XpF/R (АЧ – 10⁴ КОЕ/мл).

В таблице 10 представлены сводные данные по АЧ всех праймерных систем, тестируемых в данных исследованиях. Все тесты в формате ПЦР-РВ обладают высокой чувствительностью (10²–10³ КОЕ/мл) и могут быть рекомендованы как отборочные (скрининговые) методы. Три праймерные системы классической ПЦР по Koenraad et al. показали высокий уровень чувствительности – 10² КОЕ/мл. АЧ праймеров Bs-XpF/R для выявления *X. euvesicatoria* pv. *perforans* составила 10⁴ КОЕ/мл. Этот тест можно рекомендовать как подтверждающий для образцов с высокой концентрацией патогена или для идентификации чистой культуры.

Специфичность – важный критерий, показывающий способность праймерной системы достоверно отличать целевой организм от нецелевых, в том числе при их совместном нахождении в пробе. В таблице 11 представлены результаты проверки тест-систем на специфичность.

В ходе испытаний было показано, что все праймерные системы обладают 100%-ной специфичностью по отношению к целевым штаммам. Перекрестные реакции с другими штаммами не отмечены.

Таблица 7

АЧ методов ПЦР-РВ для выявления *X. hortorum* pv. *gardneri*

| Концентрация, КОЕ/мл | ПЦР-тесты/повторности | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-------|-------|----------|------------------|-------|-------|----------|
| | праймеры XGF/ XGR | | | | праймеры XDF/XDR | | | |
| | 1 | 2 | 3 | Ст сред. | 1 | 2 | 3 | Ст сред. |
| 10 ⁷ | 19,15 | 19,04 | 19,17 | 19,12 | 19,50 | 19,84 | 19,74 | 19,69 |
| 10 ⁶ | 22,44 | 22,52 | 22,54 | 22,50 | 23,17 | 23,19 | 23,23 | 23,20 |
| 10 ⁵ | 25,99 | 25,99 | 25,86 | 25,94 | 26,51 | 26,57 | 26,48 | 26,52 |
| 10 ⁴ | 29,15 | 29,55 | 29,37 | 29,36 | 30,23 | 30,54 | 30,37 | 30,38 |
| 10 ³ | 34,43 | 33,08 | 33,85 | 33,79 | 33,93 | 33,28 | 33,72 | 33,64 |
| 10 ² | 36,49 | 37,38 | 36,38 | 36,75 | 36,96 | 38,71 | 37,02 | 37,05 |
| 10 ¹ | - | - | - | x | 39,42 | - | - | x |
| 10 ⁰ | - | - | - | x | - | - | - | x |
| К+ | + | | | x | + | | | x |
| К-в | - | | | x | - | | | x |
| К-ч | - | | | x | - | | | x |

Таблица 8

Результаты определения эффективности амплификации тестов ПЦР-РВ

| Показатели | <i>X. euvesicatoria</i> pv. <i>euvesicatoria</i> | | <i>X. vesicatoria</i> | | <i>X. euvesicatoria</i> pv. <i>perforans</i> | | <i>X. hortorum</i> pv. <i>gardneri</i> | |
|--------------------------|--|---------|-----------------------|---------|--|---------|--|---------|
| | XEF/XER | XDF/XDR | XVF/XVR | XDF/XDR | XPF/XPR | XDF/XDR | XGF/XGR | XDF/XDR |
| a | 3,219 | 3,456 | 3,571 | 3,587 | 3,504 | 3,544 | 3,584 | 3,485 |
| 1/a | 0,311 | 0,289 | 0,28 | 0,279 | 0,285 | 0,282 | 0,279 | 0,287 |
| 10 ^(1/a) | 2,045 | 1,947 | 1,906 | 1,900 | 1,929 | 1,915 | 1,901 | 1,936 |
| [10 ^(1/a)]-1 | 1,045 | 0,947 | 0,906 | 0,900 | 0,929 | 0,915 | 0,901 | 0,936 |
| % | 104,5 | 94,7 | 90,6 | 90,0 | 92,9 | 91,5 | 90,1 | 93,6 |
| R ² | 0,9969 | 0,9946 | 0,999 | 0,999 | 0,9964 | 0,9972 | 0,998 | 0,9996 |

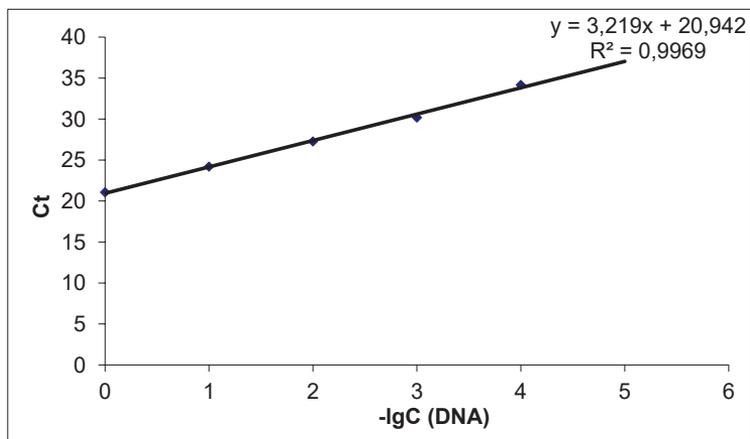


Рис. 2. График линейной регрессии распределения значений порогового цикла (Ct) в зависимости от концентрации ДНК в 5 разведениях с праймерами XEF/XER

Таблица 9

АЧ ПЦР по Koenraadt et al. (2009)

| Концентрация, КОЕ/мл | ПЦР-тесты/повторности | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|---|---|----------|---|---|----------|---|---|-------|---|---|
| | Bs-XeF/R | | | Bs-XvF/R | | | Bs-XpF/R | | | XgF/R | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 10 ⁷ | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 10 ⁶ | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 10 ⁵ | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 10 ⁴ | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 10 ³ | + | + | + | + | + | + | - | - | - | + | + | + |
| 10 ² | + | + | + | + | + | + | - | - | - | + | + | + |
| 10 ¹ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10 ⁰ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| К+ | + | | | + | | | + | | | + | | |
| К-в | - | | | - | | | - | | | - | | |
| К-ч | - | | | - | | | - | | | - | | |

Сводные данные по АЧ исследуемых ПЦР-тестов

| Название штамма | ПЦР-тесты* | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| <i>X. euvesicatoria</i> pv. <i>euvesicatoria</i> | 10 ³ | 10 ² | - | - | - | - | - | - | 10 ³ |
| <i>X. vesicatoria</i> | - | - | 10 ² | 10 ² | - | - | - | - | 10 ³ |
| <i>X. euvesicatoria</i> pv. <i>perforans</i> | - | - | - | - | 10 ³ | 10 ⁴ | - | - | 10 ³ |
| <i>X. hortorum</i> pv. <i>gardneri</i> | - | - | - | - | - | - | 10 ² | 10 ² | 10 ² |

*1 – XEF/XER; 2 – Bs-XeF/R; 3 – XVF/ XVR; 4 – Bs-XvF/R; 5 – XPF/ XPR; 6 – Bs-XpF/R; 7 – XGF/ XGR; 8 – Bs-XgF/R; 9 – XDF/XDR.

Таблица 11

Специфичность методов ПЦР для выявления *Xanthomonas* spp.

| Номер штамма* | ПЦР-тесты | | | | | | | | |
|---------------|-----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | XEF/XER | Bs-XeF/R | XVF/XVR | Bs-XvF/R | XPF/XPR | Bs-XpF/R | XGF/XGR | Bs-XgF/R | XDF/XDR |
| 0338 | + | + | - | - | - | - | - | - | + |
| 0343 | - | - | - | - | + | + | - | - | + |
| 0344 | - | - | - | - | - | - | + | + | + |
| 0374 | - | - | + | + | - | - | - | - | + |
| 0405 | - | - | + | + | - | - | - | - | + |

*В таблице приведены только номера штаммов, с ДНК которых получены положительные сигналы ПЦР.

Выводы

1. Установлено, что ПЦР-РВ AFLP derived Taqman PCR и ХорD Taqman PCR обладают высокой аналитической чувствительностью (10²–10³ КОЕ/мл). Ввиду того, что праймерная система ХорD Taqman PCR выявляет все 4 возбудителя черной бактериальной пятнистости томата, этот тест рекомендован как отборочный (скрининговый) метод. Четыре праймерные системы AFLP derived Taqman PCR рекомендованы для подтверждения, выявления и идентификации *Xanthomonas* spp.

2. Анализ результатов эффективности ПЦР-РВ показал, что все тестируемые праймерные системы можно рекомендовать для выявления возбудителей черной бактериальной пятнистости *Xanthomonas* spp., учитывая, что полученные значения находятся в диапазоне 90–110%.

3. Показано, что 3 из 4 праймерных систем по Koenraad et al. обладают высоким уровнем чувствительности – 10² КОЕ/мл. Эти тесты рекомендованы как

подтверждающие выявление. АЧ праймеров Bs-ХрF/R для выявления *X. euvesicatoria* pv. *perforans* составила 10⁴ КОЕ/мл. Этот тест рекомендован как подтверждающий для образцов с высокой концентрацией патогена и для идентификации чистой культуры.

4. В результате испытаний показано, что все праймерные системы обладают 100%-ной специфичностью по отношению к целевым штаммам. Перекрестные реакции с другими штаммами не отмечены.

Исследование выполнено в рамках Государственного задания (рег. № 122041300071–9).

Библиографический список

1. Oliveira-Pinto P.R., Mariz-Ponte N., Sousa R.M.O., Torres A., Tavares F., Ribeiro A., Santos C. Satureja montana essential oil, zein nanoparticles and their combination as a biocontrol strategy to reduce bacterial spot disease on tomato plants // Horticulturae. – 2021. – № 7 (12). – Pp. 1–22.
2. FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook. FAO: Rome, Italy, 2024.
3. Мотамеди Ш.А., Джалилов Ф.С.У. Влияние биопестицидов и индукторов устойчивости на развитие бактериальных болезней томата // Известия ТСХА. – 2011. – № 5. – С. 85–92.
4. Писарева И.Н., Яремко А.Б., Приходько С.И., Шнейдер Е.Ю. Испытание тест-системы для диагностики *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *euvesicatoria* // Фитосанитария. Карантин растений. – 2022. – № 3 (11). – С. 29–36.
5. EPPO. *Xanthomonas* spp. (*Xanthomonas euvesicatoria*, *Xanthomonas gardneri*, *Xanthomonas perforans*, *Xanthomonas vesicatoria*) causing bacterial spot of tomato and sweet pepper / Bull. OEPP. – 2013. – № 43 (1). – Pp. 7–20.
6. Jones J.B., Bouzar H., Stall R.E., Almira E.C., Roberts P., Bowen B.W., Sudberry J., Strickler P., Chun J. Systematic analysis of Xanthomonads (*Xanthomonas* spp.) associated with pepper and tomato lesions // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. – 2000. – № 50 (3). – Pp. 1211–1219.
7. Vauterin L., Hoste B., Kersters K., Swings J. Reclassification of *Xanthomonas* // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. – 1995. – № 45 (3). – Pp. 472–489.
8. Jones J.B., Lacy G.H., Bouzar H., Stall R.E., Schaad N.W. Reclassification of the *Xanthomonads* associated with bacterial spot disease of tomato and pepper // Systematic Applied Microbiology. – 2004. – № 27 (6). – Pp. 755–762.
9. Bull C.T., De Boer S.H., Denny T.P., Firrao G., Fischer-Le Saux M., Saddler G.S., Scortichini M., Stead D.E., Takikawa Y. Comprehensive list of names of plant pathogenic bacteria, 1980–2007 // Journal of Plant Pathology. – 2010. – № 92 (3). – Pp. 551–592.
10. Ахатов А.К. Мир томата глазами фитопатолога. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. – 292 с.
11. Иванцова Е.А. Болезни томата в Нижневолжском регионе // Фермер Поволжья. – 2017. – № 2 (55). – С. 80–82.
12. Мотамеди Ш.А., Джалилов Ф.С.У., Карлов Г.И. Оценка активности бактерицидов с использованием генетически модифицированного штамма возбудителя черной бактериальной пятнистости томата // Известия ТСХА. – 2010. – № 2. – С. 52–58.
13. Fatmi M., Walcott R.R., Schaad N.V. Detection of Plant-Pathogenic Bacteria in Seed and Other Planting Material, Second Edition. – Minnesota: The American Phytopathological Society (APS), 2017. – 360 p.

14. ISF (2017) Method for the detection of *Xanthomonas* spp. in Tomato seed. – [Электронный ресурс]. – URL: https://seedhealth.org/files/2017/05/Pepper_Xanthomonas_spp_Version-5-Nov_2013-ISF.pdf.

15. EPPO. *Xanthomonas* spp. (*Xanthomonas euvesicatoria* pv. *euvesicatoria*, *Xanthomonas hortorum* pv. *gardneri*, *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans*, *Xanthomonas vesicatoria*) causing bacterial spot of tomato and sweet pepper // Bull. OEPP. – 2023. – № 53. – Pp. 558–579.

16. Ребриков Д.В., Саматов Г.А., Трофимов Д.Ю. и др. ПЦР «в реальном времени». – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 215 с.

17. Приходько С.И., Писарева И.Н., Корнев К.П. Оценка применимости молекулярных методов диагностики возбудителя бактериоза винограда (болезнь Пирса) *Xylella fastidiosa* Wells et al., используемых в международной и отечественной практике // Садоводство и виноградарство. – 2022. – № 1. – С. 38–43.

18. Тараканов Р.И., Игнатъева И.М., Белошاپкина О.О., Чебаненко С.И., Каратаева О.Г., Джалилов Ф.С. Выявление возбудителя бактериального ожога сои *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* в семенах методом ПЦР // Известия ТСХА. – 2024. – № 1. – С. 41–52.

DETERMINATION OF THE ANALYTICAL SENSITIVITY AND SPECIFICITY OF PCR METHODS FOR THE DIAGNOSIS OF BACTERIAL SPOT OF TOMATO

O.O. BELOSHAPKINA¹, I.N. PISAREVA²

(¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;
²All-Russian Plant Quarantine Center)

*The work is devoted to molecular genetic methods for the diagnosis of pathogens of bacterial spot of tomato – a harmful bacterial disease of tomatoes and peppers, predominantly spread in the open ground in the southern regions. The research was conducted on the basis of the All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU “VNIKR”) in 2022–2023. The objective of the work was to determine the analytical sensitivity and specificity of molecular genetic methods for the detection and identification of three species of different pathological types of bacteria of the genus *Xanthomonas* – pathogens of bacterial spot of tomato. Due to the necessity of import substitution of expensive reagents, the tests were carried out with domestic reagents produced by OOO “Evrogen” and ZAO “Dialat”. The results of the effectiveness of real-time PCR (qPCR) are presented, the analysis of which showed that all tested primer systems can be recommended for the detection of bacteriosis pathogens. At the same time, qPCR AFLP derived Taqman PCR and XopD Taqman PCR were found to have high analytical sensitivity (10^2 – 10^3 CFU/ml). It has been shown that three out of four primer systems according to the methodology of Koenraad et al. (2009) also have a high sensitivity of 10^2 CFU/ml. The analytical sensitivity of the Bs-XpF/R primers for the detection of *X. euvesicatoria* pv. *perforans* was 10^4 CFU/ml, which is sufficient for samples with a high concentration of the pathogen and for the identification of a pure bacterial culture. All primers are 100% specific for the target strains of pathogens; no cross-reactions with other strains have been observed. The proposed reliable operational method for detecting pathogens of bacterial spot in tomato and pepper seeds will significantly reduce yield losses and increase the economic efficiency of domestic vegetable production.*

Keywords: bacterial spot of tomato, *Xanthomonas* spp., detection of seed infection, real-time PCR, analytical sensitivity, specificity of the methods.

References

1. Oliveira-Pinto P.R., Mariz-Ponte N., Sousa R.M.O., Torres A. et al. Satureja montana essential oil, zein nanoparticles and their combination as a biocontrol strategy to reduce bacterial spot disease on tomato plants. *Horticulturae*. 2021;7(12):1–22. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120584>
2. FAO. *World Food and Agriculture: Statistical Yearbook*. FAO: Rome, Italy, 2024.
3. Motamedi Sh.A., Dzhililov F.S. The effect of biopesticides and resistance inducers on the development of bacterial diseases of tomatoes. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2011;(5):85–92. (In Russ.)
4. Pisareva I.N., Yaremko A.B., Prikhodko S.I., Shneyder E.Yu. Testing a test system for the diagnosis of *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *euvesicatoria*. *Plant Health and Quarantine*. 2022;3(11):29–36. (In Russ.)
5. *Xanthomonas* spp. (*Xanthomonas euvesicatoria*, *Xanthomonas gardneri*, *Xanthomonas perforans*, *Xanthomonas vesicatoria*) causing bacterial spot of tomato and sweet pepper. *Bulletin OEPP EPPO Bulletin*. 2013;43. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/epp.12018>
6. Jones J.B., Bouzar H., Stall R.E., Almira E.C. et al. Systematic analysis of *Xanthomonads* (*Xanthomonas* spp.) associated with pepper and tomato lesions. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2000;50(3):1211–1219. <https://doi.org/10.1099/00207713-50-3-1211>
7. Vauterin L., Hoste B., Kersters K., Swings J. Reclassification of *Xanthomonas*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 1995;45(3):472–489. <https://doi.org/10.1099/00207713-45-3-472>
8. Jones J.B., Lacy G.H., Bouzar H., Stall R.E., Schaad N.W. Reclassification of the *Xanthomonads* associated with bacterial spot disease of tomato and pepper. *Systematic Applied Microbiology*. 2004;27(6):755–762. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003104>
9. Bull C.T., De Boer S.H., Denny T.P., Firrao G. et al. Comprehensive list of names of plant pathogenic bacteria, 1980–2007. *Journal of Plant Pathology*. 2010;92(3):551–592. <https://doi.org/10.4454/jpp.v92i3.302>
10. Akhatov A.K. *World of tomatoes through a phytopathologist's eyes*. 3d ed., rev. and supp. Moscow, Russia: Tov-vo nauch. izdaniy KMK, 2016:292. (In Russ.)
11. Ivantsova E.A. Tomato diseases in the Lower Volga region. *Fermer. Povolzh'eo*. 2017;2(55):80–82. (In Russ.)
12. Motamedi Sh.A., Dzhililov F.S., Karlov G.I. Evaluation of bactericide activity using a genetically modified strain of the causative agent of bacterial spot of tomato. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2010;(2):52–58. (In Russ.)
13. Fatmi M., Walcott R.R., Schaad N.V. *Detection of Plant-Pathogenic Bacteria in Seed and Other Planting Material*. 2d ed. Minnesota: The American Phytopathological Society (APS), 2017:360.
14. ISF (2017) Method for the detection of *Xanthomonas* spp. in Tomato seed. [Electronic source] URL: https://worldseed.org/wp-content/uploads/2022/01/2017_Protocol_Tomato_Xanthomonas_spp_v5.pdf
15. *Xanthomonas* spp. (*Xanthomonas euvesicatoria* pv. *euvesicatoria*, *Xanthomonas hortorum* pv. *gardneri*, *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans*, *Xanthomonas vesicatoria*) causing bacterial spot of tomato and sweet pepper. *EPPO Global Database*. 2023;53:558–579. <https://gd.eppo.int/taxon/XANTVE/documents>
16. Rebrikov D.V., Samatov G.A., Trofimov D.Yu. et al. *Real-time PCR*. Moscow, Russia: BINOM, Laboratoriya znaniy, 2009:215. (In Russ.)

17. Prikhodko S.I., Pisareva I.N., Kornev K.P. Detecting *Xylella fastidiosa*, a grape bacteriosis agent (Pierce disease) applicability evaluation of molecular methods used in international and domestic practice. *Horticulture and Viticulture*. 2022;1:38–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-1-38-43>

18. Tarakanov R.I., Ignat'eva I.M., Beloshapkina O.O., Chebanenko S.I. et al. Detection of the soybean bacterial blight pathogen *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* in seeds by the PCR method. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2024;(1):41–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-1-41-52>

Сведения об авторах

Белошапкина Ольга Олеговна, д-р с.-х. наук, профессор, профессор кафедры защиты растений, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: beloshapkina@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–02–20

Писарева Ирина Николаевна, научный сотрудник научно-методического отдела бактериологии, ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений»; 140150, Московская область, г.о. Раменский, р.п. Быково, ул. Пограничная, 32; e-mail: iruru@yandex.ru; тел.: (499) 707–22–27

Information about the authors

Olga O. Beloshapkina, DSc (Agr), Professor, Professor at the Department of Plant Protection, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (499) 976–02–20; e-mail: beloshapkina@rgau-msha.ru)

Irina N. Pisareva, Researcher of Scientific and Methodological Department of Bacteriology, All-Russian Plant Quarantine Center (32 Pogranichnaya St., Bykovo, Ramensky, Moscow Oblast, 140150, Russian Federation; (499) 707–22–27; e-mail: iruru@yandex.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ КОМПЛЕКСНЫХ МИКРОУДОБРЕНИЙ ДЛЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ РОБИНИИ ПСЕВДОАКАЦИИ И СОСНЫ КРЫМСКОЙ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ

С.А. ЕГОРОВ, С.Н. КРЮЧКОВ, А.В. СОЛОНКИН,
А.С. СОЛОМЕНЦЕВА, Д.А. ГОРБУШОВА

(Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук)

*В статье приведены данные по результатам испытания комплексных микроудобрений при высеве на производственном питомнике семян робинии псевдоакации (*Robinia pseudoacacia* L.) и сосны крымской (*Pinus nigra subsp. pallasiana* (Lamb.) Holmboe.). Стратификация обеспечивает семенам при оптимальных условиях доступа кислорода и поддержании уровня влажности и температуры 10°C быструю всхожесть. Удобрения «Волски Биохим» способны повышать энергию прорастания семян исследуемых видов, увеличивать скорость их роста и содержат в себе все необходимые растениям элементы питания. Наиболее высокое содержание микроэлементов находится в препарате «Микроэл». Оптимальным вариантом для посадки семян являются лесные кассеты РКЛ-81, которые естественно и правильно распределяют корневую систему сеянцев, повышают их способность образовывать активные корневые кончики, обеспечивают растения кислородом и устраняют переувлажнение при неправильном поливе. Процент сохранности для сеянцев в первый и второй годы был практически одинаковым. Семена сосны перед обработкой и посадкой требуют обескряливания на воздушно-гравитационном аппарате ВСГ-01. Возможность применения орудий для обработки почвы и посевов обеспечивает рядовой способ с расположением узких посевных строчек вдоль лент. Применение комплексных микроудобрений позволяет сеянцам сосны и робинии иметь оптимальное соотношение надземной части и корневой системы, ускоренный рост и развитие, ровный ствол. Максимальный прирост робинии составил 71–98 см, сосны – 10–29 см, что полностью соответствовало стандартам и требованиям к выращиванию посадочного материала древесных видов. Выявлено, что дифференциация сеянцев робинии и сосны по росту в высоту начинается со второй половины июня, в варианте опыта с высевом семян в корб наибольшие приросты сеянцев наблюдались в третьей декаде июня, после чего наблюдалось заметное снижение роста. Наилучшие показатели роста и развития наблюдались у сосны крымской в 1 варианте опыта, у робинии псевдоакации – в 1 и 2 вариантах. Темпы роста у двухлетних сеянцев исследуемых видов идентичны приростам однолетних сеянцев.*

Ключевые слова: защитные лесные насаждения, Страда Р, Микроэл, питомниководство, рост, развитие, выращивание, робиния, сосна.

Введение

Широко известно, что воспроизводство лесных насаждений – главный фактор, с помощью которого возможны улучшение климата, предохранение почвы от эрозии, повышение урожаев в сельском хозяйстве, очищение водоемов, воздуха от пыли и загрязнений, ослабление многих других неблагоприятных явлений в приземных слоях воздуха, связанных с антропогенной деятельностью [1]. В настоящее время значение лесов возрастает, следовательно, возрастает и потребность в повышении их продуктивности, что является огромной комплексной проблемой, особенно в малолесных регионах [10; 26].

В систему мероприятий по повышению продуктивности лесов входит ускорение роста древесно-кустарниковой растительности с помощью применения удобрений и биостимуляторов роста [2–5; 7; 8; 10; 14; 15; 22; 23]. Их использование является особенно актуальным в настоящее время, показывая высокую экономическую эффективность и перспективность, так как позволяет значительно ускорить рост и развитие растений, значительно увеличить их урожайность.

Микроэлементы требуются для улучшения роста и развития всех растений. Но с учетом видовой принадлежности и разной степени обеспеченности элементами питания степень нуждаемости в дополнительных подкормках и препаратах у растений является различной. Различное соотношение препаратов «Волски Биохим» позволяет подобрать препарат и оптимальную его дозировку для любых видов и форм культур, учитывая их биологические особенности в каждую фенологическую фазу.

Поскольку применение комплексных микроудобрений обеспечивает быстрый прирост, увеличение биомассы растения и урожайности, это способствует хорошей прибавке урожайности, позволяя окупать затраты на внесение препаратов. Микроудобрения закрепляются на семенах и не осыпаются ввиду полимерной композиции в составе, отлично совмещаются с препаратами для борьбы с вредителями, ускоряют проникновение влаги в семена растений, повышают их выносливость при перепадах температур.

Суспензия «Страда Р» не требует растворения, легко и быстро усваивается растениями, закрепляется на листьях при обработке, тем самым увеличивая эффективность действия. Раствор высокой концентрации «Микроэл» содержит хелаты, повышает устойчивость обрабатываемых растений к засухе и заморозкам, усиливает процессы фотосинтеза, повышает иммунитет.

Поскольку лучшие по общей высоте и биомассе растения являются особенно ценными производителями для получения быстрорастущего и производительного семенного потомства, применение микроудобрений и биостимуляторов обеспечит им более подходящие условия развития.

Цель исследований: установить влияние жидких комплексных микроудобрений на рост и развитие видов робинии псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.) и сосны крымской (*Pinus nigra subsp. pallasiana* (Lamb.) Holmboe.) в условиях Волгоградской области.

Материал и методы исследований

Объектом исследований являлись виды робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.) [9, 12, 17, 25] и сосна крымская (*Pinus nigra subsp. pallasiana* (Lamb.) Holmboe.) [13, 19–21, 24], выращиваемые в производственном питомнике ФНЦ агроэкологии РАН (Нижневолжская станция по селекции древесных пород, г. Камышин, Волгоградская область).

Для получения быстрой всхожести семена нуждаются в стратификации [16], которую проводили при температуре +10°C. При оптимальной влажности и доступе воздуха происходит размягчение оболочек, набухание семян и превращение питательных веществ в доступную для зародыша форму. Оптимальная влажность и доступ кислорода к семенам обеспечили перемешиванием их через каждые 10–15 дней. Для этого семена из ящиков высыпали на пол и при необходимости увлажняли водой. Семена, которые в стратификации преждевременно прорастали, до посева закапывали в снег [6]. Фенологические наблюдения и учет растений включали в себя количество высеванных семян, дату посева, количество погонных метров борозд, дату появления первых и массовых всходов, количество всходов после массового их

появления. Для контроля влажности и температуры помещения использовали психрометр М-34М, для измерения биометрических показателей применяли штангенциркуль и линейку ростовую [16].

Некорневые подкормки препаратами «Страда Р» и «Микроэл» осуществляли при норме расхода препаратов 30 мл/10 л воды и 2 мл/1 л воды соответственно. Подкормку проводили 3 раза за сезон с интервалом в 10–15 дней в период активного роста и развития растений (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Схема опыта с открытой корневой системой в защищенном грунте (уплотненный посев, дина участка – 10 м, длина варианта опыта – 2,5 м)

| № варианта опыта | Описание |
|------------------|---|
| В1 | Контроль. Грунт для хвойных растений |
| В2 | Торф 50% + песок 50% + почвоулучшитель |
| В3 | Торф 30% + песок 70% + почвоулучшитель + обработка препаратом Страда Р (замачивание на 4 ч в растворе 3 мл/л воды). Вегетационная обработка Страда Р 3 мл/л воды (3 раза за сезон с интервалом в 10–15 дней в период активного роста). Вегетационная обработка (Микроэл, 2 мл/л воды, 3 раза в сезон с интервалом в 10–15 дней в период активного роста) |
| В4 | Торф 70% + песок 30% + почвоулучшитель; +обработка препаратом Страда Р (замачивание на 4 ч в растворе 3 мл/л воды) без обработки (контроль). Вегетационная обработка Страда Р 3 мл/л воды (3 раза за сезон с интервалом в 10–15 дней в период активного роста). Вегетационная обработка (Микроэл, 2 мл/л воды, 3 раза в сезон с интервалом в 10–15 дней в период активного роста) |

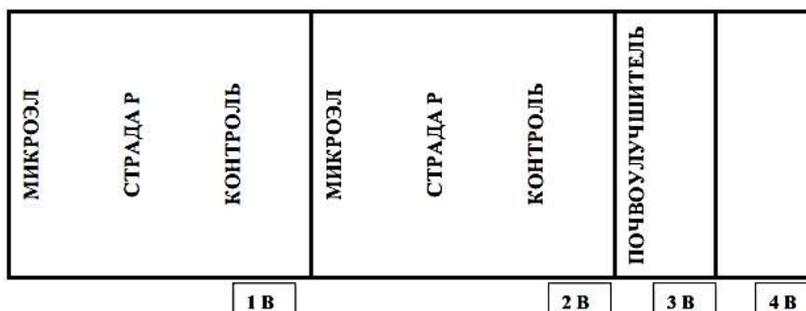
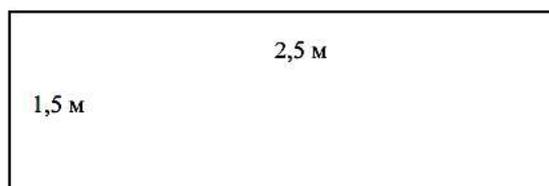


Рис. 1. Схема испытания комплексных удобрений «Волски Биохим»

В опытах по закладке семян сосны использовали сравнение технологии посева в кассетах РКЛ-81 и коробах размером 1,5×2,5 м.

Рассадные лесные кассеты предназначены для выращивания сеянцев сосен 1- и 2-летнего возраста. Вес ячейки – 1150 г, размер кассет составлял 385×385×80 мм, количество ячеек в кассете – 81 шт., объем ячейки – 90 см³, размер ячейки составлял 41×41×80 мм, плотность ячеек (шт/м²) – 546. Результаты опытов обрабатывали в программе Biostat 7.7.0.

Результаты и их обсуждение

Комплексные удобрения «Волски Биохим» повышают всхожесть и энергию прорастания семян, усиливают рост проростков, обеспечивают формирование мощной корневой системы, повышают устойчивость к стрессам, в том числе засухоустойчивость. Достоинством испытываемых микроудобрений является возможность совмещения их с пестицидами. Обработка семян робинии и сосны производилась в дозировке 15 мл/л воды, семена замачивали перед посевом на 2 ч.

Препарат «Страда Р» содержит: N – 65 г/л; P₂O₅–258 г/л; K₂O – 65 г/л; MgO – 2,3 г/л; SO₃–10,3 г/л; Fe (в форме хелата ЭДТА) – 0,9 г/л; Mn (в форме хелата ЭДТА) – 0,65 г/л; B – 0,26 г/л; Zn (в форме хелата ЭДТА) – 13 г/л; Cu – 0,9 г/л; Mo – 0,65 г/л; Co (в форме хелата ЭДТА) – 0,13 г/л; Se – 0,026 г/л.

Наиболее богат микроэлементами препарат «Микроэл». В его состав входит азотфиксирующий и фотосинтезирующий комплекс: Mn – 3,4 г/л; Mo – 2,2 г/л; MgO – 15 г/л; B – 1,6 г/л; Zn – 14 г/л; Cu – 6 г/л; Fe – 3,0 г/л; Co – 0,8 г/л. Репродуктивно-защитный комплекс препарата включает в себя: Cr – 0,013 г/л; Ni – 0,06; Li – 0,4 г/л; Se – 0,09 г/л; SO₃–68 г/л; N – 4 г/л; K₂O – 0,3 г/л.

Выявлено, что для разработки технологии выращивания сеянцев с ЗКС лесные кассеты РКЛ-81 являются основой технологии и оптимальным вариантом для посадки (табл. 2). В них имеются вертикальные щели и направляющие ребра в стенках, которые правильно и естественно разветвляют и распределяют корневую систему сеянцев. При разветвлении корни в щелях стенок ячейки проходят воздушную обработку и образуют активные корневые кончики, которые уже готовы к росту при пересадке растений в открытый грунт. Щели по бокам ячейки выполняют роль дренажа и помогают прохождению кислорода. При избыточном поливе излишек влаги вытекает из отверстий в дне кассет. В данном типе ячеек возможно выращивание сеянцев до длины 7–26 см.

Таблица 2

Всхожесть и сохранность семян робинии и сосны в кассетах РКЛ-81

| Вид | Количество высеванных семян на 1 пог. м, шт. | | Количество появившихся всходов на 1 пог. м, шт. | | % грунтовой всхожести | | Количество сохранившихся сеянцев на конец вегетации на 1 пог. м, шт. | | % сохранности | |
|---------|--|------|---|------|-----------------------|------|--|------|---------------|------|
| | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 | 2021 | 2022 |
| Робиния | 600 | 556 | 350 | 40 | 50,1 | 6,1 | 68 | 6 | 19,2 | 14,2 |
| Сосна | 245 | 235 | 100 | 54 | 33,5 | 25 | 25 | 11 | 22,8 | 23,7 |

Экспериментальный короб для выращивания сеянцев выполнен из дерева, его длина составляет 2,5 м, ширина – 1,5 м, высота – 40 см. Его легче и удобнее заполнять плодородным грунтом, что обеспечивает растениям полноценное питание и увеличивает их урожайность (рис. 2).

Закладка опыта предусматривала установление питательных веществ в каждом испытываемом субстрате вариантов опыта. Нормы внесения комплексных удобрений зависят от содержания гумуса и механического состава почв (рис. 3). В зоне полупустыни лучшими для питомников считаются светло-каштановые и лугово-каштановые, слабо-солонцеватые почвы легкого механического состава. Пятна солонцов в комплексе не должны занимать более 3–5%.

Для очистки семян сосны от примесей, пустых и недоразвитых семян использовался воздушно-гравитационный сепаратор ВГС-01, затем на этом же оборудовании семена проходили сортировку по массе в горизонтальном воздушном потоке.



Рис. 2. Общий вид лесных кассет, короба и подготовка экспериментального участка к высеву (Нижеволжская станция по селекции древесных пород, г. Камышин, 2022 г.):
а) подготовленные кассеты; б) смешанные грунты; в) уплотнение грунта в коробе;
г) высев семян в короб рядовым способом

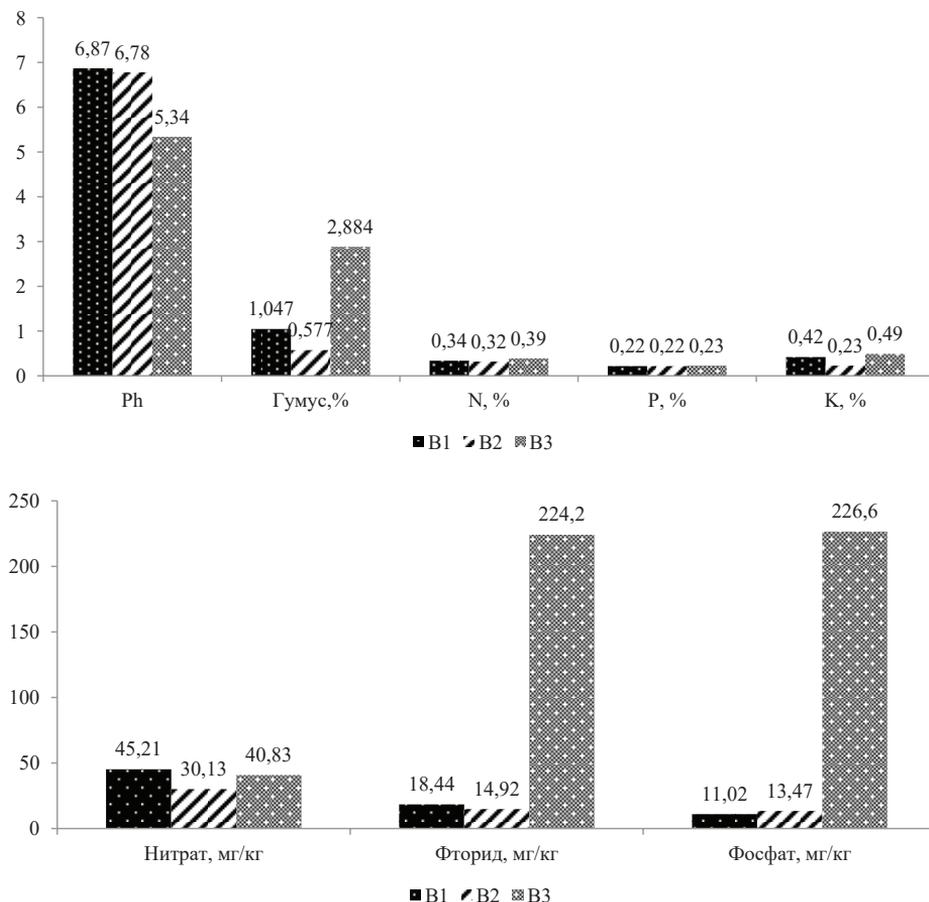


Рис. 3. Содержание питательных элементов испытываемых почвосмесей

Этапы очищения семян сосны:

1. Семенной материал засыпали вручную в загрузочный бункер, из которого он через окно, регулируемое задвижкой, поступал в обескрыливатель.

2. Для обеспечения движения семян через окно (щель) с помощью палочки длиной 30–40 см разрушали образующиеся внутри массы семян своды, содействуя проходу семян через окно.

3. В обескрыливателе в результате механического перемешивания и трения семена отделялись от крылаток, и получаемая смесь просыпалась сквозь ячейки сетки в приемный бункер. Оттуда питателем смесь подавалась через окно, регулируемое заслонкой, а далее по лотку попадала в приемное окно вертикального канала.

4. В канале семенная смесь разделялась на фракции воздушным потоком, который создавал вентилятор: легкие примеси, крылатки и пустые семена увлекались потоком воздуха и поступали в накопитель осадочной камеры, а полнозернистые семена и тяжелые примеси, двигались навстречу потоку воздуха и по лотку, направлялись в решетный барабан.

5. В барабане происходило дальнейшее разделение семенного материала на цилиндрических решетках с различными отверстиями: мелкие тяжелые примеси проходили через отверстия первого решета и поступали в ящик; семена проходили через отверстия второго решета и падали в отдельный ящик; крупные примеси сходили с барабана в третий ящик.

Обработка семян сосны повышает устойчивость сеянцев к неблагоприятным условиям внешней среды и положительно сказывается на грунтовой всхожести семян. Обработанные в день посева семена подсушивали до состояния сыпучести и высевали рядовым способом с расположением узких посевных строчек вдоль лент. Такие схемы посева обеспечивают возможность применения орудий по уходу за почвой и растениями при выращивании сеянцев и позволяют максимально использовать площадь посевного отделения питомника. Средняя масса 1000 шт. семян составила 18 г, глубина заделки – 1–2 см.

В ходе наблюдений за опытными растениями было установлено, что в вариантах опытов с применением комплексных удобрений «Волски» у посадочного материала отмечается хорошее соотношение надземной части и корневой системы, быстрый рост и развитие. Растения имели ровные стволы, здоровые, хорошо разветвленные корни с большим количеством мочковатых корней, не имели механических повреждений. У робинии псевдоакация толщина стволика составляла 0,7 см, минимальная высота надземной части – 25 см, максимальная – 98 см (рис. 4–6).

Сеянцы сосны в возрасте 2 года посева имели толщину стволика 4 мм, максимальная высота сеянца составляла 29,6 см, что полностью соответствует стандартам и требованиям к выращиванию посадочного материала (табл. 3).

Наблюдения и проведенные исследования показали, что заметная дифференциация сеянцев сосны и робинии по высоте в зависимости от варианта опыта начинается со второй половины июня. При посеве в короб наибольший прирост по высоте приходится на период с третьей декады июня на конец июля, затем наблюдается некоторое затухание процессов роста. К концу вегетации первого года роста так же, как и на протяжении всего второго вегетационного сезона, преимущество в росте остается, как и в начале дифференциации по высоте за сеянцами сосны в 1-м варианте опыта, а также в варианте закладки опыта в коробе. У робинии наилучший вариант по росту и развитию отмечен в вариантах № 1 и № 2. У 2-летних сеянцев темпы роста аналогичны закономерностям прироста однолетних сеянцев.

Таким образом, как показала динамика хода роста сеянцев, схемы посевов по-разному могут влиять на рост сеянцев в течение вегетационного периода. Если в первые два месяца существенная разница по высоте не наблюдается, то к концу вегетационного периода имеет место существенная разность средних высот растений по вариантам опытов.



Рис. 4. Сохранность растений робинии в трех вариантах опыта

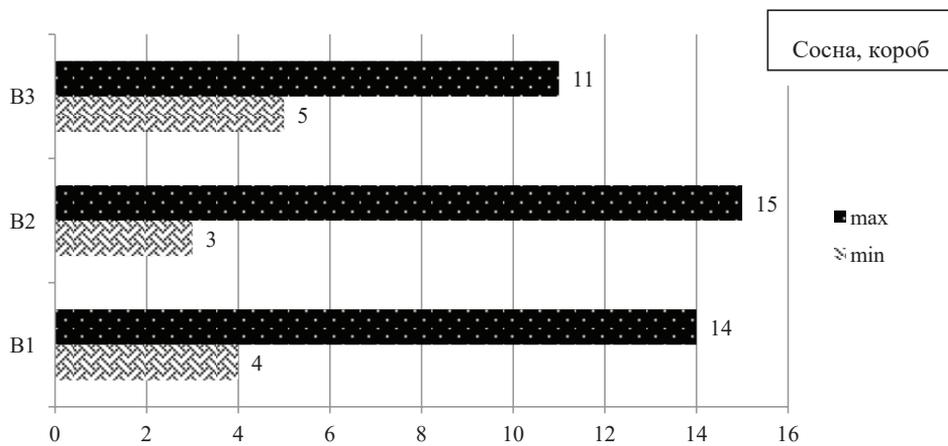
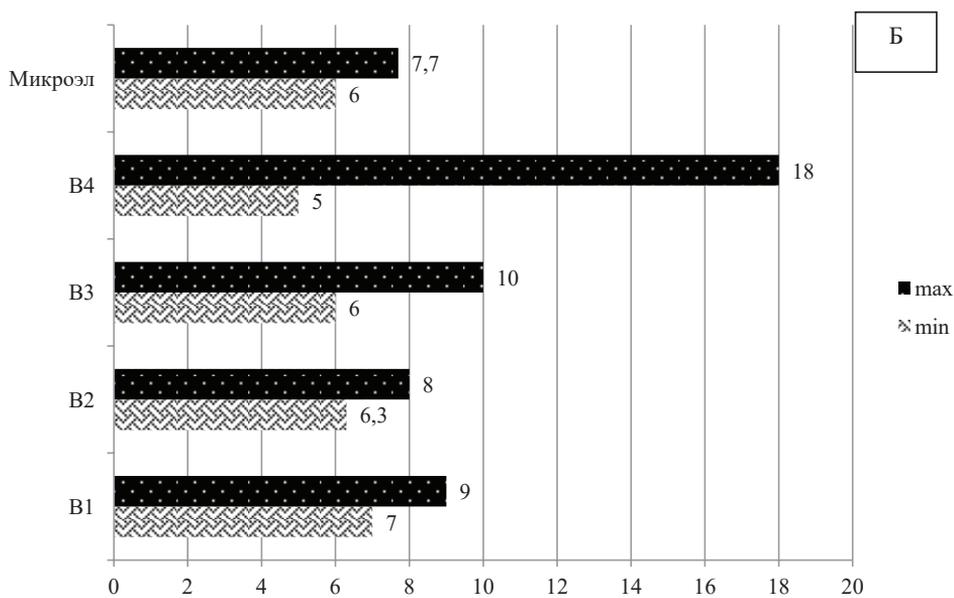
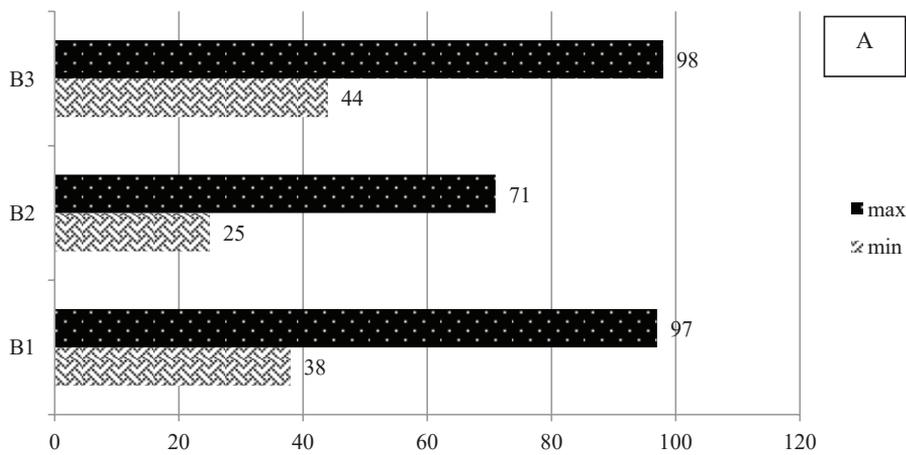


Рис. 5. Минимальные и максимальные показатели растений робинии (а) и сосны (б) в вариантах опыта

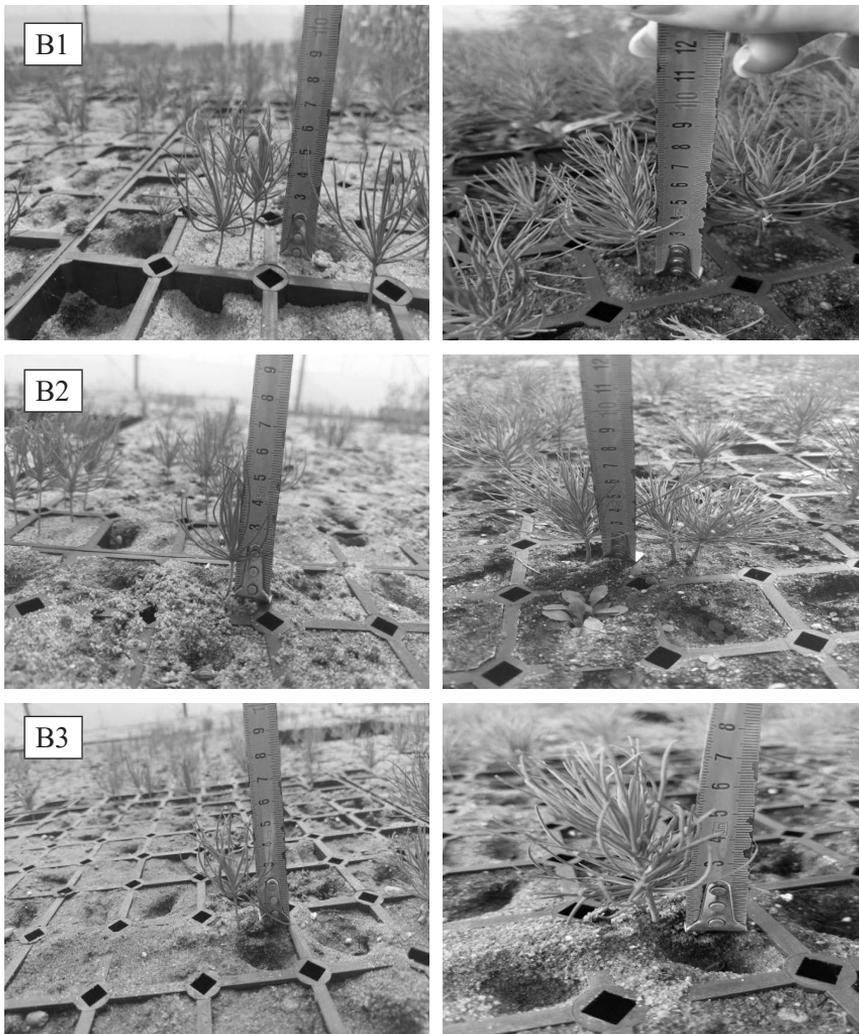


Рис. 6. Рост и развитие сеянцев сосны крымской в различных вариантах испытания комплексных удобрений

Рост и развитие сеянцев робинии и сосны в вариантах опыта

| Вариант опыта | Сроки наблюдений | | | | | | | |
|------------------------|------------------|---------|----------|-----------|----------|---------|----------|-----------|
| | 1.IV.21 | 13.V.21 | 28.VI.21 | 17.VII.21 | 11.IV.22 | 26.V.22 | 12.VI.22 | 26.VII.22 |
| Сосна | | | | | | | | |
| 1 | 2,7 | 5,2 | 14,6 | 21,0 | 23,5 | 23,8 | 25,2 | 27,7 |
| 2 | 2,4 | 5,3 | 14,8 | 18,3 | 19,2 | 20,1 | 22,3 | 24,2 |
| 3 | 2,8 | 6,2 | 14,9 | 17,4 | 18,5 | 20,0 | 22,1 | 23,4 |
| Короб | 2,9 | 6,0 | 15,0 | 22,1 | 24,0 | 25,6 | 27,7 | 29,6 |
| Стандартное отклонение | 0,70 | 0,26 | 0,47 | 0,10 | 2,49 | 2,99 | 3,17 | 3,37 |
| Коэффициент вариации | 0,28 | 0,09 | 0,08 | 0,006 | 0,12 | 0,14 | 0,13 | 11,37 |
| Дисперсия | 0,5 | 0,07 | 0,22 | 0,01 | 6,22 | 8,96 | 10,09 | 0,13 |
| Робиния | | | | | | | | |
| 1 | 1,1 | 5,6 | 38,1 | 55,9 | 67,4 | 77,1 | 81,0 | 97,0 |
| 2 | 2,0 | 6,0 | 32,5 | 50,0 | 62,2 | 75,3 | 88,6 | 98,0 |
| 3 | 2,0 | 5,4 | 25,9 | 43,7 | 50,1 | 59,8 | 66,4 | 71,0 |
| Короб | 2,0 | 4,9 | 19,5 | 30,1 | 39,6 | 44,2 | 51,1 | 58,0 |
| Стандартное отклонение | 0,70 | 0,55 | 6,5 | 10,17 | 11,30 | 15,55 | 18,85 | 20,40 |
| Коэффициент вариации | 0,28 | 0,10 | 0,25 | 0,24 | 0,22 | 0,26 | 0,27 | 0,26 |
| Дисперсия | 0,50 | 0,30 | 42,25 | 103,44 | 127,90 | 241,80 | 355,5 | 416,33 |

Выводы

В ходе полевого опыта было установлено положительное влияние комплексных удобрений «Волски Биохим» на морфометрические показатели робинии и сосны, что не только выразилось в ускорении их ростовых процессов, но и сказалось на хорошем состоянии сеянцев. Стратификация семян показывает хорошие результаты при выращивании, позволяя выбрать наиболее здоровые и развитые.

Выявлено, что высадка в короб сеянцев робинии псевдоакации способствует более равномерному распределению ее корневой системы, увеличивает площадь питания растений и их биомассу (оптимальное количество всходов сосен составило 80 шт. на 2,5 пог. м). С помощью предпосевной обработки семян комплексными удобрениями можно значительно увеличить приросты сеянцев.

Исследования показали, что лесные кассеты РКЛ-81 помогают сохранить всходы высеванных семян, обеспечить достаточное количество сеянцев сосны и робинии в первый год после высадки, а также их сохранность на второй год выращивания.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 122020100448–6 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Библиографический список

1. Агролесомелиорация: монография. – Изд. 5-е, перераб. и доп. / Под ред. А.Л. Иванова, К.Н. Кулика. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. – 746 с.
2. Андреева Е.М., Стеценко С.К., Кучин А.В. и др. Влияние стимуляторов роста природного происхождения на проростки хвойных пород // Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6, № 3 (23). – С. 10–19.
3. Антонов А.М., Макаров С.С., Лютикова А.И., Сорокин Е.С., Чудецкий А.И. Влияние стимуляторов корнеобразования на укоренение зеленых черенков туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в условиях Архангельской области // Лесохозяйственная информация. – 2024. – № 1. – С. 91–98. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2024.1.07.
4. Багаев С.С., Чудецкий А.И., Макаров С.С. Выращивание посадочного материала березы с использованием биостимуляторов в Костромской области // Теория и практика современной аграрной науки: мат-лы III Национальной (Всеросс.) науч. конф. с междунар. участием (г. Новосибирск, 28 февраля 2020 г.). – Новосибирск: Золотой колос, 2020. – Т. 1. – С. 361–364.
5. Багаев С.С., Чудецкий А.И., Макаров С.С. Выращивание посадочного материала ели европейской с использованием биостимуляторов в Костромской области // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: мат-лы VII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Саратов, 17–19 марта 2020 г.). – Саратов: Амирит, 2020. – С. 408–410.
6. ГОСТ 13056.6–97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести: введ. 1998–07–01. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. – 31 с.
7. Егоров С.А. Влияние гуминовых препаратов на состояние древесных видов в засушливых условиях // Агрехимический вестник. – 2023. – № 4. – С. 84–89. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-4-014.
8. Зарубина Л.В., Макаров С.С. Влияние азотных удобрений на сезонный рост хвои сосны обыкновенной в условиях торфяно-болотных почв Севера России // Лесохозяйственная информация. – 2023. – № 4. – С. 29–40. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.03.
9. Иванисова Н.В., Седой Р.Г., Бабошко О.И., Куринская Л.В. Особенности роста робинии псевдоакации в условиях степной зоны // Лесоведение. – 2021. – № 3. – С. 240–249. DOI: 10.31857/S0024114821030062.
10. Крючков С.Н., Солонкин А.В., Соломенцева А.С. и др. Применение современных биостимуляторов и регуляторов роста для питомниководства в условиях деградации и опустынивания // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2022. – Т. 26, № 4. – С. 29–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-29-38.

11. Кулик К.Н., Барабанов А.Т., Жданов Ю.М. и др. Стратегия развития защитного лесоразведения в Волгоградской области на период до 2025 года. – 2-е изд., испр. и доп. – Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2019. – 39 с.
12. Лазарев С.Е. Механизмы адаптации и жизненные стратегии видов рода *Robinia* L. в условиях интродукции // Наука. Мысль: Электронный периодический журнал. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 48–67. DOI: 10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2020.1.3.
13. Левин С.В., Семенов М.А., Пащенко В.И., Левин И.С. Экологические особенности произрастания сосны Палласа (крымской) при совместном выращивании с сосной обыкновенной // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 1 (33). – С. 44–53. DOI: 10.12737/article_5c92016cse31d2.57961318.
14. Макаров С.С., Антонов А.М., Лютикова А.И. Влияние стимуляторов корнеобразования на укоренение одревесневших черенков туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в гидропонной установке // Естественные и технические науки. – 2023. – № 5 (180). – С. 178–181.
15. Макаров С.С., Виноградова В.С., Смирнова Ю.В. Оценка эффективности нового органоминерального удобрения при выращивании голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) // Лесохозяйственная информация. – 2022. – № 3. – С. 105–111. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.09.
16. Научно-методические указания по сортовому семеноводству деревьев и кустарников для лесомелиорации аридных территорий: Научно-методические рекомендации. – Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2022. – 52 с.
17. Сурхаев И.Г., Сурхаева Г.М., Рыбашлыкова Л.П. Закономерности порослевого лесовосстановления защитных древостоев робинии псевдоакации на Терско-Кумских песках // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 2 (62). – С. 185–195. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-20.
18. Сухоруких Ю.И., Биганова С.Г., Глинушкин А.П., Свиридова Л.Л. Критерии отбора плюсовых деревьев для защитного лесоразведения // Новые технологии. – 2023. – Т. 19, № 1. – С. 69–79. DOI: 10.47370/2072-0920-2023-19-1-69-79.
19. Турчина Т.А. Повышение эффективности создания лесных культур сосны крымской на низковлагодомных песках степной зоны Европейской части России // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 58. – С. 61–64.
20. Турчина Т.А., Банникова О.А. Приживаемость и особенности роста сосны крымской на песках Среднего Дона при разной доступности грунтовых вод // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 74–80.
21. Турчина Т.А., Банникова О.А. Рост сосны крымской на песчаных почвах степной зоны Европейской части России // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. – 2021. – Т. 24. – С. 154–158.
22. Феклистов П.А., Тюкавина О.Н., Сунгурова Н.Р., Макаров С.С., Болотов И.Н., Тарханов С.Н. Особенности накопления минеральных элементов и азота в ассимиляционном аппарате сосны обыкновенной // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2024. – № 3. – С. 118–129. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-3-118-129.
23. Чудецкий А.И., Макаров С.С. Адаптация брусники обыкновенной *ex vitro* с использованием современных стимуляторов роста // Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения: сб. науч. тр. IX Междунар. науч. конф. молодых ученых (г. Москва, 16–17 декабря 2021 г.). – М.: ФГБНУ ВИЛАР, 2021. – С. 56–60. DOI: 10.52101/9785870191027_2021_56.

24. Чукарина А.В., Чеплянский И.Я., Лобанова Е.Н., Проказин Н.Е. Опыт выращивания трехлетних сеянцев сосны обыкновенной и сосны крымской в лесных питомниках Ростовской области // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2019. – № 54. – С. 171–174.

25. Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S., Zholobova O.O. Elements of the Technology of Reproduction of *Robinia Pseudoacacia* L. for Protective Afforestation under Conditions of Land Degradation and Desertification // Arid Ecosystems. – 2023. – Vol. 13, № 1. – Pp. 83–91. DOI: 10.1134/S2079096123010055.

26. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia // International Journal of Economics and Financial Issues. – 2016. – Vol. 6, no. S5. – P. 33–41.

THE USE OF LIQUID COMPLEX MICRONUTRIENTS FOR THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF ROBINIA PSEUDOACACIA AND CRIMEAN PINE IN ARID CONDITIONS

S.A. EGOROV, S.N. KRUYCHKOV, A.V. SOLONKIN,
A.S. SOLOMENTSEVA, D.A. GORBUSHOVA

(Federal Research Centre for Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation, RAS)

The article presents data on the results of testing complex micronutrients when sowing seeds of Robinia pseudoacacia L. and Pinus nigra subsp. pallasiana (Lamb.) Holmboe. at a production nursery. Stratification provides seeds with rapid germination under optimal conditions of oxygen access and maintaining a humidity level and temperature of 10°C. Fertilizers “Volski Biochem” are able to increase the energy of germination of seeds of the studied species, increase their growth rate and contain all the necessary nutrients for plants. The highest content of trace elements is found in the preparation “Microel”. Established that the best option for planting seeds are RCL-81 forest cassettes, which naturally and correctly distribute the root system of seedlings, increase their ability to form active root tips, provide oxygen to plants and eliminate waterlogging with improper watering. The percentage of safety for seedlings in the first and second year was almost the same. Pine seeds require de-spraying on the VSG-01 air gravity apparatus before processing and planting. The possibility of using tools for tillage and crops is provided by an ordinary method with the location of narrow sowing lines along the tapes. Proven that the use of complex micro fertilizers allows pine and robinia seedlings to have an optimal ratio of the aboveground part and the root system, accelerated growth and development, and an even stem. The maximum growth of robinia was 71–98 cm, pine trees 10–29 cm, which fully met the standards and requirements for the cultivation of planting material of woody species. Revealed that the differentiation of robinia and pine seedlings in height begins in the second half of June, in the variant of the experiment with sowing seeds in a box, the largest gains of seedlings were observed in the third decade of June, after which there was a noticeable decrease in growth. As a result, the best growth and development indicators were observed in Crimean pine in the 1st variant of the experiment, in robinia pseudoacacia in the 1st and 2nd variants. The growth rates of two-year-old seedlings of the studied species are identical to those of annual seedlings.

Keywords: protective forest plantations, Strada R, Microel, nursery, growth, development, cultivation, robinia, pine

The work is done in the framework of the Federal Research Centre for Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation, RAS, wounds on the topic «Creation of new

competitive forms, varieties and hybrids of cultivated, woody and shrubby plants with high productivity, quality and increased resistance to adverse environmental factors, new innovative technologies in seed production and nursery taking into account varietal characteristics and soil and climatic conditions of arid territories of the Russian Federation”, No. 122020100448–6.

References

1. *Agroforestry*. Ed. by A.L. Ivanov, K.N. Kulik. 5th ed., rev. and supp. Volgograd, Russia: VNIALMI, 2006:746. (In Russ.)
2. Andreeva E.M., Stetsenko S.K., Kuchin A.V. et al. The influence of growth-promoting factors obtained from natural material on softwood germs. *Forestry Engineering Journal*. 2016;6(3(23)):10–19. (In Russ.)
3. Antonov A.M., Makarov S.S., Lyutikova A.I., Sorokin E.S., Chudetsky A.I. The influence of root formation stimulants on the rooting of green cuttings of western thuja (*Thuja occidentalis* L.) in the conditions of the Arkhangelsk region. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya*. 2024;1:91–98. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2024.1.07>. (In Russ.)
4. Bagaev S.S., Chudetsky A.I., Makarov S.S. Growing birch planting material using biostimulants in the Kostroma region. In: *Proc. Sci. Conf. “Theory and practice of modern agricultural science”*, Novosibirsk, Russia, February 28, 2020;1:361–364. (In Russ.)
5. Bagaev S.S., Chudetsky A.I., Makarov S.S. Growing planting material of Norway spruce using biostimulants in the Kostroma region. In: *Proc. VII Int. Sci. Pract. Conf. “Innovations in environmental management and protection in emergency situations”*, Saratov, Russia, March 17–19, 2020:408–410. (In Russ.)
6. GOST 13056.6–97. *Seeds of trees and shrubs. Methods of seedling activation*. Effective date: July 01, 1998. Minsk, Belarus: Mezhhgos. sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii, 1998:31. (In Russ.)
7. Egorov S.A. Influence of humic preparations on condition of woody species in arid conditions. *Agrochemical Herald*. 2023;4:84–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-4-014>
8. Zarubina L.V., Makarov S.S. The influence of nitrogen fertilizers on the seasonal growth of Scots pine needles in the conditions of peat-bog soils of the North of Russia. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya*. 2023;4:29–40. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.03> (In Russ.)
9. Ivanisova N.V., Sedoy R.G., Baboshko O.I., Kurinskaya L.V. Features of *Robinia pseudoacacia* growth in steppe zone conditions. *Lesovedenie*. 2021;3:240–249. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0024114821030062>
10. Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S. et al. Modern biostimulants and growth regulators for nursery breeding in conditions of degradation and desertification. *Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin*. 2022;26(4):29–38. (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-4-29-38>
11. Kulik K.N., Barabanov A.T., Zhdanov Yu.M. et al. *Strategy for the development of protective afforestation in the Volgograd region for the period up to 2025*. 2nd ed., rev. and supp. Volgograd, Russia: Federal’niy nauchniy tsentr agroekologii, kompleksnykh melioratsiy i zashchitnogo lesorazvedeniya Rossiyskoy akademii nauk, 2019:39. (In Russ.)
12. Lazarev S.E. Adaptation mechanisms and life strategies of species of the *Robinia* L. genus under the conditions of introduction. 2020;10(1):48–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2020.1.3>
13. Levin S.V., Semenov M.A., Pashchenko V.I., Levin I.S. Environmental features of Crimean pine growth with joint growth with Scots

- pine. *Forestry Engineering Journal*. 2019;9(1(33)):44–53. (In Russ.) https://doi.org/10.12737/article_5c92016cce31d2.57961318
14. Makarov S.S., Antonov A.M., Lyutikova A.I. The influence of root formation stimulants on the rooting of lignified cuttings of western thuja (*Thuja occidentalis* L.) in a hydroponic installation. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2023;5:178–181. (In Russ.)
15. Makarov S.S., Vinogradova V.S., Smirnova Yu.V. Evaluation of the effectiveness of a new organomineral fertilizer for growing lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Lesokhozyaystvennaya informatsiya*. 2022;3:105–111. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.09>. (In Russ.)
16. Kryuchkov S.N., Belyayev A.I., Pugachova A.M., Solonkin A.V., Solomentseva A.S. et al. *Scientific and methodological guidelines on varietal seed production of trees and shrubs for forest reclamation of arid territories: scientific and methodological recommendations*. Volgograd, Russia: Federal'niy nauchnyy tsentr agroekologii, kompleksnykh melioratsiy i zashchitnoy lesorazvedeniya Rossiyskoy akademii nauk, 2022:52. (In Russ.)
17. Surkhaev I.G., Surkhaeva G.M., Rybashlykova L.P. Regularities of overgrowth reforestation of protective stands of robinia pseudoacacia on the Tersko-Kuma sands. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2021;2(62):185–195. (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-02-20>
18. Sukhorukikh Yu.I., Biganova S.G., Glinushkin A.P., Sviridova L.L. Criteria for selecting plus trees for protective forestry. *New Technologies*. 2023;19(1):69–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-1-69-79>
19. Turchina T.A. Increasing the efficiency of creating forest Crimean pine crops on low-water sands of the steppe zone of the European part of Russia. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2020;58:61–64. (In Russ.)
20. Turchina T.A., Bannikova O.A. Survival and growth features of the Crimean pine forest cultures on Average Don sands at the different level of ground waters availability. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2019;15(3):74–80. (In Russ.)
21. Turchina T.A., Bannikova O.A. Crimean pine, forest crops, growth, soil type. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy*. 2021;24:154–158. (In Russ.)
22. Feklistov P.A., Tyukavina O.N., Sungurova N.R., Makarov S.S., Bolotov I.N., Tarkhanov S.N. Features of the accumulation of mineral elements and nitrogen in the assimilation apparatus of Scots pine. *Lesnoy zhurnal*. 2024;3:118–129. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-3-118-129> (In Russ.)
23. Chudetsky A.I., Makarov S.S. Ex vitro adaptation of lingonberry using modern growth stimulants. In: Proc. IX Int. Sci. Conf. “Modern trends in the development of health-preserving technologies”, Moscow, Russia, December 16–17, 2021: 56–60. https://doi.org/10.52101/9785870191027_2021_56. (In Russ.)
24. Chukarina A.V., Cheplyanskiy I.Ya., Lobanova E.N., Prokazin N.E. The experience of growing three-year seedlings of Scots pine and Crimean pine in forest nurseries of the Rostov region. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2019;54:171–174. (In Russ.)
25. Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S., Zholobova O.O. Elements of the Technology of Reproduction of *Robinia Pseudoacacia* L. for Protective Afforestation under Conditions of Land Degradation and Desertification. *Arid Ecosystems*. 2023;13(1):83–91. <https://doi.org/10.1134/S2079096123010055>
26. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2016;6(S5):33–41.

Сведения об авторах

Егоров Сергей Анатольевич, младший научный сотрудник, аспирант лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, ФНЦ агроэкологии РАН; 400062, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97; e-mail: egorov-sa@vfanc.ru

Крючков Сергей Николаевич, д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, ФНЦ агроэкологии РАН; 400062, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97; e-mail: kryuchkov@vfanc.ru

Солонкин Андрей Валерьевич, д-р с.-х. наук, заведующий лабораторией селекции, семеноводства и питомниководства, ФНЦ агроэкологии РАН; 400062, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97; e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

Соломенцева Александре Сергеевна, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, ФНЦ агроэкологии РАН; 400062, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97; e-mail: alexis2425@mail.ru; тел.: + (906) 403–76–58

Горбушова Дарья Алексеевна, лаборант-исследователь лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, ФНЦ агроэкологии РАН; 400062, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97; e-mail: gorbushova-d@vfanc.ru

Information about the authors

Sergey A. Egorov, Junior Research Associate, postgraduate student of the Laboratory of Breeding, Seed and Nursery Production, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (97 Universitetskiy Ave, Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: egorov-sa@vfanc.ru)

Sergey N. Kryuchkov, DSc (Agr), Chief Research Associate at the Laboratory of Breeding, Seed and Nursery Production, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (97 Universitetskiy Ave, Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: kryuchkov@vfanc.ru)

Andrey V. Solonkin, DSc (Agr), Head of the Laboratory of Breeding, Seed and Nursery Production, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (97 Universitetskiy Ave, Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: solonkin-a@vfanc.ru)

Aleksandra S. Solomentseva, CSc (Agr), Senior Research Associate at the Laboratory of Breeding, Seed and Nursery Production, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (97 Universitetskiy Ave, Volgograd, 400062, Russian Federation; phone: + (906) 403–76–58; e-mail: alexis2425@mail.ru)

Daria A. Gorbushova, Laboratory Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed and Nursery Production, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (97 Universitetskiy Ave, Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: gorbushova-d@vfanc.ru)

ВЛИЯНИЕ ЗАСУХИ НА РАЗВИТИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ
УРОЖАЙНОСТИ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

И.Н. ЩЕННИКОВА, Л.В. ПАНИХИНА

(Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого)

В исследованиях, выполненных в 2021–2023 гг. в ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (г. Киров), в условиях вегетационного опыта путем имитации засухи осуществлена оценка 10 сортов ярового ячменя различного происхождения (сорта селекции ФАНЦ Северо-Востока гибридного и регенерантного происхождения, коллекционные образцы). Засуху моделировали при наступлении фазы «Выход в трубку» путем прекращения полива и пленочным укрытием от атмосферных осадков, исключая парниковый эффект. Время создания водного стресса соответствовало межфазному вегетационному периоду растений «Выход в трубку-колошение». Целью исследований стало определение влияния элементов структуры продуктивности на урожайность сортов ярового ячменя и определение элементов, сопряженных с изменчивостью урожайности сортов при нарастающем водном дефиците в межфазный период «Выход в трубку-колошение». На основе полученных данных нужно было выделить сорта, устойчивые к засухе. Для оценки засухоустойчивости сортов использовали индекс засухоустойчивости как отношение параметров сорта к среднему значению по всем сортам при наличии стресса и его отсутствии. Проведенные исследования показали, что изученные сорта по-разному реагировали на наличие засухи в межфазный период «Выход в трубку-колошение». Установлено, что водный дефицит привел к достоверному снижению урожайности всех сортов ячменя в среднем на 73 г/м², влияя на развитие большинства элементов ее структуры. При наличии засухи не выявлены признаки продуктивности растений ячменя, сопряженные с урожайностью сортов. В то же время при благоприятных условиях вегетации (отсутствие засухи) установлено значимое влияние длины колоса ($r = 0,61$), продуктивности колоса ($r = 0,81$) и растения ($r = 0,84$), массы 1000 зерен ($r = 0,56$) на урожайность сортов ячменя. Расчет корреляционной связи индексов засухоустойчивости урожайности и элементов структуры показал достоверную связь ($r = 0,912$) только между DSI урожайности и показателем «Масса 1000 зерен». Следовательно, высокопродуктивные генотипы при водном стрессе в межфазный период «Выход в трубку-колошение» следует отбирать по выраженности признака «Масса 1000 зерен». Сорта Новичок, Tallon, Форвард и Бионик могут быть использованы в качестве компонентов скрещивания в соответствующих селекционных программах.

Ключевые слова: устойчивость, межфазный период, выход в трубку, колошение, корреляция, масса 1000 зерен, генотип.

Введение

Производство зерна сельскохозяйственных культур является одним из секторов экономики, в значительной степени зависящего от изменений климата [17; 21]. Многочисленными исследованиями доказано, что в Российской Федерации, как и во многих

странах мира, наблюдается тенденция увеличения потерь в агропромышленном комплексе ввиду усиливающегося воздействия опасных природных явлений [11, 19] – в частности продолжающегося потепления на территории России [7], которое способствует увеличению повторяемости частоты и интенсивности таких экстремальных явлений погоды, как засуха. Прогнозируется, что ущерб от подобных опасных природных явлений будет более значительным, чем от постепенного глобального потепления. Для примера: в условиях сильнейшей засухи в 2010 г. недобор урожая зерна относительно максимальных валовых сборов в 2008 и 2016 гг. составлял 47–55 млн т [11]. Ученые отмечают высокие риски получения низких урожаев при засухах, характерных для Приволжского ФО, оценивая их в 23,0% для яровой пшеницы и в 18,0% – для озимой пшеницы [16]. Анализ экспериментальных данных [14] о влиянии погодных условий Кировской области на урожайность сельскохозяйственных культур за последние 50 лет показал существенную корреляцию урожайности с температурой воздуха ($r = -0,735$) и количеством осадков ($r = 0,686$). Аналогичные результаты получены в исследованиях Л.В. Волковой [8]. Наряду с негативными последствиями потепления климата отмечается [3, 8], что происходящие изменения погодных условий оказались благоприятными для ряда сельскохозяйственных культур на некоторых территориях РФ.

Одним из средств минимализации потерь от засухи является создание засухоустойчивых сортов [15]. Большинство авторов [4, 5, 20] сходятся во мнении о том, что основным лимитирующим фактором, определяющим уровень урожайности зерновых культур, является обеспеченность влагой в период закладки и формирования генеративных органов, и это совпадает с межфазным периодом «Выход в трубку-колошение». Н.И. Васько с соавт. [6] отмечал наряду с засухой негативное влияние высоких температур в данный период.

В практической селекции первостепенное значение имеет установление признаков, определяющих формирование продуктивности растений в условиях водного дефицита [9]. В источниках литературы приводятся различные данные о реакции растений на водный стресс. Так, исследованиями Л.Т. Мальцевой с соавт. [15] показан значительный вклад в урожайность пшеницы в условиях засухи таких показателей, как «Натура зерна» и «Масса 1000 зерен». Исследованиями других авторов в условиях модельной засухи выявлено отсутствие корреляционной связи урожайности ячменя с массой 1000 зерен ($r = 0,07$), а тесная корреляция установлена с количеством зерен в колосе ($r = 0,60$) и показателем остаточного водного дефицита растений ($r = 0,81$) [1, 2].

Л.В. Волкова и О.С. Амунова [9] выделяют зависимость урожайности яровой мягкой пшеницы от озерненности колоса, отмечая важность способности сортов формировать продуктивность колоса и растений в условиях засухи, приводят данные о неинформативности такого показателя, как «Продуктивная кустистость», при определении засухоустойчивости сортов. Исследованиями Т.А. Тимошенко и Ф.Д. Самуилова [18] доказано существенное влияние засухи на снижение параметров таких морфологических признаков, как «Длина колоса», «Длина стебля» и «Высота растения».

Исследованиями О.С. Гречишкиной и соавт. [10] установлено, что в условиях различных типов засухи (раннелетняя, длительная и т.п.) урожайность сортов яровой мягкой пшеницы зависит от разных элементов структуры. Так, в Оренбургской области при раннелетней засухе определяющим элементом при формировании урожайности была плотность продуктивного стеблестоя. Также установлено, что при наличии раннелетней засухи количество в колосе стерильных колосков не является показателем, характеризующим засухоустойчивость сорта [13]. Определяющей в данном случае являлась продолжительность межфазных периодов и вегетационного периода в целом [6].

Цель исследований: выявить влияние элементов структуры урожайности на продуктивность сортов ярового ячменя и определить элементы, сопряженные с изменчивостью урожайности сортов при нарастающем водном дефиците в межфазный период «Выход в трубку-колошение», выделить сорта, устойчивые к засухе.

Материал и методы исследований

Исследования в вегетационных опытах проводили в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) в 2021–2023 гг. Объектом изучения служили 10 сортов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.):

– сорта селекции ФАНЦ Северо-Востока гибридного происхождения (Новичок, Родник Прикамья, Дина) и сорта-регенеранты, созданные методом клеточной селекции, путем отбора на селективных средах на алюмо- и кислотоустойчивость (Форвард, Бионик и Витрум);

– коллекционные образцы Памяти Дудина, Зазерский 85, Triumph и Tallon.

Вегетационный опыт проводили в деревянных емкостях размером $1,5 \times 1,3 \times 0,3$ м, наполненных дерново-подзолистой почвой ($pH_{KCl} = 6,5$; $C_{орг.} = 2,5\%$; $NO_3 = 1,7$ мг/кг; $P_2O_5 = 50$ мг/кг), установленных на металлическом каркасе на вегетационной площадке. В каждую емкость высевали по 10 сортов, по 35 зерен каждого генотипа в рядок, после всходов оставляли по 30 растений. Площадь питания растений составляла 4×15 см². Растения выращивали до созревания в вегетационном домике с температурой окружающей среды, в условиях, близких к полевым. В течение вегетационного периода поддерживали благоприятные условия произрастания.

Научная организация поливов, оптимальная глубина заделки семян, защищенность от сильного ветра исключали полегание растений. Уборку проводили по мере созревания растений, анализировали все растения, определяя следующие структурные элементы: высота растений (ВР – сокращенное обозначение в таблицах); коэффициент продуктивной кустистости (КПК); длина колоса (ДК); плотность колоса (ПК); количество зерен в колосе (КЗК); масса зерна с растения (МЗР); масса 1000 зерен (M_{1000}). Засуху моделировали при наступлении фазы «Выход в трубку» путем прекращения полива и пленочным укрытием от атмосферных осадков, исключая парниковый эффект. Время создания водного стресса соответствовало межфазному вегетационному периоду растений «Выход в трубку-колошение».

Индекс засухоустойчивости рассчитывали по формуле Фишера и Маурера [15]:

$$DSI = (1 - Y/Y_p) / (1 - X/X_p),$$

где DSI – индекс засухоустойчивости; Y – параметр сорта в условиях стресса; Y_p – параметр сорта без стресса; X – среднее значение параметров сортов в условиях стресса; X_p – среднее значение параметров сортов без стресса. Чем меньше числовое значение индекса, тем более устойчив сорт к засухе.

Статистическая обработка результатов опытов проводилась по методике Б.А. Доспехова (1985) с использованием пакета селекционно-генетических программ AGROS, версия 2.07.

Результаты и их обсуждение

Поиску морфологических признаков, обеспечивающих получение высокой урожайности зерновых культур, придается большое значение в исследованиях многих авторов [1]. Реакция признаков и свойств растений на стрессовый фактор

используется для диагностики устойчивости генотипов, в частности, к водному дефициту, в период закладки и формирования колоса (межфазный период «Выход в трубку-колошение»).

Наличие стрессового фактора в межфазный период «Выход в трубку-колошение» привело к значительному снижению урожайности (на 39,2%) и продуктивности растений (38,7%), не повлияв на массу 1000 зерен (табл. 1). Средние значения и варьирование изучаемых параметров продуктивности показали, что сорта характеризовались низким (коэффициент вариации $CV \leq 10\%$) или средним уровнем ($10\% \leq CV \leq 20\%$) фенотипических различий элементов продуктивности. Отмечено, что меньше всего изучаемые сорта различались по таким параметрам, как «Масса 1000 зерен» и «Высота растений».

Полученные экспериментальные данные не выявили явного преимущества сортов селекции ФАНЦ Северо-Востока. Это свидетельствует о том, что засуха существенно снижает урожайность всех сортов ячменя независимо от происхождения, что согласуется с исследованиями Н.И. Васько и соавт. [6]. В исследованиях установлено достоверное снижение урожайности на фоне дефицита влаги в среднем по всем сортам на 73 г/м^2 ($НСР = 30 \text{ г/м}^2$). В то же время при изучении данного набора сортов выявлено, что высокоурожайные генотипы в большей степени снижали урожайность при наличии стресса. Однако следует отметить, что сорта Витрум и Родник Прикамья, несмотря на значительное снижение, отличались высокой урожайностью на фоне стрессового фактора и характеризовались средним уровнем засухоустойчивости (6 и 7 ранги). Больше всего снизили урожайность при наличии стресса сорта Зазерский 85 и Памяти Дудина (табл. 2). Засухоустойчивостью отличался сорт Tallon ($DSI = 0,23$), характеризующийся самой низкой в опыте урожайностью. Среди высокоурожайных генотипов на стрессовом фоне выделялись сорта Новичок ($DSI = 0,29$) и Форвард ($DSI = 0,79$).

Таблица 1

Влияние водного дефицита на развитие элементов структуры урожайности ячменя, 2021–2023 гг.

| Параметры | Вариант | | | | % снижения к контролю |
|--------------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------------|
| | контроль | | фон засуха | | |
| | $x_{cp} \pm Sx$ | CV, % | $x_{cp} \pm Sx$ | CV, % | |
| Урожайность, г/м^2 | 204±13 | 20,8 | 124±7 | 17,2 | 39,2 |
| Высота растений, см | 64,0±2,0 | 9,8 | 54,2±1,6 | 9,1 | 15,3 |
| Продуктивная кустистость, шт. | 2,5±0,1 | 12,2 | 1,9±0,1 | 16,7 | 24,0 |
| Длина колоса, см | 6,4±0,2 | 10,4 | 5,9±0,2 | 11,1 | 7,8 |
| Количество зерен в колосе, шт. | 18,7±0,5 | 8,6 | 15,4±0,5 | 10,8 | 17,6 |
| Масса зерна с растения, г | 1,60±0,08 | 15,4 | 0,98±0,05 | 15,7 | 38,7 |
| Масса 1000 зерен, г | 41,3±0,7 | 5,3 | 41,0±0,3 | 2,6 | 0,7 |

Влияние водного стресса на урожайность сортов ячменя, 2021–2023 гг.

| Сорт | Урожайность, г/м ² | | | Индекс DSI | Ранг* |
|-----------------|-------------------------------|------------|--------------|------------|-------|
| | контроль | фон засуха | ± к контролю | | |
| Новичок | 203 | 180 | –23 | 0,29 | 2 |
| Родник Прикамья | 245 | 152 | –93 | 0,97 | 7 |
| Дина | 143 | 91 | –52 | 0,93 | 5 |
| Форвард | 205 | 142 | –63 | 0,79 | 3 |
| Бионик | 209 | 134 | –75 | 0,92 | 4 |
| Витрум | 241 | 152 | –89 | 0,95 | 6 |
| Зазерский 85 | 221 | 99 | –122 | 1,42 | 9 |
| Памяти Дудина | 264 | 130 | –134 | 1,30 | 8 |
| Triumph | 179 | 113 | –66 | 0,95 | 6 |
| Tallon | 134 | 122 | –12 | 0,23 | 1 |
| Среднее по фону | 204 | 131 | –73 | - | - |

*1 – устойчив к засухе; 9 – неустойчив к засухе.

При выявлении степени засухоустойчивости сортов важным является обнаружение признаков, определяющих продуктивность генотипа при наличии недостатка влаги. Однако в результате исследований с использованием данного набора сортов не установлено достоверное влияние отдельных элементов структуры продуктивности на урожайность при наличии засухи. В то же время при благоприятных условиях вегетации (отсутствие засухи) установлено значимое влияние длины колоса ($r = 0,61$), продуктивности колоса ($r = 0,81$) и растения ($r = 0,84$), массы 1000 зерен ($r = 0,56$) на урожайность сортов ячменя.

Сорта ячменя обладают способностью к адаптации в стрессовых условиях внешней среды только в пределах, обусловленных их наследственностью. Недостаток влаги в почве в период вегетации нарушает физиолого-биохимические процессы в растениях, что приводит к снижению элементов структуры продуктивности. Чем больше способность генотипов изменять метаболизм в соответствии с окружающей средой, тем шире норма реакции данного сорта и лучше его способность к адаптации. Анализ степени развития структурных элементов урожайности в наших исследованиях показал сортоспецифичность по реакции на стресс.

Высокая урожайность сорта Новичок при наличии водного дефицита объясняется адаптивными реакциями растений, обеспечившими минимальное снижение всех элементов структуры урожайности, за исключением высоты растений (ВР). Установлено, что засухоустойчивый образец Tallon на фоне стресса также меньше других снижал такие показатели, как озерненность (КЗК) и продуктивность растения (МЗР). При этом сорт повышал массу 1000 зерен на 3,6 г. Практически не снизили массу 1000

зерен сорта-регенеранты Форвард и Бионик, а также коллекционный образец Triumph, отличающиеся средней степенью устойчивости к засухе. Водный стресс в меньшей степени повлиял на высоту растений (ВР) у сорта Дина, на длину колоса (ДК) – у сортов Дина и Памяти Дудина. У сортов Памяти Дудина и Зазерский 85 отмечалось существенное снижение всех значений элементов структуры и урожайности (табл. 3).

Расчет корреляционной связи между индексами засухоустойчивости урожайности и элементов структуры показал достоверную связь ($r = 0,91$) только между DSI урожайности и показателем «Масса 1000 зерен». Полученные данные согласуются с выводами ряда авторов [15] и свидетельствуют о перспективности использования DSI массы 1000 зерен при оценке засухоустойчивости сортов ячменя.

При использовании выделенных генотипов в качестве исходного материала для селекции засухоустойчивых сортов необходимо учитывать ряд факторов. Так, алюмотолерантный сорт Новичок, созданный специально для возделывания на бедных дерново-подзолистых почвах, является склонным к полеганию при выращивании на высоком агрофоне, а коллекционный образец Tallon характеризуется низкой урожайностью.

Таблица 3

Влияние водного дефицита на развитие элементов структуры урожайности сортов ячменя, 2021–2023 гг.

| Сорт | Индекс DSI | | | | | | |
|-----------------|------------|------|------|------|------|------|--------------------|
| | ВР | КПК | ПК | ДК | КЗК | МЗР | M _{1000З} |
| Новичок | 0,78 | 0,19 | 0,19 | 0,50 | 0,27 | 0,35 | 0,38 |
| Родник Прикамья | 1,17 | 0,73 | 1,05 | 1,45 | 0,80 | 1,07 | 0,57 |
| Дина | 0,46 | 0,45 | 1,14 | 0,23 | 0,41 | 1,04 | 0,21 |
| Форвард | 1,15 | 1,27 | 0,73 | 1,30 | 1,18 | 1,04 | -0,36 |
| Бионик | 0,93 | 0,91 | 0,45 | 0,94 | 0,68 | 0,96 | -0,02 |
| Витрум | 1,18 | 1,57 | 1,27 | 0,81 | 0,72 | 1,18 | 0,22 |
| Зазерский 85 | 1,44 | 1,05 | 0,91 | 1,80 | 0,95 | 1,27 | 0,59 |
| Памяти Дудина | 1,25 | 1,14 | 1,57 | 0,46 | 0,67 | 1,32 | 0,76 |
| Triumph | 1,00 | 1,52 | 1,52 | 1,18 | 0,94 | 1,08 | -0,35 |
| Tallon | 0,73 | 1,22 | 1,22 | 0,66 | 0,42 | 0,34 | -1,38 |

Выводы

Проведенные исследования показали, что изученные сорта по-разному реагировали на наличие засухи в межфазный период «Выход в трубку-колошение». Установлено, что водный дефицит приводил к снижению урожайности сортов ячменя, влияя на развитие большинства элементов ее структуры. Наличие засухи меняло количество признаков продуктивности растений ячменя, сопряженных с урожайностью сортов. Поэтому при наличии водного стресса в межфазный период «Выход

в трубку-колошение» высокопродуктивные генотипы следует отбирать по выраженности признака «Масса 1000 зерен».

Высокой засухоустойчивостью выделались сорта Новичок и Tallon. Сорто-регенеранты Форвард и Бионик характеризовались сочетанием высокой урожайности и устойчивости к засухе в межфазный период «Выход в трубку-колошение». Выделенные сорта могут быть использованы в качестве компонентов скрещивания в соответствующих селекционных программах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022–0007).

Библиографический список

1. Анисимова Н.Н., Ионова Е.В. Остаточный водный дефицит растений ярового ячменя как один из показателей засухоустойчивости // *Зерновое хозяйство России*. – 2015. – № 6. – С. 31–34.
2. Анисимова Н.Н., Ионова Е.В. Элементы структуры урожая сортов ярового ячменя и их вклад в формирование высокой продуктивности растений // *Зерновое хозяйство России*. – 2016. – № 5. – С. 40–43.
3. Асеева Т.А., Шукюров С.А. Влияние агроклиматических ресурсов Среднего Приамурья на потенциальную продуктивность и экологическую устойчивость сельскохозяйственных культур (сортов) // *Достижения науки и техники АПК*. – 2010. – № 6. – С. 14–16.
4. Асеева Т.А., Карачева Г.С., Ломакина И.В., Рубан З.С. Влияние погодных условий на формирование урожая и качество зерна яровой пшеницы в среднем Приамурье // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. – 2016. – № 2 (186). – С. 64–70.
5. Блохин В.И., Никифорова И.Ю., Ганиева И.С., Ланочкина М.А., Малафеева И.С. Засухоустойчивость сортов ярового ячменя в условиях Предкамья Республики Татарстан // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2022. – № 3 (71). – С. 4–11. DOI: 10.48012/1817-5457_2022_3_4-11.
6. Васько Н.И., Наумов А.Г., Солонечный П.Н., Зимогляд А.В. Зависимость продолжительности межфазных периодов и урожайности ярового ячменя от погодных условий // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2017. – № 4. – С. 77–81.
7. Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формирования урожая основных зерновых культур // *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*. – 2016. – № 360. – С. 45–78.
8. Волкова Л.В. Влияние гидротермических условий Кировской области на продуктивность и качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2023. – № 24 (3). – С. 377–388. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.377-388>.
9. Волкова Л.В., Амунова О.С. Результаты изучения сортов яровой пшеницы на засухоустойчивость в Кировской области // *Аграрный вестник Верхневолжья*. – 2018. – № 3 (24). – С. 12–17.
10. Гречишкина О.С., Хутамбирдина Р.Д., Мордвинцев М.П. Величина и структура урожая зерна сортов яровой мягкой пшеницы в условиях засухи разного типа // *Животноводство и кормопроизводство*. – 2021. – Т. 104, № 4. – С. 217–232. DOI: 10.33284/2658-3135-104-4-217.

11. *Грингоф И.Г., Клещенко А.Д., Сиротенко О.Д., Лебедева В.М., Павлова В.Н.* Разработка методологии построения моделей «Погода-урожай» и оценка ожидаемой урожайности основных сельскохозяйственных культур // Сборник научных работ лауреатов областных премий и стипендий. – 2016. – Вып. 12. – С. 67–82.
12. *Ленточкин А.М., Бабайцева Т.А.* Глобальное потепление и изменение условий ведения растениеводства в Среднем Предуралье // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* – 2021. – № 22 (6). С. 826–834. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834>.
13. *Лепехов С.Б.* Стерильные колоски в колосе как показатель засухоустойчивости яровой мягкой пшеницы // *Достижения науки и техники АПК.* – 2015. – Т. 29, № 6. – С. 27–30.
14. *Лыскова И.В., Суховеева О.Э., Лыскова Т.В.* Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* – 2021. – № 22 (2). С. 244–253. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253>.
15. *Мальцева Л.Т., Филиппова Е.А., Банникова Н.Ю., Катаева Н.В.* Влияние засухи на хозяйственно-ценные признаки яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепной зоны Курганской области // *Вестник Омского ГАУ.* – 2021. – № 3 (43). – С. 25–35. DOI: [10.48136/2222-0364_2021_3_25](https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_3_25).
16. *Павлова В.Н., Варчева С.Е.* Оценка климатических рисков при производстве зерновых культур в Приволжском федеральном округе // *Агрофизика.* – 2017. – № 2. – С. 1–8.
17. *Романенков В.А., Павлова В.Н., Беличенко М.В.* Агротехнологические возможности управления климатическими рисками при возделывании зерновых культур // *Агрохимия.* – 2022. – № 12. – С. 19–30. DOI: [10.31857/S0002188122120110](https://doi.org/10.31857/S0002188122120110).
18. *Тимошенкова Т.А., Самуилов Ф.Д.* Влияние морфологических признаков на урожайность сортов ярового ячменя в условиях степи Оренбургского Предуралья // *Вестник Казанского государственного аграрного университета.* – 2016. – Т. 11, № 3 (41). – С. 47–51. DOI: [10.12737/22675](https://doi.org/10.12737/22675).
19. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации; Под ред. В.М. Катцова // *Научное издание технологий / Росгидромет.* – Санкт-Петербург, 2022. – 676 с.
20. *Чекалин С.Г., Оськина А.А., Сейфуллина Ш., Кравченко А.С.* Оценка влияния различных типов засух на продуктивность возделываемых культур // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета.* – 2020. – № 1 (81). – С. 19–24. DOI: [10.37670/2073-0853-2020-81-1-13-19](https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-81-1-13-19).
21. *Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N.* Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia // *International Journal of Economics and Financial Issues.* – 2016. – Vol. 6, no. S5. – P. 33–41.

EFFECT OF DROUGHT ON THE DEVELOPMENT OF YIELD STRUCTURE ELEMENTS OF SPRING BARLEY VARIETIES

I.N. SHCHENNIKOVA, L.V. PANIKHINA

(Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky)

In the researches carried out in 2021–2023 at the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (Kirov) in the conditions of the vegetation experiment, 10 varieties of spring barley of different origin were evaluated by simulation of drought (breeding

varieties of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky of hybrid and regenerative origin, collection samples). The drought was simulated at the onset of the phase “stem elongation” by stopping irrigation and film sheltering from atmospheric precipitation, eliminating the greenhouse effect. The time of water stress application corresponded to the vegetative interphase of the plants “stem elongation – earing”. The aim of the research was to determine the effect of productivity elements on the yield of spring barley varieties and to determine the elements associated with the variability of the yield of varieties with an increasing drought in the interphase period “stem elongation – earing” and, based on these data, to select drought-resistant varieties. To evaluate the drought resistance of varieties, the Drought Resistance Index (DSI) was used as the ratio of the variety parameters to the average value for all varieties in the presence and absence of stress. The conducted researches have shown that the studied varieties reacted differently to the presence of drought in the interphase period “stem elongation – earing”. It was found that water deficiency significantly reduced the yield of all barley varieties by an average of 73g/m² and affected the development of most elements of its structure. In the presence of drought, there was no evidence of productivity of barley plants associated with the yield of varieties. Under favorable vegetative conditions (absence of drought), an influence of head length ($r = 0.613$), head productivity ($r = 0.81$) and plant productivity ($r = 0.84$), thousand grain weight ($r = 0.56$) on the yield of barley varieties was found. The calculation of the correlation between yield DSI and structural elements showed a reliable relationship ($r = 0.91$) only between the yield DSI and the index “thousand grain weight”, therefore, highly productive genotypes under water stress in the interphase period “stem elongation – earing” should be selected according to the severity of the feature “thousand grain weight”. The varieties Novichok, Tallon, Forward and Bionic can be used as crossing components in appropriate breeding programs.

Keywords: resistance, interphase period, stem elongation, earing, correlation, thousand grain weight, genotype.

Acknowledgements: The work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State Order to the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (the order number is FNWE-2022–0007).

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

References

1. Anisimova N.N., Ionova E.V. Water deficit of spring barley plants as one of the drought tolerance traits. *Grain Economy of Russia*. 2015;(6):71–78. (In Russ.)
2. Anisimova N.N., Ionova E.V. The structural elements of spring barley yield and their contribution into formation of high productivity of plants. *Grain Economy of Russia*. 2016;(5):40–43. (In Russ.)
3. Aseeva T.A., Shukyurov S.A. Influence of agroclimatic resources in middle priamurye on potential productivity and ecological sustainability of agricultural crops. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2010;6:14–16. (In Russ.)
4. Aseeva T.A., Karacheva G.S., Lomakina I.V., Ruban Z.S. The influence of weather conditions on wheat crop and corn quality in the middle Amur river region. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016;2(186):64–70. (In Russ.)
5. Blokhin V.I., Nikiforova I.Yu., Ganieva I.S., Lanochkina M.A., Malafeeva Yu.V. Drought tolerance of spring barley varieties in the Pre-Kama conditions of the Republic of Tatarstan. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2022;3(71):4–11. (In Russ.) https://doi.org/10.48012/1817-5457_2022_3_4-11

6. Vas'ko N.I., Naumov A.G., Solonechniy P.N., Zimoglyad A.V. et al. Dependence of duration of interphase periods and spring barley yield on weather conditions. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2017;4:77–81. (In Russ.)
7. Vil'fand R.M., Strashnaya A.I., Bereza O.V. On the dynamics of agroclimatic indicators of sowing, wintering and yield formation conditions of main grain crops. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiyskoy Federatsii*. 2016;360:45–78. (In Russ.)
8. Volkova L.V. The influence of hydrothermal conditions of the Kirov region on the productivity and quality of grain of spring soft wheat varieties of different ripeness groups. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(3):377–388. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.377-388>
9. Volkova L.V., Amunova O.S. The study results of spring wheat varieties for drought resistance in Kirov region. *Agrarniy vestnik Verkhnevolzh'ya*. 2018;3(24):12–17. (In Russ.)
10. Grechishkina O.S., Khutambirdina R.D., Mordvintsev M.P. Amount and structure of grain yield of spring soft wheat varieties in various types of drought conditions. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021; 4: 217–232. (In Russ.) <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-217>
11. Gringof I.G., Kleshchenko A.D., Sirotenko O.D., Lebedeva V.M., Pavlova V.N. Methodology for developing “weather-crop” models and assessment of the expected harvest of principal crops. In: *Sbornik nauchnykh rabot Laureatov oblastnykh premiy i stipendiy*. Kaluga. Russia: Kaluga state Institute of education development, 2016;12:67–82. (In Russ.)
12. Lentochkin A.M., Babaytseva T.A. Global warming and change in the conditions of crop production practices in the Middle Cis-Urals. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(6):826–834. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834>
13. Lepekhov S.B. Sterile spikelets in spikes as an indicator of drought resistance of spring soft wheat. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2015;6:27–30. (In Russ.)
14. Lyskova I.V., Sukhoveeva O.E., Lyskova T.V. The influence of local climate change on the productivity of spring cereals in the Kirov region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(2): – 253. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253>
15. Maltseva L.T., Filippova E.A., Bannikova N.Yu., Kataeva N.V. The influence of drought on the economically valuable signs of spring soft wheat in the conditions of the forest-steppe zone of the Kurgan region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;3(43):25–35. (In Russ.) https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_3_25
16. Pavlova V.N., Varcheva S.E. Estimation of climatic risks at the production of grain crops in the Volga Federal District. *Agrophizika*. 2017;2:1–8. (In Russ.)
17. Romanenkov V.A., Pavlova V N., Belichenko M.V. Agrotechnological possibilities of climate risk management in the cultivation of grain crops. *Agrohimiya*. 2022;12:19–30. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0002188122120110>
18. Timoshenkova T.A., Samuilov F.D. Impact of morphological characters on productivity of spring barley varieties in the steppe zones of Orenburg Ural region. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2016;3(41):47–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/22675>
19. *Third assessment report on climate change and its impacts on the territory of the Russian Federation*: monograph. Ed. by V.M. Kattsov. St. Petersburg, Russia: Naukoemkie tekhnologii, 2022:676. (In Russ.)
20. Chekalin S.G., Oskina A.A., Seyfullina Sh., Kravchenko A.S. Assessment of the impact of various types of droughts on crop productivity. *Izvestiya*

Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020;1(81):19–24. (In Russ.)
<https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-81-1-13-19>

21. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2016;6(S5):33–41.

Сведения об авторах

Щенникова Ирина Николаевна, д-р с.-х. наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: i.schennikova@mail.ru; тел.: (8332) 33–10–26; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>

Панихина Любовь Владимировна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого»; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: panikhina95@yandex.ru; тел.: (8332) 33–10–26; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>

Information about the authors

Irina N. Shchennikova, DSc (Agr), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Barley, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (166a, Lenina St., Kirov, 610007, Russian Federation; phone: (8332) 33–10–26; e-mail: i.schennikova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>)

Liubov V. Panikhina, postgraduate student, Junior Research Associate at the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Barley, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (166a, Lenina Street, Kirov, 610007, Russian Federation; phone: (8332) 33–10–26; e-mail: panikhina95@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>)

РОСТ И ЭТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
МОЛОДИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ (*PARASALMO MYKISS, WALBAUM*)
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА КОРМА

С.С. САФОНОВА, В.П. ПАНОВ, И.В. БАЙДАРОВ

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

В период раннего постнатального онтогенеза молодь радужной форели претерпевает ряд морфологических и физиологических изменений, проходя различные стадии формирования систем организма и поведенческих особенностей. Важнейшим фактором, оказывающим влияние на эти процессы, является питание рыб. В статье приведены данные об экстерьерных показателях, морфометрических и этологических особенностях молоди радужной форели, получавшей заводской стартовый комбикорм и замороженные корма. В работе использовались методы сплошного протоколирования и учета поведенческих реакций рыб, а также морфометрические методы анализа роста молоди. Выявлено, что комбикорм оказал лучшее влияние на развитие исследуемой молоди радужной форели по сравнению с замороженным кормом несмотря на то, что питаться последней рыбы начали раньше.

Ключевые слова: радужная форель, ранний онтогенез, морфометрическая характеристика, экстерьерные особенности.

Введение

Ранний онтогенез многих видов рыб сопровождается большим количеством сложных последовательных морфофункциональных изменений в организме. Существует несколько стадий раннего постнатального онтогенеза. Основными являются предличиночный, личиночный и мальковый этапы [5]. На протяжении каждого из этих периодов организм молоди претерпевает ряд существенных морфофункциональных изменений: формируются внутренние органы, плавники, сенсорные системы. Поэтому рыба становится очень чувствительной к различным биотическим и абиотическим факторам, которые могут оказывать влияние на длительность прохождения стадий развития, количество возникающих уродств и выживаемость молоди.

В качестве одного из критических периодов можно выделить процесс перехода свободных эмбрионов вначале на смешанное, затем – на полностью экзогенное питание. Степень подготовленности рыб к данному событию определяется многими факторами: развитостью скелетной мускулатуры, желудочно-кишечного тракта, плавников и других структур организма, в том числе нервной системы [6–8]. Все эти факторы обуславливают также характер поведения рыб, которое в последнее время активно исследуется в России, Америке, Канаде и других странах [10]. На развитие молоди значительное влияние оказывает корм. Он не только играет роль источника питательных веществ, необходимых для жизнедеятельности и роста, но также имеет этологическое значение. Поскольку в момент перехода на смешанное питание

сенсорные системы рыб сформированы неполностью, различные корма могут как стимулировать, так и несколько затормаживать формирование пищевого поведения.

В естественных условиях обитания, в зависимости от географического расположения водоема, кормовую базу молоди лососевых рыб составляет большое разнообразие планктонных, нейстонных организмов, зообентоса [4]. При заводском выращивании чаще всего применяются промышленные корма, а также различные вариации приготавливаемых хозяйствами кормовых смесей на основе продуктов животного происхождения [1]. Значительное количество научных работ, связанных с оценкой морфологических и физиологических показателей, а также экстерьерных особенностей радужной форели, посвящено взрослым особям [2, 3]. Подобных данных, касающихся раннего онтогенеза лососевых рыб, сравнительно немного.

Цель исследований: оценка этологических особенностей и процессов роста радужной форели в период раннего постнатального онтогенеза при использовании сухого стартового комбикорма и замороженных кормов.

Материал и методы исследований

Исследования проводились с июля по октябрь 2022 г. на базе Межкафедрального научного центра биологии и животноводства (аквариальной лаборатории) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Объектом исследований являлась молодь радужной форели (*Parasalmo mykiss*) на ранних этапах постнатального онтогенеза. Оплодотворенная икра форели была получена из ООО СПК «Вадский» Нижегородской области.

Молодь форели содержалась в емкостях установки замкнутого цикла водообмена (УЗВ). Установка снабжена механической и биологической фильтрацией, охлаждением и ультрафиолетовым обеззараживанием воды, аэрацией и озонированием. Температура воды при доинкубации икры составляла +6°C, увеличиваясь по мере развития рыб до +13-+15°C. Содержание растворенного в воде кислорода поддерживалось в пределах 7,0–10,0 мг/л.

В ходе исследований было сформировано 2 группы, в трех повторностях каждая. Рыбы из каждой группы после начала смешанного питания получали определенный вид корма (одна группа потребляла заводской стартовый комбикорм Gouessant T-Salmo, другая – замороженный корм: дафнию (*Daphnia magna*), циклоп (*Cyclopidae*), артемию (*Artemia salina*). Питательность используемых в опыте кормов приведена в таблице 1.

Кормление молоди осуществлялось «вволю», то есть корм подавался в емкости до тех пор, пока рыбы активно его поедали. На каждую емкость, таким образом, приходилось около 1–2 г корма за одно кормление в первый месяц опыта и 3–4 г – во второй месяц (как сухого, так и замороженного корма). Кратность кормления составляла 5–6 раз в сутки. Замороженные корма вводились в рацион рыб в соответствии с размером их частиц (в первые 2 недели опыта давали только циклоп, затем – циклоп в сочетании с дафнией, а в течение второго месяца эксперимента молодь получала смесь из всех трех видов замороженного корма в равных пропорциях). Предварительно замороженные брикеты растворяли в воде той же температуры, что и в емкостях.

Оценка поведенческих особенностей рыб для определения характера изменений этологических паттернов проводилась с использованием методов сплошного протоколирования и наблюдения [9]. Наблюдения производились в течение всего дня, протоколирование осуществлялось в одно и то же время в утренние и дневные часы с применением видеосъемки. В дальнейшем анализировался полученный материал с подсчетом времени, суммарно затраченного рыбами на каждый из разновидностей поведенческих паттернов.

Промеры тела рыб осуществлялись по общепринятой схеме (рис. 1).

Химический состав кормов, % от сухого вещества*

| Показатель | Комбикорм | Циклоп | Дафния | Артемия |
|------------|-----------|--------|--------|---------|
| Протеин | 58,0 | 66,7 | 46,0 | 38,6 |
| Жир | 13,0 | 14,0 | 18,0 | 24,7 |
| Углеводы | 10,5 | 8,8 | 18,0 | 17,9 |
| Зола | 10,0 | 10,5 | 18,0 | 18,8 |

*Информация, указанная на упаковке производителя.

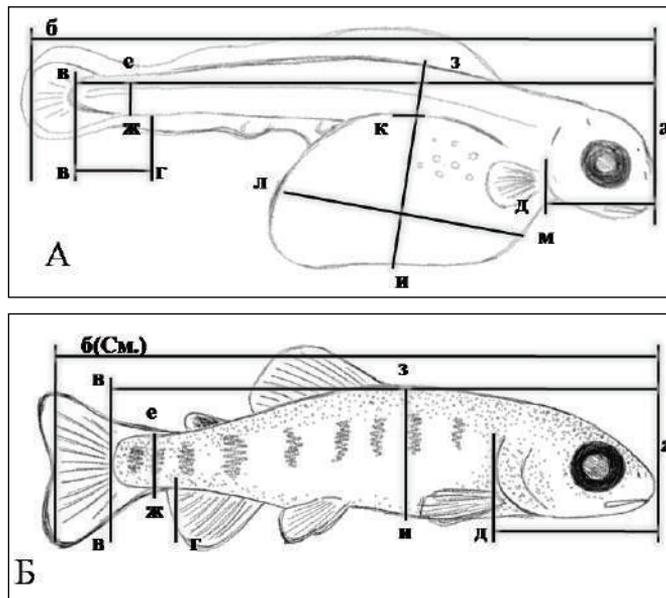


Рис. 1. Схема промеров тела рыб с желточным мешком (А) и без него (Б): а-б – большая (стандартная) длина тела; а-б, см, – длина тела по Смитту; а-в – малая длина тела; а-д – длина головы; в-г – длина хвостового стебля; е-ж – высота хвостового стебля; з-и – наибольшая высота тела; и-к – малый диаметр желточного мешка; л-м – большой диаметр желточного мешка

Взвешивание образцов производилось поштучно с использованием аналитических электронных весов Sartorius с точностью до 0,1 мг. Расчетным путем определяли объем желточного мешка, используя формулу для объема сфероида:

$$V_y = \pi/6 \times D_1 \times D_2^2,$$

где D_1 – большой диаметр; D_2 – малый диаметр.

Полученный материал обработан статистически с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel. Рассчитывались такие показатели, как среднее абсолютное значение со стандартной ошибкой средней ($M \pm m$), коэффициент вариации C_v , %. Достоверность различий определялась по t-критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$ (по Пирсону).

Результаты и их обсуждение

Экстерьерные показатели рыб. Икринки радужной форели на стадии «глазка» (за 3–5 дней до выклева) имели желто-оранжевый цвет, среднюю массу $57,7 \pm 0,25$ мг и средний диаметр $5,0 \pm 0,03$ мм ($n = 7$). Под оболочкой икринки отчетливо виден эмбрион, обернутый вокруг желточного мешка. Ярко выделяются крупные глаза черного цвета, видны также жировые капли в желточном мешке (рис. 2А). Сразу после выклева предличинки имели крупный желточный мешок шарообразной формы желто-оранжевого цвета. Голова у них была опущена и прижата к желточному мешку. Тело предличинок – практически прозрачное (рис. 2Б).

Спустя 5 сут. после выклева тело предличинок стало более выпрямленным. Желточный мешок приобрел эллипсоидную форму, пигментация головы усилилась (рис. 3А). В возрасте 10 сут. у предличинок наблюдалась более интенсивная пигментация туловища и головы, особенно ее верхней части (рис. 3Б). К 15 суткам молодь форели обладала серым цветом тела, а желточный мешок приобрел бледно-желтый оттенок. В этот период также интенсивно происходила дифференцировка плавниковой каймы: у особей были хорошо различимы, помимо хвостового, спинной, анальный, брюшные плавники, а также зачаток жирового плавника (рис. 3В).



Рис. 2. Внешний вид икринки на стадии «глазка» (А) и предличинки в первые сутки после выклева (Б)

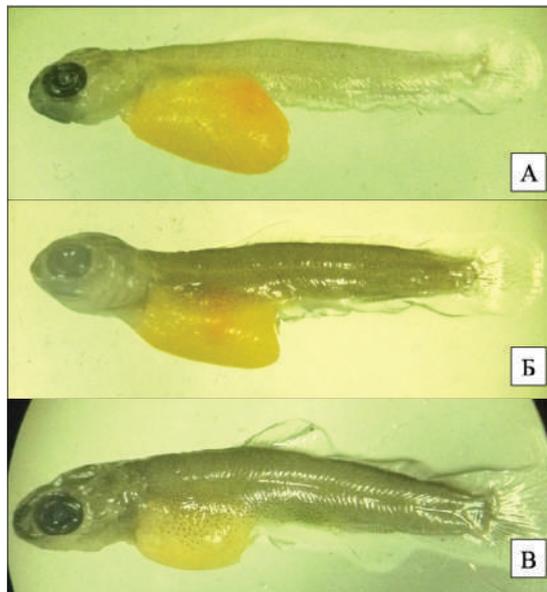


Рис. 3. Внешний вид предличинок форели до начала кормления в возрасте 6 (А), 10 (Б) и 15 сут. (В)

В течение первых двух недель после начала кормления (возраст 20–29 сут.) рыбы из обеих групп выглядели одинаково. К месячному возрасту у молоди наблюдалась пигментация основания спинного плавника, желточный мешок значительно уменьшился в объеме, по бокам туловища наметились темные вертикальные полосы (рис. 4А1, 2; Б1, 2).

В возрасте 34 и 41 сут. отмечалась заметная разница в упитанности рыб из двух групп. У молоди, питавшейся комбикормом, туловище было более толстым и широким, в то время как пропорции тела рыб из другой группы не изменились (рис. 4А3, 4; Б3, 4). В 2-месячном возрасте, помимо упитанности, различия между группами стали заметны и в окраске тела. У форели, получавшей комбикорм, по бокам имелись яркие вертикальные темные полосы, более интенсивно пигментировалась голова. Рыбы, получавшие замороженный корм, имели блеклую окраску, однако их пропорции также начали изменяться в сторону увеличения толщины туловища (рис. 4А5, Б5).

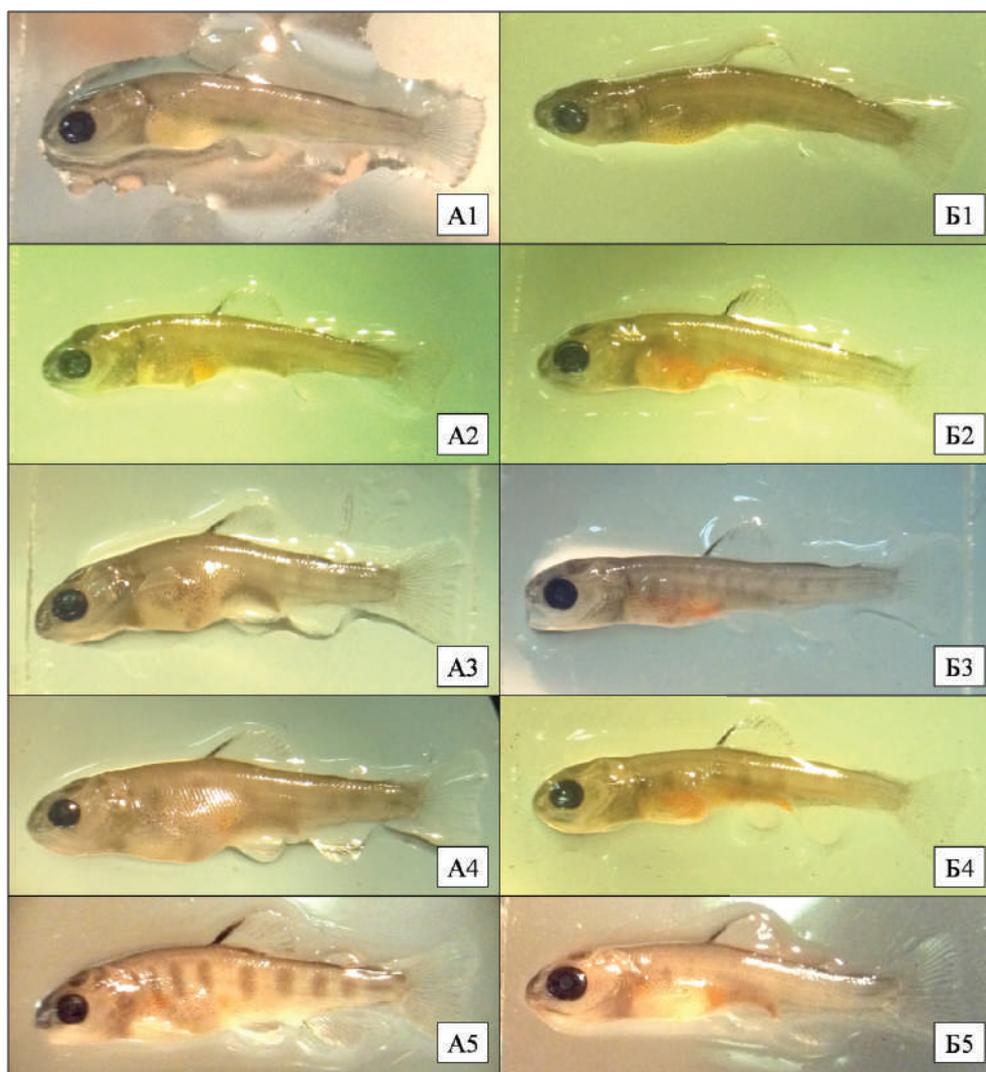


Рис. 4. Внешний вид молоди радужной форели, питавшейся комбикормом (А) и замороженным кормом (Б): 1 – возраст 20 сут.; 2–29 сут.; 3–34 сут.; 4–41 сут.; 5–60 сут.

Стоит также отметить разницу в выживаемости рыб из двух исследуемых групп. В первый месяц после начала кормления отход особей в группе, питающейся комбикормом, был выше, однако к моменту завершения опыта, напротив, более высокая доля погибших рыб наблюдалась в группе, получавшей замороженный корм (12,5%). Для форели, питавшейся комбикормом, данный показатель составил 7,5%.

Морфометрические особенности рыб. В течение первых двух недель после выклева (до начала смешанного питания) масса и длина тела рыб увеличились на 40,7 и 50,4% соответственно (табл. 2). Объем желточного мешка за это время значительно уменьшился (практически в 4 раза).

В возрасте 20 сут. рыбы, которых начали кормить замороженным кормом, уже превосходили по массе и длине другую группу (на 17,6 и 3,8% соответственно). Желточный мешок у них имел меньший объем, что говорит о более высокой скорости его резорбции. Однако спустя 4 дня достоверных различий между массами тела рыб двух групп уже не было, а длина особей, потреблявших комбикорм, незначительно превосходила таковую у второй группы. Объем желточного мешка оказался схожим у обеих групп (табл. 3).

В месячном возрасте масса рыб из двух исследуемых групп также не различалась, но длина особей, получавших замороженный корм, была больше на 5,2%. Объем желточного мешка оставался схожим. В возрасте 34 сут. наблюдался существенный скачок массы тела рыб, потреблявших комбикорм. За 5 дней она возросла в 2 раза и на столько же отличалась от массы рыб, которых кормили замороженной пищей. При этом длина тела у последних оказалась меньше на 8,2%. Объем желточного мешка у особей, получавших комбикорм, оказался в 1,5 раза меньше по сравнению с рыбами другой группы.

Таблица 2

Морфометрические показатели предличинки радужной форели (n = 15)

| Признак | Возраст рыб, сут. | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|------------------------|-------|
| | 1 | | 6 | | 10 | | 15 | | в среднем | |
| | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % |
| Масса, мг | 55,5±2,38 35,8–67,8 | 16,6 | 68,7±2,82* 50,8–81,6 | 15,9 | 63,4±1,65* 55,7–76,3 | 10,1 | 78,1±1,82* 68,9–90,2 | 9,0 | 66,4±1,54 35,8–90,2 | 17,9 |
| L | 12,5±0,14 11,3–13,2 | 4,5 | 16,6±0,24* 15,0–18,0 | 5,5 | 17,9±0,06* 17,6–18,3 | 1,2 | 18,8±0,06* 18,3–19,2 | 1,3 | 16,5±0,32 11,3–19,2 | 15,2 |
| V ж.м., мм ³ | 31,3±1,12 23,9–38,3 | 13,8 | 26,1±1,13* 19,2–33,4 | 16,8 | 11,1±0,44* 8,4–14,1 | 15,3 | 8,2±0,15* 7,3–9,4 | 7,0 | 19,2±1,33 7,3–38,3 | 53,6 |

Примечание. L – длина тела; V ж.м. – объем желточного мешка.

*Разность между сутками после выклева и другими возрастными группами достоверна при P ≤ 0,05.

**Морфометрические показатели личинок радужной форели
с желточным мешком (n = 15)**

| Признак | Возраст рыб, сут. | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|---------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | 20 | | 24 | | 29 | | 34 | | в среднем | |
| | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % |
| комбикорм | | | | | | | | | | |
| Масса, мг | 74,0±1,75 66,0–84,9 | 9,1 | 76,6±3,02 64,4–97,0 | 15,3 | 81,6±1,60 74,4–92,0 | 7,6 | 159,9±3,73 135,3–177,9 | 9,0 | 98,0±4,82 64,4–177,9 | 38,1 |
| L по Смитту, мм | 20,2±0,20 18,9–21,7 | 3,8 | 21,1±0,24 20,0–22,3 | 4,4 | 21,3±0,23 20,0–22,3 | 4,3 | 23,7±0,08 23,0–24,1 | 1,3 | 21,6±0,19 18,9–24,1 | 7,0 |
| V ж.м., мм ³ | 3,2±0,24 1,5–4,5 | 29,2 | 2,7±0,27 1,0–4,5 | 39,4 | 1,9±0,15 0,9–2,7 | 30,6 | 1,6±0,15 0,8–2,5 | 35,0 | 2,3±0,13 0,8–4,5 | 43,4 |
| замороженный корм | | | | | | | | | | |
| Масса, мг | 89,7±2,48* 70,2–100,2 | 10,5 | 69,4±2,71 58,4–95,0 | 15,1 | 79,9±2,09 68,5–92,4 | 10,1 | 87,4±1,61* 78,5–100,5 | 7,1 | 81,6±1,52 58,4–100,5 | 14,4 |
| L по Смитту, мм | 21,0±0,11* 20,3–21,6 | 2,0 | 20,0±0,13* 19,0–21,0 | 2,5 | 22,4±0,11* 21,6–22,9 | 1,8 | 21,9±0,12* 21,0–22,5 | 2,1 | 21,3±0,13 19,0–22,9 | 4,8 |
| V ж.м., мм ³ | 2,5±0,15* 1,8–3,8 | 23,9 | 2,2±0,11 1,6–3,0 | 19,5 | 2,3±0,16 1,6–3,9 | 26,9 | 2,3±0,17* 1,3–3,7 | 29,4 | 2,9±0,14 1,6–6,5 | 37,6 |

Примечание. L – длина тела по Смитту; V ж.м. – объем желточного мешка.

*Разность между группами достоверна при $P \leq 0,05$.

В возрасте 41 сут., когда у всех рыб резорбировался желточный мешок, длина тела особей в обеих исследуемых группах являлась схожей, но по массе форель, получавшая комбикорм, превосходила молодь, питавшуюся замороженным кормом, в 3 раза (табл. 4). Спустя 9 дней различия отмечались и в длине тела, которая у рыб, получавших комбикорм, была больше на 27%. Масса тела этих рыб в данный период также в 3 раза превышала таковую у другой группы.

К 2-месячному возрасту форель, потреблявшая комбикорм, практически в 4 раза превосходила по массе тела рыб, питавшихся замороженным кормом. Длина тела последних отставала на 55,3%.

Таким образом, можно отметить, что у рыб, потреблявших замороженный корм, начиная с возраста около 30–34 сут., наблюдалось некоторое отставание в изменениях внешнего вида, характерных для ранних этапов онтогенеза радужной форели, по сравнению с группой, питавшейся комбикормом. Данное отставание можно оценить примерно в 15–20 сут., что для молоди рыб является достаточно существенным.

**Морфометрические показатели личинок радужной форели
без желточного мешка (n = 15)**

| Признак | Возраст рыб, сут. | | | | | | | |
|--------------------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|----------------------------|-------|----------------------------|-------|
| | 41 | | 50 | | 60 | | в среднем | |
| | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % | M±m min-max | Cv, % |
| комбикорм | | | | | | | | |
| Масса, мг | 231,6±8,32 196,0–280,7 | 13,9 | 282,4±8,49 216,6–341,6 | 11,6 | 551,9±19,84 418,0–700,4 | 13,9 | 355,3±22,32 196,0–700,4 | 42,1 |
| L по Смитту, мм | 22,6±0,25 25,0–28,0 | 3,7 | 28,7±0,35 27,0–30,5 | 4,7 | 35,4±0,37 32,0–37,0 | 4,0 | 30,3±0,59 25,0–37,0 | 13,1 |
| замороженный корм | | | | | | | | |
| Масса, мг | 78,2±1,01* 73,6–87,3 | 5,0 | 97,0±1,20* 88,7–107,4 | 4,8 | 147,1±2,16* 134,0–162,5 | 5,7 | 107,4±4,42 73,6–162,5 | 27,6 |
| L по Смитту, мм | 22,3±0,09 21,7–22,8 | 1,6 | 22,6±0,10* 21,9–23,0 | 1,6 | 22,8±0,17* 21,1–23,2 | 2,8 | 22,6±0,08 21,1–23,2 | 2,3 |

Примечание. L – длина тела по Смитту.

*Разность между группами достоверна при $P \leq 0,05$.

Этологические особенности рыб. Только что выклюнувшиеся предличинки лежали на дне инкубационного лотка практически неподвижно, на боку. Время от времени они совершали быстрые перемещения (на 5–7 см) в прямом направлении за счет интенсивных колебательных движений туловища. По окончании перемещения предличинки зарывались под других особей; на внешние раздражители реагировали активными движениями туловища. По окончании массового выклева общая двигательная активность рыб снизилась. Практически не наблюдались перемещения особей – они лежали на боку или на желточном мешке, периодически совершая быстрые колебательные движения всем туловищем. Вероятно, снижение активности связано с привыканием рыб к новым условиям окружающей среды и манипуляциям с ними в процессе ухода. Также активность рыб снизилась после удаления из лотка пустых оболочек икринок, которые затрудняли предличинкам дыхание.

Спустя неделю после выклева многие особи пытались принять нормальное положение тела, опираясь на желточный мешок. При этом они из положения лежа на боку начинали совершать интенсивные колебания хвостом, приподниматься, некоторое время сохраняли прямое положение, опираясь на желточный мешок, через несколько секунд вновь ложились на бок. Общей неподвижности, как в первые дни после выклева, уже не было. Рыбы часто совершали короткие перемещения, отталкиваясь хвостом от дна. Все особи активно двигались, но часто делали передышки, ложась на дно, а затем снова начиная движение (табл. 5).

На 10-е сутки после выклева предличинки были пересажены из инкубационных лотков в емкости, где проводилось их дальнейшее выращивание. Через некоторое время после пересадки наблюдалось роение, единичные особи совершали короткие и длинные «броски» вперед и вверх, делали «свечки». До поверхности воды рыбы еще не поднимались, максимальная высота от дна, на которую они способны подняться, составляла 10–15 см.

В течение следующих 7 дней продолжалось интенсивное роение. Рыбы располагались в углах аквариума, лежа на дне в форме небольших концентрических кругов. Особи делали «свечки» и пытались держаться против течения воды около дна. Начиналось постепенное поднятие на плав. На корм рыбы пока что не реагировали.

В возрасте 17 сут. с момента выклева рыбы, находившиеся в группе, получающей замороженный корм, начали реагировать на корм. Они делали небольшие рывки (с расстояния до корма около 5–6 см), находясь на небольшом расстоянии от дна. Особи реагировали на корм, находящийся как на поверхности воды, так и в ее толще. В то же время молодь, получавшая комбикорм, реагировала на него слабо. Находясь на дне, рыбы захватывали гранулы, но затем, как правило, выплевывали их, в толще воды на корм не реагировали. Последующая неделя характеризовалась изменениями характера распределения рыб в емкостях. Особи, питавшиеся замороженным кормом, сразу после поднятия на плав в основном располагались в толще воды, незначительное количество рыб – у поверхности и на дне. При этом особи потребляли корм очень активно, особенно с поверхности и из толщи воды. Форель из другой группы вначале массово находилась у дна емкости и потребляла корм только тогда, когда он опускался вниз. Однако к 24 суткам распределение рыб в обеих группах стало схожим.

Спустя месяц после выклева пищедобывающая активность молоди заметно возросла. Рыбы пытались захватывать не только корм, но и мелкие частицы, фекалии, которые сразу выплевывали. Взаимодействия между особями пока почти не наблюдались, все рыбы плавали по отдельности, не задевая друг друга. При кормлении (крайне редко) замечались попытки отобрать корм у другой особи, но они моментально прекращались – рыба переключалась на другой кусок корма.

В возрасте 41 сут. в группе, получающей комбикорм, было отмечено активное взаимодействие особей: попытки схватить, территориальное поведение (одна рыба прогоняет другую из области, в которой находится). Также заметна реакция рыб, находящихся в одной емкости, на особей из соседней. Они слегка ударялись о стекло, пытаясь подплыть к другим рыбам. В это время взаимодействие особей второй группы (питающейся замороженным кормом) не наблюдалось (табл. 5).

Спустя еще 10 сут. в группе, потреблявшей заводской комбикорм, наблюдалось агрессивное взаимодействие особей: рыбы хватали друг друга за хвост, было заметно проявление конкуренции за пространство и пищу. В другой группе взаимодействие особей было выражено весьма слабо и в основном касалось пищевого поведения. При попытке отобрать корм у соседней особи рыба сразу отвлекалась на другие кусочки, теряя интерес к взаимодействию. Агрессия между рыбами во второй группе не отмечалась.

В возрасте 56 сут. рыбы из группы, получавшей комбикорм, вели себя очень активно. По мере роста в их поведении увеличивалась доля актов агрессии по отношению к другим особям. При этом молодь спокойно реагировала на манипуляции, связанные с уходом за ней, и подплывала к внешней стенке емкости во время кормления. Форель, потреблявшая замороженный корм, не демонстрировала активных взаимодействий и какой-либо агрессии, ее поведенческая активность в целом была более низкой по сравнению с другой группой.

**Средняя продолжительность различных типов локомоций,
% от общего времени наблюдения* (n = 25)**

| Тип движений | Возраст рыб, сут. | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------|------|------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 1-3 | 6 | 10 | 15 | 20 | 24 | 29 | 34 | 41 | 50 | 56 |
| Медленные волнообразные движения туловищем | 15,2 | 37,3 | 47,6 | 13,6 | - | - | - | - | - | - | - |
| Отдых | 73,4 | 29,0 | 43,5 | 9,6 | $\frac{48,4}{11,3}$ | $\frac{21,7}{15,8}$ | $\frac{15,2}{16,0}$ | $\frac{11,8}{19,7}$ | $\frac{14,6}{20,2}$ | $\frac{15,2}{21,7}$ | $\frac{16,7}{19,8}$ |
| Короткие «броски» | 11,4 | 32,0 | 4,5 | 11,3 | - | - | - | - | - | - | - |
| Длинные «броски» | - | - | 2,3 | 15,2 | $\frac{7,2}{-}$ | - | - | - | - | - | - |
| «Свечки» | - | 1,7 | 2,1 | 47,2 | - | - | - | - | - | - | - |
| Поддерживающие локомоции | - | - | - | 3,1 | $\frac{9,1}{22,6}$ | $\frac{17,7}{24,1}$ | $\frac{9,7}{14,4}$ | $\frac{10,5}{14,0}$ | $\frac{15,3}{16,9}$ | $\frac{9,7}{15,4}$ | $\frac{6,2}{19,5}$ |
| Плавание | - | - | - | - | $\frac{7,4}{12,8}$ | $\frac{11,0}{14,2}$ | $\frac{15,6}{18,5}$ | $\frac{16,4}{15,1}$ | $\frac{15,1}{24,0}$ | $\frac{20,2}{22,1}$ | $\frac{31,6}{24,0}$ |
| Рывки | - | - | - | - | $\frac{19,6}{17,1}$ | $\frac{28,2}{18,8}$ | $\frac{24,4}{11,7}$ | $\frac{24,5}{20,0}$ | $\frac{34,2}{28,6}$ | $\frac{30,5}{24,9}$ | $\frac{15,0}{21,8}$ |
| Локомоции пищевого поведения | - | - | - | - | $\frac{8,3}{36,2}$ | $\frac{21,4}{27,1}$ | $\frac{35,1}{39,4}$ | $\frac{36,8}{31,2}$ | $\frac{18,2}{10,3}$ | $\frac{8,0}{12,0}$ | $\frac{12,4}{7,6}$ |
| Локомоции, связанные с взаимодействием особей | - | - | - | - | - | - | - | - | $\frac{2,6}{-}$ | $\frac{16,4}{3,9}$ | $\frac{18,1}{7,3}$ |

*Над чертой – группа, питающаяся комбикормом, под чертой – замороженным кормом.

Выводы

В ходе исследований были выявлены различия в поведении молоди радужной форели, потреблявшей разные корма. Молодь, получавшая замороженный корм, на 5–6 дней раньше начала на него реагировать по сравнению с группой рыб, которую кормили комбикормом, то есть быстрее перешла на смешанное питание. При этом и активность реакции на корм у этих рыб была выше.

Форель, потреблявшая замороженный корм, была равномерно распределена по всему объему воды в емкостях, в то время как рыбы, питавшиеся комбикормом, массово располагались на дне и захватывали корм только после его опускания. Лишь к 24 суткам после выклева последние также стали занимать весь объем емкости равномерно.

В ходе дальнейшего развития группа, потреблявшая комбикорм, демонстрировала значительно более высокую активность по сравнению со второй группой.

Особенно явно это выразилось во взаимодействии особей, которые у группы, питавшейся замороженным кормом, обнаружили существенно позднее и были выражены достаточно слабо.

После начала кормления рыбы, питавшиеся замороженным кормом, набрали массу быстрее, что, вероятно, связано с высоким пищевым интересом, который рыбы из другой группы изначально к комбикорму не проявляли. В течение последующих 10 сут. рост особей в обеих группах происходил практически параллельно, их масса была схожей, а длина различалась незначительно. Однако в возрасте 34 сут. наблюдалось существенное опережение по массе и длине тела у рыб, получавших комбикорм. Желточный мешок у них также резорбировался быстрее.

За весь период наблюдений (с момента начала кормления) масса и длина тела рыб, питавшихся комбикормом, увеличились в 7 и 2 раза соответственно, а у рыб, которых кормили замороженной пищей, данные показатели выросли лишь в 2 и 1,2 раза соответственно.

Таким образом, можно отметить, что заводской стартовый комбикорм оказал лучшее влияние на развитие исследуемой молоди радужной форели по сравнению с замороженным кормом несмотря на то, что питаться последним рыбы начали раньше.

Библиографический список

1. Гринберг Е.В., Литвиненко А.В. О подъеме на плав и переводе на внешнее питание личинок кеты (*Oncorhynchus keta*) в условиях лососевых рыбоводных заводов Сахалинской области // Материалы VII Международного Балтийского морского форума. – 2019. – С. 10–18.
2. Есавкин Ю.И., Грикшиас С.А., Золотова А.В. Экстерьерно-морфологические профили потомства разных форм форели и их продуктивность // Аграрная наука. – 2017. – № 2. – С. 23–25.
3. Золотова А.В. Морфофизиологические особенности двух форм радужной форели при выращивании в условиях тепловодного садкового хозяйства: Автореф. ... канд. биол. наук. – М., 2009. – 148 с.
4. Карпенко В.И., Погорелова Д.П. Кормовая база и питание молоди некоторых рыб в низовье р. Коль // Исследования водных биоресурсов Камчатки Северо-Западной части Тихого океана. – 2016. – Вып. 43. – С. 24–40.
5. Павлов Д.А. Морфологическая изменчивость в раннем онтогенезе костистых рыб: монография. – М.: Геос, 2007. – 264 с.
6. Панов В.П., Фалий С.С., Байдаров И.В., Есавкин Ю.И., Золотова А.В. Морфогенез структур тела ручьевой форели (*Salmo trutta morpha fario*) и американского гольца (*Salvelinus fontinalis*) на ранних стадиях постнатального развития // Известия ТСХА. – 2020. – Вып. 1. – С. 61–73.
7. Панов В.П., Сафонова С.С., Байдаров И.В. Этологические особенности при формировании аппарата движения костистых рыб (на примере Радужной форели (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*)) // Известия РАН. Серия биологическая. – 2022. – № 5. – С. 495–508.
8. Пономарева Е.Н. Особенности развития пищеварительной системы лососевидных рыб в раннем онтогенезе // Вестник АГТУ. – 2005. – № 3 (26). – С. 133–137.
9. Попов С.В., Ильченко О.Г. Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе. – М., 1990. – 40 с.
10. Яржомбек А.А. Поведение лососевых рыб (*Salmoninae*) // Вопросы рыболовства. – 2013. – Т. 14, № 3 (55). – С. 387–405.

GROWTH AND ETHOLOGICAL FEATURES
OF JUVENILE RAINBOW TROUT (*PARASALMO MYKISS*, WALBAUM)
DEPENDING ON THE TYPE OF FEED

S.S. SAFONOVA, V.P. PANOV, I.V. BAYDAROV

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

During early postnatal ontogenesis, juvenile rainbow trout undergo a number of morphological and physiological changes, passing through various stages of development of body systems and behavioural traits. The most important factor influencing these processes is the fish diet. The present study provides data on external indicators, morphometric and ethological characteristics of juvenile rainbow trout fed with factory starter and frozen feeds. Methods of continuous logging and recording of fish behavioural responses and morphometric methods to analyse juvenile growth were used. It was found that the compound feed had a better effect on the development of the juvenile rainbow trout studied than the frozen feed, despite the fact that the fish started eating the frozen feed earlier.

Keywords: rainbow trout, early ontogenesis, morphometric characteristics, exterior features.

References

1. Grinberg E.V., Litvinenko A.V. On lifting chum salmon (*Oncorhynchus keta*) larvae afloat and transferring them to external feeding in salmon hatcheries in the Sakhalin Region. *VII Mezhdunarodniy Baltiyskiy morskoy forum. October 07–12, 2019*. Kaliningrad, Russia: Kaliningrad State Technical University, 2019;3:10–18. (In Russ.)
2. Esavkin Yu.I., Grikshas S.A., Zolotova A.V. Exterior-morphological profiles of offspring of trout different forms and productivity. *Agrarian Science*. 2017;(2):23–25. (In Russ.)
3. Zolotova A.V. Morpho-physiological characteristics of two forms of rainbow trout when reared in warm-water cage farming conditions. CSc (bio) thesis: 03.00.12. Moscow, Russia, 2009:148. (In Russ.)
4. Karpenko V.I., Pogorelova D.P. The forage base and the juvenile feeding by some fish species in the lower part of kol'. *The researches of the aquatic biological resources of kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*. 2016;43:24–40. (In Russ.)
5. Pavlov D.A. *Morphological variability in the early ontogeny of bony fishes*. Moscow, Russia: GEOS; 2007:264. (In Russ.)
6. Panov V.P., Faliy S.S., Baydarov I.V., Yesavkin Yu.I., Zolotova A.V. Morphogenesis of the body structures of brown trout (*Salmo trutta morpha fario*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*) at the early stages of postnatal development. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2020;(1):61–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-1-61-75>
7. Panov V.P., Safonova S.S., Baidarov I.V. Ethological features of the ontogenesis of the locomotor system in bony fish (by the example of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*). *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series*. 2022;5:495–508. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S1026347022040114>
8. Ponomareva E.N. Development features of the digestive system of salmonid fish during early ontogenesis. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2005;3(26):133–137. (In Russ.)
9. Popov S.V., Il'chenko O.G. *Methodological recommendations on ethological observations of mammals in captivity*. Moscow, Russia: 1990:40. (In Russ.)
10. Yarzhombek A.A. Behaviour of salmonid fishesw (*Salmoninae*). *Questions of Fisheries*. 2013;14(3(55)):387–405. (In Russ.)

Сведения об авторах

Сафонова Станислава Сергеевна, ассистент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: Sfalij@yandex.ru; тел.: (909) 622–62–09

Панов Валерий Петрович, профессор, д-р биол. наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: panovval@gmail.com; тел.: (916) 818–18–91

Байдаров Илья Васильевич, сотрудник Межкафедрального научного центра биологии и животноводства (аквариальной лаборатории), Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: paajarviru@gmail.com; тел.: (916) 835–88–32

Information about the authors

Stanislava S. Safonova, Assistant at the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (909) 622–62–09; e-mail: Sfalij@yandex.ru)

Valeriy P. Panov, DSc (Bio), Professor, Professor at the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (916) 818–18–91; e-mail: panovval@gmail.com)

Ilya V. Baydarov, Employee of the Interdepartmental Scientific Center for Biology and Animal Husbandry (Aquarium Laboratory), Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (916) 835–88–32; e-mail: paajarviru@gmail.com)

ПРОДУКТИВНОСТЬ И БИОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ КРОВИ ПЕРВОТЕЛОК ПРИ ПОВЫШЕНИИ УРОВНЯ КОРМЛЕНИЯ

Е.Ю. ЦИС, В.М. ДУБОРЕЗОВ, Р.А. РЫКОВ

(Федеральный исследовательский центр животноводства –
ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста)

Высокая продуктивность и долголетие животных – основные задачи в современном молочном скотоводстве. Коровы-первотелки, помимо высоких удоев, должны еще и увеличивать свою массу тела. В силу своих физиологических особенностей они не могут потреблять большое количество объемистых кормов, а следовательно, обеспечить себя энергией и питательными веществами на потенциальную продуктивность. Один из путей решения данной проблемы – повышение уровня кормления первотелок за счет концентратов. Оценку соответствия уровня кормления уровню продуктивности и состоянию здоровья животного провели методом изучения обменных процессов с помощью биохимических маркеров сыворотки крови. Исследования проведены в Московской области в течение 150 дней на 36 коровах-первотелках, сформированных по принципу групп-аналогов в 3 группы по 12 гол. в каждой. Контрольная группа получала рацион, сбалансированный по детализированным нормам на годовую продуктивность 8–9 тыс. кг молока за лактацию. Вторая опытная группа получала рацион с повышенным содержанием обменной энергии на 7,8% и сырого протеина на 8,2% от потребности, третья группа – на 15,1% и 16,4% соответственно, за счет дополнительного скармливания адресного белково-витаминно-минерального концентрата. Исследованиями отмечено, что повышение уровня кормления позволило увеличить живую массу первотелок на 5,6% и 6,8% и среднесуточный удой на 6,4 и 9,6% по сравнению с контролем и не оказало отрицательного влияния на характер обмена веществ. Все показатели белкового, липидного, углеводного и минерального обмена находились в пределах референсных значений. Содержание альбуминовой фракции в сыворотке крови коров-первотелок опытных групп составило 39,7 и 39,5% от содержания общего белка, тогда как в контроле – 36%. Достоверное повышение содержания альбуминовой фракции на 5,12% ($p = 0,04$) во второй опытной группе и на 7,24% ($p = 0,01$) в третьей опытной группе, с одновременным снижением содержания общего белка, характеризует более высокую интенсивность биосинтетических процессов, происходящих в организме, связанных с повышенным молокообразованием. Показатели минерального обмена также находились в пределах физиологической нормы. Повышение содержания магния у коров третьей опытной группы связано с повышением его уровня в рационе первотелок. Увеличение активности щелочной фосфатазы указывает на повышение функциональной деятельности печени, что также связано с образованием молока.

Ключевые слова: коровы-первотелки, рацион, уровень кормления, обмен веществ, биохимические маркеры, молокообразование.

Введение

Нередко адаптация высокопродуктивных животных к условиям содержания и кормления, испытываемая в различные физиологические периоды, сопровождается метаболическими и эндокринными изменениями в организме и в работе внутренних органов, что приводит к ухудшению состояния здоровья. При этом частота

возникновения заболеваний, связанных с нарушениями обменных процессов в начале лактации, по данным ряда авторов, составляет от 25 до 39% [1, 4]. Животные не могут полностью реализовать генетический потенциал, а снижение продуктивности и затраты на их лечение оказывают непосредственное влияние на рентабельность производства молока [6, 7; 16]. Особенно это выражено в послелетельный период у первотелок при переходе с низкопитательного сухостойного рациона на рацион с высокой питательностью для лактирующих коров.

В ходе исследований установлено, что повышенный уровень кормления первотелок способствовал скорейшей их адаптации, и это отразилось на повышении продуктивности [3]. Однако высокие удои иногда происходят в ущерб здоровью животных, и на данное обстоятельство необходимо обращать внимание. В связи с этим изучению состояния обменных процессов с помощью биохимических маркеров сыворотки крови отводится важная роль [1–11].

На современных животноводческих комплексах с полной или частичной автоматизацией производственных процессов для мониторинга состояния здоровья коров используется специальное оборудование с программным обеспечением. С его помощью можно отслеживать поведенческие (физическая активность, время нахождения у кормового стола), физиологические (время приема пищи, оценка температуры тела) параметры состояния организма и уровень продуктивности животного [15]. Тем не менее использование технологического оборудования и получение сведений о характере поведения животных не раскрывают в полной мере состояние метаболических процессов и не позволяют своевременно, до проявления клинических признаков заболевания, диагностировать нарушения обмена веществ. Основными маркерами, позволяющими судить о точном состоянии обмена веществ в организме и функционировании внутренних органов, является лабораторное исследование сыворотки крови [5].

Цель исследований: изучение влияния повышенного уровня кормления на продуктивность и состояние обмена веществ у коров-первотелок.

Материал и методы исследований

Научно-хозяйственный опыт проведен в племенном хозяйстве АО «Наро-Осановский» (Московская область) на коровах-первотелках в условиях типовой молочно-товарной фермы на 400 мест с привязным содержанием животных. Руководствуясь методикой проведения научных и производственных исследований в животноводстве [9], для эксперимента сформировали 3 группы животных по 12 гол. в каждой с учетом живой массы, возраста, предполагаемой даты отела.

Рацион животных контрольной группы, применяемый во время исследований, разработан нами с учетом фактической зоотехнической оценки используемых кормов в соответствии с детализированными нормами потребностей молочного скота на удой 8–9 т молока за лактацию [12]. Основной рацион включал в себя силос кукурузный, сенаж многолетних трав, сено злаковое, дробину пивную. Комбикорм, состоящий из фуражного зерна (кукуруза, ячмень, пшеница), шротов (подсолнечного, рапсового), фосфатов, поваренной соли и премикса, готовили в хозяйстве по адресному рецепту. Состав премикса рассчитан согласно детализированным нормам на удой в 28 кг молока по дефициту в рационе минеральных веществ (сера, магний, марганец, цинк, медь, кобальт, йод, селен) и витаминов (А, D, E). В рационе контрольной группы содержалось 211,6 МДж обменной энергии и 3123 г сырого протеина. Для животных второй и третьей опытных групп дополнительно к основному рациону скармливали

адресный (производство – ООО «Инвар», Россия) БВМК (белково-витаминно-минеральный концентрат) – 1 и 2 кг/гол/сут. соответственно. Это обеспечило повышение обменной энергии и сырого протеина в рационе второй опытной группы до 226,5 МДж и 3362 г (на 7,0 и 7,6%), в рационе третьей опытной группы – до 241,4 МДж и 3601 г (на 14,1 и 15,3%).

Началу учетного периода продолжительностью 150 дней предшествовал предварительный период: с момента отела по 7-й день лактации для постепенного перевода животных на более высокий уровень кормления.

В конце эксперимента у животных, не имеющих клинических признаков заболеваний, связанных с нарушением метаболических процессов, была взята кровь для исследований из хвостовой вены за 2 ч до кормления.

Интенсивность и направленность обменных процессов в организме подопытных животных изучены на основании отдельных биохимических маркеров сыворотки крови в отделе физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста на автоматическом биохимическом анализаторе Erba XL-640 по общепринятым методикам. В сыворотке крови определяли следующие биохимические маркеры: содержание общего белка, альбуминов, глобулинов; активность трансаминаз, щелочной фосфатазы; содержание мочевины и креатинина, глюкозы, холестерина, кальция, фосфора, магния.

Полученный в исследовании цифровой материал подвергнут биометрической обработке с использованием метода дисперсионного анализа (ANOVA). При этом вычислены следующие величины: среднеарифметическая (M), среднеквадратическая ошибка ($\pm m$) и уровень значимости (p). Результаты исследований считали достоверными при уровне значимости не менее 95%; $p < 0,01$ и $p < 0,05$. При $p < 0,1$, но $p > 0,05$ наблюдается тенденция достоверности полученных данных.

Результаты и их обсуждение

Повышение уровня кормления первотелок положительно сказалось на приростах живой массы и удоях молока. В частности, по сравнению с первоначальной после отела массой тела животные второй опытной группы увеличили ее на 5,6%, животные третьей группы – на 6,8%, в то время как в контроле масса животных увеличилась на 3,8% и составила к концу опыта 545 кг. Среднесуточный удой во второй опытной группе составил 27,8 кг, в третьей – 28,6 кг, что выше показателя контрольной группы на 6,4 и 9,6% соответственно.

Более высокая продуктивность в опытных группах не отразилась на состоянии здоровья животных. Биохимические исследования крови показали, что все показатели белкового, липидного, углеводного и минерального обмена находились в пределах референсных значений.

Белковый обмен. Обеспеченность организма коров-первотелок по белку при разном уровне кормления оценивали по совокупности биохимических маркеров. Прежде всего следует отметить, что полученные данные по всем подопытным животным находились в пределах референсных значений, что указывает на нормальное протекание белкового обмена (табл. 1).

Несмотря на то, что уровень белка в рационах коров опытных групп был повышен, содержание общего белка в крови оказалось несколько ниже, чем в контрольном варианте, и находилось в пределах от 79,10 до 81,13 г/л. Это косвенно свидетельствует об отсутствии белкового перекорма и улучшении процесса всасывания питательных веществ в желудочно-кишечном тракте.

Биохимические маркеры белового обмена первотелок

| Показатель | Физиологи-ческая норма | Группа | | |
|---------------------|------------------------|---------------------|----------------|----------------|
| | | Первая кон-трольная | Вторая опытная | Третья опытная |
| Общий белок, г/л | 70–92 | 82,93±2,18 | 79,10±2,93 | 81,13±1,35 |
| А/Г, ед. | 0,4–0,9 | 0,57±0,02 | 0,66±0,03* | 0,65±0,02* |
| Альбумин, г/л | 25–36 | 29,90±0,45 | 31,43±0,49* | 32,07±0,37** |
| Глобулин, г/л | 40–64 | 53,03±1,97 | 47,66±2,80* | 49,07±1,47* |
| АЛТ, МЕ/л | 12–35 | 30,57±1,21 | 31,40±2,68 | 30,77±1,58 |
| АСТ, МЕ/л | 46–108 | 72,30±15,86 | 72,00±12,87 | 68,73±8,33 |
| Креатинин, мкмоль/л | 55,8–177 | 77,59±9,55 | 81,87±4,23 | 84,25±2,97 |
| Мочевина, ммоль/л | 2,3–7,1 | 5,64±0,76 | 5,34±0,96 | 4,87±0,42 |

Примечание. Достоверно при ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; + $p < 0,10$.

В зависимости от выполняемых функций в сыворотке крови выделяют около 200 различных белков, синтез которых активно протекает во всех органах и тканях. При этом основную массу сухого остатка составляют простые белки: альбумины и глобулины. Альбуминовая фракция белка способна поглощать липофильные вещества, в связи с чем ее принято считать хорошим транспортером билирубина, высокомолекулярных жирных кислот, витаминов, минеральных веществ [2]. Альбумины выполняют также функцию резервного депо аминокислот для синтеза других специфических белков организма при их дефиците в определенные физиологические периоды лактирующих коров [4].

Содержание альбуминовой фракции в сыворотке крови коров-первотелок опытных групп составило 39,7 и 39,5% от содержания общего белка, тогда как в контрольном варианте – на уровне 36,0%. Достоверное повышение содержания альбуминовой фракции на 5,12% ($p = 0,04$) происходило во второй опытной группе, на 7,26% ($p = 0,01$) – в третьей с одновременным снижением содержания общего белка, что свидетельствует о повышенном его расходе на молокообразование в период раздоя первотелок, где в опытных группах дополнительно получено молока больше на 6,1% (вторая группа) и 11,0% (третья группа). При этом достоверная тенденция снижения глобулиновой фракции ($p = 0,09$) у животных опытных групп косвенно указывает на высокую интенсивность обменных процессов.

Белковый индекс, характеризующий состояние синтеза белков печенью, у коров-первотелок, получавших повышенный уровень кормления, оказался выше значений животных контрольной группы на 17,44%, или на 0,09 ед. ($p = 0,04$) во второй опытной группе и на 15,87%, или на 0,08 ед. ($p = 0,02$), – в третьей. Это характеризует более высокую интенсивность биосинтетических процессов, происходящих в организме.

Большая часть сырого протеина в рубце жвачных животных становится объектом гидролиза, и в результате трансаминирования, дезаминирования и других реакций освобождается значительное количество аммиака. Мочевина является конечным

продуктом азотистого обмена у жвачных, а также продуктом нейтрализации аммиака в реакциях орнитинового цикла, протекающего в печени [6]. Необходимо учитывать, что при избыточном количестве протеина в рационе содержание мочевины в сыворотке крови будет более высоким. В наших исследованиях повышение уровня протеина в рационе животных опытных групп не привело к увеличению мочевины, а наоборот, отмечено снижение ее уровня на 5,6% во второй и на 13,65% – в третьей группах, что косвенно свидетельствует об усилении биосинтезирующих процессов в рубце коров.

Количество мочевины в крови обуславливается не только количеством потребляемого сырого протеина, но и энергией, от которой зависит скорость его расщепления в организме. Достоверное повышение альбуминовой фракции с одновременным снижением содержания мочевины свидетельствует об оптимальном энерго-протеиновом отношении в рационе.

Ферменты переаминирования – аминотрансферазы АсАТ (аспартатамино-трансфераза) и АлАТ (аланинаминотрансфераза) – являются индикаторными ферментами. Специфическим маркером функционального состояния печени является АлАТ, сердечно-сосудистой системы – АсАТ [10]. Под воздействием химических реакций, протекающих внутри клеток, данные ферменты способствуют передаче аминокрупп между аминокислотами и кетокислотами, в результате чего организм получает необходимые вещества и энергию [12, 14]. В исследованиях М.О. Омарова и А.А. Даниловой (2022) отмечено, что для упомянутых трансфераз характерно колебание в пределах нормы, однако при скармливании высококонцентратного рациона ими установлено повышение уровня АлАТ выше физиологической нормы. Это указывает на нарушение работы печени вследствие ее интоксикации продуктами метаболизма – в частности, аммиаком.

В наших исследованиях повышение уровня кормления за счет увеличения концентратов не привело к повышению содержания аминотрансфераз в сыворотке крови, что свидетельствует об отсутствии напряженности обменных процессов и нормальной работы печени.

Креатинин является одним из конечных продуктов азотистого обмена и образуется из белка креатина. Как и мочевина, уровень креатинина отражает состояние белкового обмена в организме животных и характеризует работоспособность почек. В.М. Холод и соавт. (2019) сообщают, что «...на данный биохимический показатель оказывает влияние объем мышечной массы и уровень кормления, поскольку он образуется в основном в результате биотрансформации креатина в скелетных мышцах, то объем его синтеза прямо пропорционален общей мышечной массе и интенсивности обменных процессов, происходящих в ней» [13]. В наших исследованиях у животных второй и третьей опытных групп среднесуточный объем образования креатинина имеет некоторое увеличение: 81,77 и 84,25 мкмоль/л против 77,59 мкмоль/л в контроле, что согласуется с данными о валовом приросте живой массы на 13,49% (вторая группа) и 14,35% (третья группа) и интенсивностью белкового обмена.

С.В. Николаев (2021) считает, что по концентрации мочевины относительно уровня креатинина можно диагностировать нарушения в работе печени и почек. При повышении концентрации креатинина (свыше референсных значений) концентрация мочевины увеличивается в результате нарушения фильтрующей способности почек [9]. В наших исследованиях отмечено снижение уровня мочевины при относительно увеличении уровня креатинина, что свидетельствует об отсутствии патологии работы почек и печени.

Углеводный и жировой обмен. Основным биохимическим маркером углеводного обмена является уровень глюкозы в сыворотке крови, которая является энергетическим источником всех обменов, протекающих в организме. Снижение ее уровня

относительно нижней границы референсных значений встречается при несбалансированности рациона, дефиците углеводов, заболеваниях печени, почек. Повышение содержания глюкозы наблюдается при избытке в рационе углеводистых кормов, нарушении гормональной деятельности щитовидной железы. Данные наших исследований свидетельствуют о том, что уровень глюкозы соответствовал нормальному протеканию углеводного обмена, то есть обеспечивал потребности организма для синтетической деятельности клеток, необходимой для расщепления питательных веществ до лабильных продуктов, происходящих в процессе гидролиза (табл. 2).

При очень обильном кормлении у коров наблюдается синдром жирной печени. В этом случае отмечается гипохолестеринемия, то есть резкое снижение содержания холестерина в сыворотке крови. Данные других исследований свидетельствуют о том, что существует корреляционная связь между содержанием холестерина и уровнем молочной продуктивности [6]. В работе В.М. Захарова и В.И. Максимова (2021) говорится о том, что холестерин играет важную роль в обновлении мембранных липидов молочной железы. Таким образом, содержание холестерина указывает на интенсивность обменных процессов и увеличение железистой ткани в вымени. Судя по данным, полученным в результате эксперимента, при повышении уровня кормления в опытных группах содержание холестерина изменилось незначительно. Некоторое понижение уровня холестерина, по нашему мнению, связано с тем, что дополнительно введенная с рационом энергия потрачена на производство молока.

Минеральный обмен. Физиологическое значение минеральных веществ заключается в том, что они являются обязательными структурными компонентами всех органов и тканей организма и участвуют практически во всех обменных процессах. Наиболее важное значение среди макроэлементов имеют кальций и фосфор. Они являются жизненно необходимыми элементами костной ткани, входят в состав молока. При составлении рационов необходимо учитывать не только валовое содержание этих макроэлементов, но и их соотношение [5, 8].

Известно, что при высококонцентратном типе кормления коров в их крови содержание кальция снижается, а содержание фосфора увеличивается. В наших исследованиях повышение уровня кормления за счет концентратов привело к увеличению в рационе опытных групп содержания кальция на 4,4 и 8,8%, фосфора – на 8,5 и 16,0% соответственно во второй и третьей опытных группах. Биохимические исследования крови показали, что нарушение кальций-фосфорного обмена не отмечено: содержание кальция у подопытных животных находилось на уровне 2,66–2,69 ммоль/л, фосфора – 2,23–2,30 ммоль/л (табл. 3). Отношение кальция к фосфору соответствовало норме, и показатели практически не отличались между группами. По нашему мнению, это связано с более высоким выносом данных макроэлементов с молоком в опытных группах.

Таблица 2

Биохимические маркеры углеводного и жирового обмена

| Показатель | Физиологическая норма | Группа | | |
|---------------------|-----------------------|--------------------|----------------|----------------|
| | | Первая контрольная | Вторая опытная | Третья опытная |
| Глюкоза, ммоль/л | 1,65–4,19 | 3,79±0,14 | 3,80±0,18 | 3,77±0,11 |
| Холестерин, ммоль/л | 2,35–8,30 | 5,19±0,39 | 5,06±0,69 | 4,93±0,36 |

Примечание. Достоверно при $^*p < 0,10$.

Биохимические маркеры минерального обмена

| Показатель | Физиологическая норма | Группа | | |
|--------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|----------------|
| | | Первая контрольная | Вторая опытная | Третья опытная |
| Щелочная фосфатаза, МЕ/л | 41–187 | 77,00±13,79 | 92,33±15,19 | 101,67±17,97 |
| Кальций, ммоль/л | 2,03–3,14 | 2,68±0,03 | 2,66±0,04 | 2,69±0,04 |
| Фосфор, ммоль/л | 1,13–2,90 | 2,30±0,15 | 2,26±0,24 | 2,23±0,08 |
| Магний, ммоль/л | 0,79–1,35 | 1,01±0,02 | 1,06±0,05 | 1,22±0,03** |
| Ca/P | 1,8–1,1 | 1,52±0,09 | 1,55±0,14 | 1,56±0,04 |

Примечание. Достоверно при** $p < 0,01$.

Магний также является важным минералом и активирует свыше 60 химических реакций. Лактирующие высокопродуктивные коровы весьма чувствительны к изменению баланса магния, так как их организм не обладает доступными резервами магния. Полученные нами данные свидетельствуют о достоверном повышении содержания магния в сыворотке крови коров третьей опытной группы – 1,22 ммоль/л против 1,01 ммоль/л в контроле. На наш взгляд, это связано с повышением его содержания в рационе. При этом гипермагниемия не отмечена.

Определение щелочной фосфатазы используется при диагностике поражения костей и печени. По результатам опыта в наших исследованиях не выявлены признаки их поражения. Умеренное повышение щелочной фосфатазы в опытных группах до средних значений нормы косвенно указывает на повышение функциональной деятельности печени, связанной с образованием дополнительного молока.

Выводы

Повышение по сравнению с детализированными нормами в рационе первотелок обменной энергии на 7,0 и 14,1% и сырого протеина на 7,6 и 15,3% привело к увеличению интенсивности метаболических процессов, что способствовало повышению прироста живой массы на 5,6 и 6,8% и молочной продуктивности на 6,4 и 9,6%. При этом все показатели обмена веществ находились в пределах физиологической нормы.

Исследования проведены в рамках выполнения НИР 2024 г. по теме государственного задания 124020200032–4.

Библиографический список

1. Боголюбова Н.В., Рыков Р.А. Возрастные аспекты биохимических и клинических показателей в организме крупного рогатого скота // Молочное и мясное скотоводство. – 2023. – № 2. – С. 45–49. <https://doi.org/10.33943/MMS.2023.25.98.009>.
2. Буряков Н.П., Лаптев Г.Ю., Бурякова М.А., Ильина Л.А., Алешин Д.Е., Касаткина И.А., Заикина А.С., Ставцев А.Э. Особенности формирования бактериального сообщества рубца и биохимический статус организма коров в зависимости

- от источника протеина // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2021. – № 12 (197). – С. 3–22. <https://doi.org/10.33920/sel-05-2112-01>.
3. *Дуборезов В.М., Цис Е.Ю., Кувшинов В.Н., Рязанцев М.В.* Рост и продуктивность первотелок при повышенном уровне кормления // Комбикорма. – 2023. – № 11. – С. 36–39. <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2023-11-3-209>.
4. *Захаров В.М., Максимов В.И.* Влияние обменных процессов на продуктивные качества животных // Зоотехния. – 2021. – № 2. – С. 25–27. <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.19.64.007>.
5. Контроль биохимического статуса свиней и коров: Руководство / Сост. И.В. Гусев, Н.В. Боголюбова, Р.А. Рыков, Г.Н. Левина. – Дубровицы: ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2019. – 40 с.
6. *Крупин Е.О., Шакиров Ш.К.* Изменения отдельных диагностических маркеров углеводного, липидного и минерального обмена веществ у дойных коров, обусловленные кормлением // Аграрная наука. – 2023. – № 367 (2). – С. 30–34. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-30-34>.
7. *Миколайчик И.Н., Морозова Л.А., Морозов В.А., Сандакова Т.А.* Влияние энергетических добавок на уровень метаболизма в организме коров в период раздоя // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 3. – С. 113–120. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-3-113-120>.
8. *Мищурина Е.А., Гамко Л.Н.* Качественные показатели молока, продуктивность лактирующих коров и изменения состава крови при скармлировании минеральных добавок // Аграрная наука. – 2021. – 344 (1). – С. 26–29. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-26-29>.
9. *Николаев С.В., Конопельцев И.Г.* Биохимические показатели крови у коров-первотелок и их корреляция с воспроизводительной функцией // Международный вестник ветеринарии. – 2021. – № 3. – С. 185–191. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.3.185>.
10. *Никонова Е.А. и др.* Белковый состав, активность аминотрансфераз сыворотки крови и показатели естественной резистентности телок разных генотипов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (95). – С. 307–311. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-307-312>.
11. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: Монография / Под ред. Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева. – М., 2018. – 290 с.
12. *Омаров М.О., Данилова А.А.* Биохимическая оценка контроля состояния обмена веществ коров // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2022. – Т. 11, № 2. – С. 22–27. <https://doi.org/10.48612/sbornik-2022-2-6>.
13. *Холод В.М., Соболева Ю.Г., Баран В.П., Синцера А.М., Постраш И.Ю.* Значение и оценка биохимических исследований в системе лечебно-профилактических мероприятий у крупного рогатого скота // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена Знак Почета государственная академия ветеринарной медицины». – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 124–129.
14. *Шукина С.С., Ширяева О.Ю.* Динамика активности трансаминаз в зависимости от физиологического состояния // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. – 2015. – № 17. – С. 35–38.
15. *Gusterer E., Kanz P., Krieger S., Schweinzer V., Süß D., Lidauer L., Kickinger F., Ohlschuster M., Auer W., Drillich M., Iwersen M.* Sensor technology to support herd health monitoring: Using rumination duration and activity measures as unspecific variables for the early detection of dairy cows with health deviations // *Theriogenology*. – 2020. – Vol. 157. – Pp. 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.07.028>.

16. Trukhachev V.I., Oleinik S.A., Zlydnev N.Z., Morozov V.Yu. Adaptation of the Recommendations of the International Committee for Animal Recording (ICAR) in Evaluating the Quality of Milk // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2015. – Vol. 6, No. 6. – Pp. 1317–1320.

PRODUCTIVITY AND BLOOD BIOCHEMICAL PROFILE OF FIRST-CALF HEIFERS AT INCREASING FEED LEVELS

E.YU. TSIS, V.M. DUBOREZOV, R.A. RYKOV

(Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst)

High productivity and longevity of animals are the key challenges in modern dairy farming. In addition to high milk yields, first-calf heifers also have to increase their body weight. Due to their physiological characteristics, they are unable to consume large amounts of bulky forage to provide energy and nutrients for potential productivity. One of the ways to solve this problem is to increase the feeding level of first-calf heifers at the expense of concentrates. The assessment of the relationship between the level of feeding and the level of productivity and health of the animal was carried out by studying metabolic processes using biochemical markers of blood serum. The studies were carried out in the Moscow region for 150 days on 36 first-calf heifers, which were divided into three groups of 12 cows each according to the group-analogue principle. The control group received a ration balanced according to detailed norms for annual productivity of 8 to 9 thousand kilograms of milk per lactation. The second experimental group received a ration with increased content of metabolizable energy by 7.8% and crude protein by 8.2% of the requirement, the third group – by 15.1% and 16.4%, respectively, due to additional feeding of a targeted protein-vitamin-mineral concentrate. The researchers found that increasing the feeding level allowed to increase the live weight of first-calf heifers by 5.6% and 6.8% and the average daily milk yield by 6.4% and 9.6% in comparison with the control, and did not have a negative effect on the character of metabolism. All indicators of protein, lipid, carbohydrate and mineral metabolism were within reference values. The content of the albumin fraction in the blood serum of cows in the experimental groups was 39.7% and 39.5% of the content of total protein, while in the control group it was 36%. A significant increase in the content of the albumin fraction, by 5.12% ($p=0.04$) in the 2nd experimental group and by 7.24% ($p=0.01$) in the 3rd experimental group, with a simultaneous decrease in the content of total protein, characterizes a higher intensity of biosynthetic processes in the body associated with increased milk formation. Indicators of mineral metabolism were also within the physiological norm. The increase in magnesium content in cows of the 3rd experimental group is associated with an increase in its level in the diet of first-calf heifers. The increase in alkaline phosphatase activity indicates an increase in the functional activity of the liver, which is also associated with milk formation.

Keywords: first-calf heifers, diet, feeding level, metabolism, biochemical markers, milk formation.

References

1. Bogolyubova N.V., Rykov R.A. Age aspects of biochemical and clinical indicators in the body of cattle. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2023;2:45–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.33943/MMS.2023.25.98.009>
2. Buryakov N.P., Laptev G.Yu., Buryakova M.A., Ilyina L.A. et al. Features of the formation of the bacterial community of the rumen and the biochemical status

- of the cows depending on the protein source. *Kormlenie sel'skokhozyaystvennykh zhiivotnykh ikormoproizvodstvo*. 2021;12(197):3–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.33920/sel-05-2112-01>
3. Duborezov V.M., Tsis E.Yu., Kuvshinov V.N., Ryazantsev M.V. Growth and productivity of first-calf heifers at higher feeding levels. *Combikorma*. 2023;11:36–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2023-11-3-209>
 4. Zakharov V.M., Maximov V.I. Influence of exchange processes on productive quality of animals. *Zootechnia*. 2021;2.:25–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.19.64.007>
 5. Gusev I.V., Bogolyubova N.V., Rykov R.A., Levina G.N. *Control of biochemical status of pigs and cows*: manual. Dubrovitsy, Russia: Federal Science Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, 2019;40. (In Russ.)
 6. Krupin E.O., Shakirov Sh.K. Changes in individual diagnostic markers of carbohydrate, lipid and mineral metabolism in dairy cows due to feeding. *Agrarian Science*. 2023;(2):30–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-30-34>
 7. Mikolaychik I.N., Morozova L.A., Morozov V.A., Sandakova T.A. Energy supplements impact on the metabolism level in the cows body in the milking period. *Bulletin of KSAU*. 2022;3:113–120. (In Russ.) <https://doi.org://10.36718/1819-4036-2022-3-113-120>
 8. Mitsurina E.A., Gamko L.N. Milk quality indicators, productivity in cows and changes in blood composition when feeding mineral supplements. *Agrarian Science*. 2021;344(1):26–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-26-29>
 9. Nikolaev S.N., Konopeltsev I.G. Dynamics of the biochemical composition of blood in first-calf cows and correlation of biochemical markers with reproductive function. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2021;(3):185–191. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.3.185>
 10. Nikonova E.A., Mironova I.V., Kokov T.N., Bykova O.A. Protein composition, activity of aminotransferases in blood serum and indicators of natural resistance of heifers of different genotypes. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;3(95):307–311. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-307-312>
 11. Nekrasov R.V., Golovin A.V., Makhaev E.A., Anikin A.S. et al. *Standards requirements of dairy cattle and pigs in nutrients*: monograph. Ed. by. R.V. Nekrasov, A.V. Golovin, E.A. Makhaev. Moscow, Russia: Russian Academy of Sciences, 2018:290. (In Russ.)
 12. Omarov M.O., Danilova A.A. Biochemical assessment of the control of metabolism state in cows. *Sbornik nauchnykh trudov Krasnodarskogo nauchnogo tsentra po zootekhnii i veterinarii*. 2022;11(2):22–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.48612/sbornik-2022-2-6>
 13. Kholod V.M., Soboleva Yu.G., Baran V.P., Sintserova A.M., Postrash I.Yu. Significance and evaluation of biochemical studies in the system of therapeutic and preventive measures in cattle. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaya ordena Znaka pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny*. 2019;55(4):124–129. (In Russ.)
 14. Shukshina S.S., Shiryayeva O.Yu. Dynamics of transaminase activity depending on the physiological state. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezul'taty*. 2015;17:35–38. (In Russ.)
 15. Gusterer E., Kanz P., Krieger S., Schweinzer V. et al. Sensor technology to support herd health monitoring: Using rumination duration and activity measures as unspecific variables for the early detection of dairy cows with health deviations. *Theriogenology*. 2020;157:61–69. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.07.028>
 16. Trukhachev V.I., Oleinik S.A., Zlydnev N.Z., Morozov V.Yu. Adaptation of the Recommendations of the International Committee for Animal Recording (ICAR) in Evaluating the Quality of Milk. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2015;6 (6):1317–1320.

Сведения об авторах

Цис Елена Юрьевна, канд. с.-х. наук, научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»; 142132, Российская Федерация, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60; e-mail: tsis-elen@yandex.ru; тел.: (916) 277–47–27

Дуборезов Василий Мартынович, д-р с.-х. сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»; 142132, Российская Федерация, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60; e-mail: korma10@yandex.ru

Рыков Роман Анатольевич, старший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»; 142132, Российская Федерация, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60; e-mail: brukw@bk.ru

Information about the authors

Elena Yu. Tsis, CSc (Agr), Research Associate at the Department of Feeding of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst (60 Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow Region, 142132, Russian Federation; phone: (916) 277–47–27; e-mail: tsis-elen@yandex.ru)

Vasiliy M. Duborezov, DSc (Agr), Professor, Chief Research Associate at the Department of Feeding of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst (60 Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow Region, 142132, Russian Federation; e-mail: korma10@yandex.ru)

Roman A. Rykov, Senior Research Associate at the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst (60 Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow Region, 142132, Russian Federation; e-mail: brukw@bk.ru)

ВЛИЯНИЕ ГЕНОТИПА БЫЧКОВ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ КОРМОВ РАЦИОНА

Ю.А. ЮЛДАШБАЕВ¹, В.И. КОСИЛОВ², С.С. ЖАЙМЫШЕВА²,
И.А. РАХИМЖАНОВА², Т.А. СЕДЫХ³

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

²Оренбургский государственный аграрный университет

³Бишкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства УФИЦ РАН)

При проведении селекционно-племенной работы с животными мясного направления скотоводства необходимо выявлять и широко применять животных, отличающихся высокими показателями использования питательных веществ кормов рациона на синтез мясной продукции. Целью исследований являлась оценка эффективности переваривания питательных веществ кормов рациона чистопородными бычками симментальской (I группа), лимузинской (II группа) пород и их помесей первого ($\frac{1}{2}$ симментал \times $\frac{1}{2}$ лимузин – III группа), второго ($\frac{1}{4}$ симментал \times $\frac{3}{4}$ лимузин – IV группа) и третьего ($\frac{1}{8}$ симментал \times $\frac{7}{8}$ лимузин – V группа) поколений. Установлено, что вследствие проявления эффекта гетерозиса помесные бычки первого поколения III группы превосходили сверстников других подопытных групп по потреблению сухого вещества корма на 67,8–255,3 г (0,86–3,31%), органического вещества – на 61,3–230,8 г (0,84–3,24%), сырого протеина – на 10,5–78,1 г (0,99–7,85%), сырого жира – на 1,7–6,4 г (0,90–3,50%), сырой клетчатки – на 21,5–81,4 г (1,20–4,70%), БЭВ – на 27,6–354,8 г (0,65–9,04%). Минимальным потреблением всех видов питательных веществ отличались чистопородные бычки симментальской породы I группы. Аналогичные межгрупповые различия отмечались по переваримости питательных веществ корма. Помеси III группы превосходили молодняк других подопытных групп по массе переваренного сухого вещества на 119,8–390,3 г (2,37–8,15%), органического вещества – на 130,6–396,6 г (2,87–8,71%), сырого протеина – на 22,5–98,3 г (3,24–15,90%), сырого жира – на 2,7–9,2 г (2,11–7,58%), сырой клетчатки – на 67,9–162,1 г (7,28–19,33%), БЭВ – на 37,5–417,0 г (1,26–15,54%). Наиболее высокими коэффициентами переваримости питательных веществ отличались помесные бычки III и IV групп. Они лучше, чем сверстники I, II и V групп, переваривали: сухое вещество – на 2,91–1,73%; органическое – на 3,38–1,96%; сырой протеин – на 4,63–2,29%; сырой жир – на 2,62–0,56%; сырую клетчатку – на 6,76–1,87%; БЭВ – на 4,08–2,72%.

Ключевые слова: овцеводство, романовская порода, помеси с эдильбаевской породой, корм, питательные вещества, потребление, переваримость.

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности страны является стратегическим направлением развития агропромышленного комплекса [1–3; 9]. Наиболее важной задачей при этом является ускоренное наращивание производства мяса, в том числе говядины [4–8]. Добиться решения этой задачи можно лишь при рациональном использовании имеющихся породных ресурсов отрасли скотоводства [10; 11]. Разводимые в стране породы крупного рогатого скота отличаются достаточно высоким генетическим потенциалом продуктивности и при создании оптимальных условий содержания и полноценном, сбалансированном кормлении способны проявлять высокий уровень мясной продуктивности.

В последнее время селекционно-племенная работа в скотоводстве направлена на повышение мясных качеств отечественных пород скота. При этом широко используются генетические ресурсы лимузинской породы. Животные этой породы устойчиво передают потомству свои ценные хозяйственно-биологические особенности как при чистопородном разведении, так и при межпородном скрещивании. При этом помесное потомство вследствие проявления эффекта скрещивания отличается повышенным уровнем мясной продуктивности.

Использование данного селекционного приема в скотоводстве доказало свою неоспоримую эффективность. При этом актуальным становится вопрос изучения влияния генотипа бычков на потребление и эффективность использования питательных веществ кормов рациона, на синтез мясной продукции.

Цель исследований: оценка эффективности переваривания питательных веществ кормов рациона чистопородными бычками симментальской и лимузинской пород и представителями их помесей разных поколений.

Материал и методы исследований

При выполнении экспериментальной части работы объектом исследований являлись чистопородные бычки симментальской (I группа), лимузинской (II группа) пород и их помеси первого ($\frac{1}{2}$ симментал \times $\frac{1}{2}$ лимузин – III группа), второго ($\frac{1}{4}$ симментал \times $\frac{3}{4}$ лимузин – IV группа) и третьего ($\frac{1}{8}$ симментал \times $\frac{7}{8}$ лимузин – V группа) поколений.

Влияние генотипа бычков на потребление и эффективность использования питательных веществ, на синтез мясной продукции определяли во время проведения балансового (физиологического) опыта у трех животных из каждой подопытной группы в возрасте 12 мес.

Результаты и их обсуждение

Известно, что питательные вещества, поступающие в организм, обеспечивают жизнедеятельность животного на всех этапах онтогенеза. При этом в процессе роста и развития животного они обеспечивают нормальное протекание в организме всех обменных процессов, что в свою очередь обуславливает выполнение всех функций организма.

В натуральном виде питательные вещества, поступившие в организм животного с кормами рациона, не могут проникать через стенки желудочно-кишечного тракта и принимать участие в окислительно-восстановительном процессе, что обусловлено их сложной химической структурой и составом. В этой связи питательные вещества кормов, представляющих собой сложный комплекс высокомолекулярных соединений, должны под действием ферментов желудочно-кишечного тракта трансформироваться до простых по структуре соединений. Лишь в этом случае они, отличаясь растворимостью, могут принять участие в обменных процессах, протекающих в организме животных.

В селекционно-племенной работе с животными мясного направления скотоводства определение особенностей потребления и знания эффективности использования питательных веществ кормов позволят своевременно проводить корректировку рациона растущего молодняка, что будет способствовать более полной реализации генетического потенциала мясной продуктивности.

Анализ экспериментальных материалов, полученных в результате проведения балансового (физиологического) опыта, свидетельствует о влиянии генотипа бычков на потребление отдельных видов питательных веществ кормов рациона (табл. 1). При этом вследствие проявления эффекта гетерозиса помесные бычки

первого поколения III группы превосходили молодняк I, II, IV и V групп по потреблению сухого вещества на 6,78–255,3 г (0,86–3,31%), органического вещества – на 61,3–230,8 г (0,84–3,24%), сырого протеина – на 10,5–78,1 г (0,99–7,85%), сырого жира – на 1,7–6,4 г (0,90–3,50%), сырой клетчатки – на 21,5–81,4 г (1,20–4,70%), безазотистых экстрактивных веществ – на 27,6–354,8 г (0,65–9,04%).

Характерно то, что минимальным потреблением всех видов питательных веществ отличались чистопородные бычки симментальской породы I группы. У помесных бычков второго поколения IV группы отмечалась низкая степень гетерозиса по величине анализируемого показателя, а у помесного молодняка третьего поколения V группы – промежуточное наследование изучаемого признака. При этом они превосходили по потреблению сухого вещества сверстников I группы на 43,6 г (0,57%), органического вещества – на 39,5 г (0,55%), сырого протеина – на 5,6 г (0,56%), сырого жира – на 1,0 г (0,55%), сырой клетчатки – на 14,4 г (0,83%), БЭВ – на 18,3 г (0,47%), но уступали чистопородным лимузинам II группы на 92,0 г (1,19%), 83,0 г (1,16%), 54,9 г (5,48%), 2,4 г (1,30%), 28,5 г (1,63%) и 287,3 г (7,28%) соответственно.

Известно, что перевариванию и усвоению при протекании обменных процессов в организме животного подвергается не весь объем потребленных с кормом питательных веществ. С каловыми массами из организма животного выводятся непереваренные питательные вещества. Вследствие ассимиляции и диссимиляции переваренные в организме животного питательные вещества корма используются при формировании тканей тела и органов молодняка.

Известно, что на степень переваримости питательных веществ кормов рациона значительное влияние оказывает комплекс различных факторов. Во многом этот признак обусловлен генотипом животного, что подтверждается результатами наших исследований, полученными при проведении балансового опыта (табл. 2). При этом отмечено достаточно существенное проявление гетерозиса по количеству питательных веществ, переваренных помесными бычками первого и второго поколений III и IV групп. Сверстники I, II и V групп уступали им по массе переваренного сухого вещества на 278,9–390,3 г (5,69–8,15%) и 259,1–270,5 г (5,29–5,65%), органического вещества – на 334,0–396,6 г (7,24–8,71%) и 203,4–266,0 г (4,41–5,84%), сырого протеина – на 51,2–98,3 г (7,70–15,90%) и 28,7–75,8 г (4,84–12,26%), сырого жира – на 4,6–9,2 г (3,65–7,58%) и 1,9–6,5 г (1,51–5,25%), сырой клетчатки – на 109,9–162,1 г (12,34–19,33%) и 42,0–94,2 г (4,71–11,23%), БЭВ – на 168,3–417,0 г (5,74–15,54%) соответственно.

Таблица 1

Количество питательных веществ, потребленных подопытными бычками, г ($X \pm Sx$)

| Группа | Питательное вещество | | | | | |
|--------|----------------------|-----------------------|---------------|--------------|-----------------|---------------|
| | Сухое вещество | Органическое вещество | Сырой протеин | Сырой жир | Сырая клетчатка | БЭВ |
| I | 7699,5±72,44 | 7125,03±110,11 | 995,36±38,28 | 183,1±11,33 | 1731,37±27,14 | 3925,20±89,81 |
| II | 7835,1±89,03 | 7247,55±112,10 | 1055,92±40,12 | 186,54±13,43 | 1774,29±29,20 | 4230,80±9114 |
| III | 7954,8±92,14 | 7355,76±116,13 | 1073,48±43,40 | 189,52±15,12 | 1812,76±32,30 | 4280,00±93,10 |
| IV | 7887±93,02 | 7294,5±117,03 | 1063±42,10 | 187,8±17,12 | 1791,3±34,21 | 4252,40±93,91 |
| V | 7743,1±91,14 | 7164,49±115,16 | 1001±40,12 | 184,14±18,14 | 1745,85±33,11 | 3943,50±92,90 |

Количество питательных веществ, переваренных подопытными бычками, г ($X \pm Sx$)

| Группа | Питательное вещество | | | | | |
|--------|----------------------|-----------------------|---------------|-------------|-----------------|---------------|
| | Сухое вещество | Органическое вещество | Сырой протеин | Сырой жир | Сырая клетчатка | БЭВ |
| I | 4787,01±50,18 | 4550,81±41,14 | 618,11±5,88 | 121,41±4,28 | 838,67±24,14 | 2682,61±42,28 |
| II | 4898,43±51,28 | 4613,40±43,03 | 665,16±5,28 | 125,99±6,14 | 890,89±25,12 | 2931,35±43,16 |
| III | 5177,31±53,14 | 4947,42±44,24 | 716,40±6,02 | 130,63±6,14 | 1000,77±27,00 | 3099,61±45,04 |
| IV | 5057,54±53,80 | 4816,80±45,03 | 693,91±6,11 | 127,89±6,18 | 932,93±27,94 | 3062,07±46,10 |
| V | 4830,61±52,10 | 4590,27±44,90 | 623,75±6,08 | 122,45±6,10 | 853,15±7,04 | 2700,91±45,82 |

В свою очередь, помеси третьего поколения V группы вследствие проявления эффекта скрещивания превосходили чистопородный молодняк симментальской породы I группы по массе переваренного сухого вещества на 43,6 г (0,91%), органического вещества – на 3,95 г (0,87%), сырого протеина – на 5,6 г (0,91%), сырого жира – на 1,0 г (0,82%), сырой клетчатки – на 14,4 (1,72%), БЭВ – на 18,3 г (0,68%), но уступали чистопородным сверстникам лимузинской породы II группы на 67,8 г (1,40%), 23,1 г (0,50%), 41,5 (6,65%), 3,6 г (2,94%), 37,8 г (4,43%) и 230,4 г (8,53%) соответственно.

Характерные свойства и особенности строения питательных веществ кормов при переваривании в организме молодняка изменяются до простых органических структур. Это способствует их проникновению через стенки желудочно-кишечного тракта и позволяет принимать участие в окислительно-восстановительных процессах, протекающих в организме молодняка. Обобщающим показателем, характеризующим эффективность переваривания питательных веществ кормов и их участие в обменных процессах, является коэффициент их переваримости. При этом у отдельных видов питательных веществ его величина является неодинаковой. Полученные нами данные и их анализ свидетельствуют о влиянии генотипа бычков на уровень коэффициента переваримости питательных веществ.

Установлено, что вследствие проявления гетерозиса помесные бычки первого и второго поколений III и IV групп превосходили по величине анализируемого показателя молодняк I, II и V групп (табл. 3). Так, их преимущество над сверстниками I, II и V групп по величине коэффициента переваримости сухого вещества составляло 2,57–2,91 и 1,61–1,95%, органического вещества – 3,40–3,60 и 2,16–2,38%, сырого протеина – 3,74–4,63 и 2,29–3,18%, сырого жира – 1,39–2,62 и 0,56–1,79%, сырой клетчатки – 4,99–6,76 и 2,29–3,18%, сырого жира – 1,39–2,62 и 0,56–1,79%, сырой клетчатки – 4,99–6,76 и 2,07–3,64%, БЭВ – 3,14–4,08 и 2,72–3,66% соответственно.

У помесей третьего поколения V группы лишь по величине коэффициента переваримости органического вещества проявился гетерозис, по остальным питательным веществам отмечалось промежуточное наследуемости изучаемого признака. Вследствие этого они превосходили чистопородных сверстников I группы по уровню коэффициента переваримости сухого вещества на 0,22%, сырого протеина – на 0,21%, сырого жира – на 0,19%, сырой клетчатки – на 0,43%, БЭВ – на 0,15%, но уступали чистопородным сверстникам III группы по величине анализируемого показателя на 0,12; 0,68; 1,04; 1,34; 0,79% соответственно.

**Коэффициент переваримости основных питательных веществ
бычков подопытных групп, % ($X \pm S_x$)**

| Показатель | Группа | | | | |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | I | II | III | IV | V |
| Сухое вещество | 62,17±0,12 | 62,51±0,24 | 65,08±0,74 | 64,12±0,72 | 62,39±0,73 |
| Органическое вещество | 63,87±0,38 | 63,65±0,42 | 67,25±0,72 | 66,03±0,70 | 64,07±0,68 |
| Сырой протеин | 62,10±1,90 | 62,99±2,01 | 66,73±2,32 | 65,28±2,21 | 62,31±2,14 |
| Сырой жир | 66,31±1,02 | 67,54±1,14 | 68,93±1,33 | 68,10±1,30 | 66,50±1,32 |
| Сырая клетчатка | 48,44±0,50 | 50,21±0,60 | 55,20±0,82 | 52,08±0,33 | 48,87±0,88 |
| БЭВ | 68,34±0,61 | 69,28±0,68 | 72,42±0,80 | 72,00±0,75 | 68,49±0,72 |

Выводы

Изучение влияния генотипа чистопородных бычков симментальской, лимузинской пород и их помесей разного генотипа на потребление и переваримость питательных веществ кормов рациона свидетельствует о гетерозисе по изучаемым признакам у помесей первого и второго поколений и проявлении промежуточного наследования у помесей третьего поколения. При этом наибольшим эффектом гетерозиса отличались помеси первого поколения III группы.

При проведении научно-исследовательской работы соблюдались все принципы научной этики. Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии: с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов 1987 г.; приказа Минздрава СССР от 12 августа 1977 г. № 755 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных»; «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press. Washington, D.C., 1996. При проведении исследований были приняты меры по обеспечению минимума страданий животных и уменьшению количества исследуемых опытных образцов.

Библиографический список

1. Бисембаев А.Т. и др. Возрастная динамика живой массы казахской белоголовой породы мясного скота // Известия ТСХА. – 2023. – Вып. 1 – С. 81–87. DOI: 10.268970021-342X-2023-1-81-87.
2. Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф. Продуктивность и селекционно-генетические параметры мясного скота разных генотипов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 5 (85). – С. 208–210. DOI: org/10.37670/2073-0853-2020-85-5-208-210.
3. Косилов В.И., Юлдашбаев Ю.А. Пищевая ценность мышечной ткани молодняка черно-пестрой породы и ее помесей с голштинами // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 4. – С. 104–110. DOI: org/10.36718/1819-4036-2022-4-104-110.
4. Приступа В.Н. и др. Мясная продуктивность бычков разных пород отечественной селекции // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (102). – С. 255–260. DOI: org/ 10/37670/2073–0853–2023–102–4–255–260.

5. Субханкулов Н.Р. и др. Мясная продуктивность молодняка различных генотипов чистопородного мясного скота лимузинской породы, разводимого на территории Республики Башкортостан // Достижения науки и техники АПК. – 2023. Т. 37, № 2. – С. 45–50. DOI: [org/ 10.53859/02352451-2023-37-2-45](https://doi.org/10.53859/02352451-2023-37-2-45).

6. Юлдашбаев Ю.А. и др. Пищевая ценность мясной продукции молодняка черно-пестрой породы и ее помесей с голштинами // Аграрная наука. – 2021. – Т. 351, № 7–8. – С. 37–40. DOI: [org/ 10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-37-40](https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-37-40).

7. Kubatbekov T.S. et al. The genotypic peculiarities of the consumption and the use of nutrients and energy from the fodder by the purebred and crossbred heifers // Journal of Biochemical Technology. – 2020. – Vol. 11, № 4. – Pp. 36–41.

8. Trukhachev V.I., Moroz V.A., Chernobai E.N., Ismailov I.S. Meat and Interior Features Rams of Different Genotypes // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, no. 1. – P. 1626–1630.

9. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia // International Journal of Economics and Financial Issues. – 2016. – Vol. 6, no. S5. – P. 33–41.

10. Tyulebaev S.D. et al. The state of polymorphism of genes affecting the meat quality in micropopulations of meat simmentals // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on World Technological Trends in Agribusiness. – 2021. – P. 012045.

11. Zhaimysheva S.S. et al. Genetic and physiological aspects of bulls of dual-purpose and beef breeds and their crossbreeds // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Т. 421. – P. 22028.

EFFECT OF THE GENOTYPE OF BULL CALVES ON THE CONSUMPTION AND USE OF NUTRIENTS IN THE DIET

YU.A. YULDASHBAYEV¹, V.I. KOSILOV², S.S. ZHAYMYSHEVA²,
I.A. RAKHIMZHANOVA², T.A. SEDYKH³

(¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

²Orenburg State Agrarian University;

³Bashkir Scientific Research Institute of Agriculture of the Russian Academy of Sciences)

In beef cattle breeding, it is necessary to identify and widely use animals characterized by high rates of nutrient utilization in the diet for the synthesis of meat products. The aim of the study was to evaluate the efficiency of digestion of nutrients in the diet of purebred bull calves of the breeds Simmental (group I) and Limousine (group II) and their crossbreeds of the first ($\frac{1}{2}$ Simmental \times $\frac{1}{2}$ Limousine – group III), the second ($\frac{1}{4}$ Simmental \times $\frac{3}{4}$ Limousine – group IV) and the third ($\frac{1}{8}$ Simmental \times $\frac{7}{8}$ Limousine – V group) generations. It was found that due to the heterosis effect, crossbred bull calves of the first generation of group III outperformed their counterparts of other experimental groups in dry matter intake by 67.8 to 255.3 g (0.86 to 3.31%), organic matter – by 61.3 to 230.8 g (0.84 to 3.24%), crude protein – by 10.5 to 78.1 g (0.99 to 7.85%), crude fat – by 1.7 to 6.4 g (0.90 to 3.50%), crude fiber – by 21.5 to 81.4 g (1.20 to 4.70%), BEV – by 27.6 to 354.8 g (0.65 to 9.04%). The purebred Simmental bull calves of group I differed in the minimum consumption of all types of nutrients. Similar intergroup differences were observed in the digestibility of feed nutrients. The crossbred bull calves of group III outperformed the bull calves of the other experimental groups by weight of digested dry matter by 119.8 to 390.3 g (2.37 to 8.15%), organic matter – 130.6 to 396.6 g (2.87 to 8.71%), crude protein – by 22.5 to 98.3 g (3.24 to 15.90%), crude fat – by 2.7 to 9.2 g (2.11 to 7.58%), crude fiber – by 67.9 to 162.1 g (7.28 to 19.33%), BEV – by 37.5 to 417.0 g (1.26 to 15.54%). The highest

coefficients of digestibility of nutrients were characterized by crossbred bull calves of groups III and IV. They better digested dry matter by 2.91 to 1.73%, organic – by 3.38 to 1.96%, crude protein – by 4.63 to 2.29%, crude fat – by 2.62 to 0.56%, crude fiber – by 6.76 to 1.87%, BEV – by 4.08 to 2.72% than peers of groups I, II and V.

Keywords: sheep breeding, Romanov breed, crossbreeds with the Edilbaev breed, feed, nutrients, consumption, digestibility.

References

1. Bissembaev A.T., Kasenov Z.M., Batanov S.D., Zhali S.T. et al. Agedynamics of the live weight of the Kazakh white-headed breed of beef cattle. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2023;(1):81–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-1-81-88>
2. Kayumov F.G., Tretyakova R.F. Performance and selection genetic parameters of beef cattle of different genotypes. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnonouniversiteta*. 2020;5(85):208–210. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-85-5-208-210>
3. Kosilov V.I., Yuldashbaev Yu.A. The black-and-white breed young growth muscle tissue nutritional value and its crossbreed with Holsteins. *Bulletin of KSAU*. 2022;4:104–110. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-4-104-110>
4. Prystupa V.N., Krotova O.E., Dudchenko S.N., Klimenko D.V. et al. Indicators of meat productivity of dairy and meat breeds. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnono universiteta*. 2023; 4 (102): 255–260. (In Russ.) <https://doi.org/10/37670/2073-0853-2023-102-4-255-260>
5. Subkhankulov N.R. Sedykh T.A., Gizatullin R.S., Yumaguzin I.F., Kosilov V.I. Meat productivity of young animals of different genotypes of purebred beef cattle of the limousin breed bred in the territory of the Republic of Bashkortostan. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2023;37(2):45–50. (In Rus.) <https://doi.org/10/53859/02352451-2023-37-2-45>
6. Yuldysbaev Yu.A., Kosilov V.I., Kubatbekov T.S., Sedykh T.A., Kalyakina R.G., Savchuk S.V. Nutritional value of meat products of young stock of black-and-white breed and its crosses with Holstein. *Agrarian Science*. 2021;(7–8):37–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-37-40>
7. Kubatbekov T.S., Kosilov V.I., Kaledin A.P., Salaev B.K. et al. The genotypic peculiarities of the consumption and the use of nutrients and energy from the fodder by the purebred and crossbred heifers. *Journal of Biochemical Technology*. 2020;11(4):36–41.
8. Trukhachev V.I., Moroz V.A., Chernobai E.N., Ismailov I.S. Meat and Interior Features Rams of Different Genotypes. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016;7(1):1626–1630.
9. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2016;6 (S5):33–41.
10. Tyulebaev S.D. Kadysheva M.D., Kosilov V.I., Gabidulin V.M. The state of polymorphism of genes affecting the meat quality in micropopulations of meat simmentals. *2020 International Conference on World Technological Trends in Agribusiness, WTTA 2020. July 04–05, 2020. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021:012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012045>
11. Zhaimysheva S.S., Kosilov V.I., Miroschnikov S.A., Duskaev G. Genetic and physiological aspects of bulls of dual-purpose and beef breeds and their crossbreeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;421(2):22028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/2/022028>

Сведения об авторах

Юлдашбаев Юсупжан Артыкович, профессор кафедры частной зоотехнии, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА им К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязева, 49; e-mail: zoo@rgai-msha.ru; тел.: (905) 551–72–41

Косилов Владимир Иванович, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, д-р с.-х. наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет»; 460014, Российская Федерация, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18; e-mail: kosilov_vi@bk.ru; тел.: (919) 840–23–01

Жаймышева Сауле Серекпаевна, доцент кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, д-р с.-х. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет»; 460014, Российская Федерация, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18; e-mail: saule-zh@bk.ru; тел.: (922) 538–99–27

Рахимжанова Ильмира Агзамовна, заведующий кафедрой электротехнологии и электрооборудования, д-р с.-х. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет»; 460014, Российская Федерация, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18; e-mail: kaf36@orensau.ru; тел.: (950) 187–81–52

Седых Татьяна Александровна, заместитель директора по научной работе, д-р биол. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»; 450059, Российская Федерация, г. Уфа, ул. Рихарда Зорге, 19; e-mail: Nio_bsau@mail.ru; тел.: (917) 778–72–75

Information about the authors

Yusupzhan A. Yuldashbaev, DSc (Agr), Professor, Professor at the Department of Private Animal Science, Member of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (905) 551–72–41; e-mail: zoo@rgai-msha.ru)

Vladimir I. Kosilov, DSc (Agr), Professor, Professor at the Department of Technology of Production and Processing of Livestock Products, Orenburg State Agrarian University (18 Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014, Russian Federation; phone: (919) 840–23–01; e-mail: kosilov_vi@bk.ru)

Saule S. Zhaymysheva, DSc (Agr), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Technology of Production and Processing of Livestock Products, Orenburg State Agrarian University (18 Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014, Russian Federation; phone.: (922) 538–99–27; e-mail: saule-zh@bk.ru)

Ilmira A. Rakhimzhanova, DSc (Agr), Associate Professor, Head of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment, Orenburg State Agrarian University (18 Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014, Russian Federation; phone.: + (950) 187–81–52; e-mail: kaf36@orensau.ru)

Tatyana A. Sedykh, DSc (Bio), Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work, Bashkir Scientific Research Institute of Agriculture of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (19, Rikharda Zorge St., Ufa, 450059, Russian Federation; phone.: (917) 778–72–75; e-mail: Nio_bsau@mail.ru)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВЛИЯНИЯ САНКЦИЙ НА СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО
ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РФ

О.С. ПУЧКОВА, А.В. БАБКИНА

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Статья содержит сценарный анализ возможных последствий действующего в настоящий момент санкционного режима на сельское хозяйство Южного федерального округа Российской Федерации. Исследования основаны на пространственной модели частичного равновесия на оптовых рынках сельскохозяйственной продукции субъектов Российской Федерации ВИАПИ имени А.А. Никонова – филиала ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ. Предложена методика использования результатов моделирования для оценки влияния санкций на сельское хозяйство Южного федерального округа. В качестве основных угроз, вызванных незаконными санкциями, рассмотрены сокращение машинно-тракторного парка и барьеры для экспорта производимой продукции. В ходе анализа исследованы объемы производства и потребления основных видов продукции сельского хозяйства в Южном федеральном округе. Сделан вывод о том, как санкционное давление влияет на зависимость региона от внешних поставок продукции животноводства, а именно: ухудшение положения агробизнеса, нарушения воспроизводственного процесса, которые рано или поздно приведут к падению производства сельскохозяйственной продукции, чем обуславливается неустойчивость ситуации со снабжением продовольствием населения. Особое внимание уделено рассмотрению денежных потоков зерновой отрасли Южного федерального округа. Оценены возможные последствия санкций во внешнеэкономической деятельности сельского хозяйства в разрезе сценариев. Выделена особая роль государства для преодоления кризисов в сельском хозяйстве: финансовая поддержка местных сельскохозяйственных товаропроизводителей и разработка мер по устранению отрицательного влияния экспортных барьеров. На основе выявленных тенденций сформулированы выводы о негативном воздействии санкционных угроз на аграрный сектор, а именно: установлено их серьезное отрицательное влияние на продовольственную безопасность населения, участников внешнеэкономической деятельности и на финансовое положение сельского хозяйства.

Ключевые слова: сельское хозяйство, санкции, анализ сценариев, экспорт, импорт, цены, денежные потоки, Южный федеральный округ.

Введение

В качестве значимого элемента организационно-экономического механизма аграрного сектора экономики выступает саморегулирование рынка. Оно обеспечивается за счет влияния на объемы производства и реализации сельскохозяйственной продукции, на уровень ее потребления, спроса и предложения, ценовой конкуренции. Рыночный механизм саморегулирования в обязательном порядке должен

сопровождаться рациональными комбинациями различных форм государственного вмешательства. Обоснование данного утверждения рассмотрено в работах [2, 4].

В России государственная поддержка агропромышленного комплекса в последние годы носит активный характер. Продовольственная безопасность является одним из приоритетных направлений аграрной политики страны [7, 8]. По данным Министерства сельского хозяйства РФ, страна обеспечивает себя полностью основными видами продовольствия, за исключением мяса, молока, рыбы. Уровень самообеспечения молочными продуктами достигает только 73–74%.

Сельское хозяйство России носит экспортоориентированный характер [6]. В связи с этим введенные в 2022 г. санкции против РФ поставили отечественных сельхозтоваропроизводителей в ситуацию неопределенности в отношении реализации своей продукции другим странам и импорта средств производства, необходимых для развития бизнеса. Положение дел, связанное с экспортом продовольствия, в значительной степени нивелируется за счет значимости России для обеспечения продовольственной стабильности развивающихся стран. Однако наблюдаются существенные проблемы в отношении экспорта продукции сельского хозяйства в западные страны: уплаченные за него деньги частично замораживаются за рубежом, а главное – весьма сложно стало застраховать перевозки. Что касается технологического импорта, то здесь ситуация является более сложной ввиду того, что основная доля поставок средств производства происходила из недружественных стран. В связи с этим агропромышленный комплекс в настоящее время, в условиях санкций, столкнулся с двумя проблемами, касающимися внешнеторговой деятельности: экспорт продукции и импорт технологий и средств производства.

Вопрос о влиянии санкций 2022 г. и последующих лет на сельское хозяйство в аспекте продовольственной безопасности затрагивается в работе [16], но приведенные аргументы основаны на сравнении ситуаций до санкций и после них. Такое сравнение «не очищено» от влияния сторонних факторов и потому не дает корректной количественной оценки эффектов. Сложившаяся ситуация требует проведения тщательного анализа и поиска новых механизмов развития АПК.

Цель исследований: провести сценарный анализ возможных последствий действующего в настоящий момент санкционного режима в отношении Российской Федерации на сельское хозяйство Южного федерального округа.

Материал и методы исследований

В исследованиях мы опираемся на результаты моделирования влияния возможных последствий санкционного режима для сельского хозяйства страны [12, 15]. Для оценки влияния санкций на сельское хозяйство России используется модель ВИАПИ имени А.А. Никонова – филиала ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ: пространственная модель частичного равновесия на оптовых рынках сельскохозяйственной продукции субъектов РФ [9, 14]. Разработанные ранее модели частичного равновесия на рынках сельхозпродукции не предоставляют возможность анализа в разрезе регионов России [10].

В модели ВИАПИ рассматриваются 12 исходов (00, 0В, 0А, ..., 30, 3В, 3А), которые представляют собой комбинацию двух угроз, вызванных санкционным режимом, а именно: снижение стоимости основных средств сельскохозяйственного назначения (сценарий 1, оптимистический, – снижение на 4%; сценарий 2, вероятный, – на 5,5%; сценарий 3, пессимистический, – на 7%; сценарий 0, базовый, характеризующийся фактическими поставками машинно-тракторного парка (МТП)

в период 2015–2019 гг.) и сокращение экспорта зерна (сценарий О, соответствующий условиям вывоза зерна, зафиксированным статистикой за 2015–2019 гг.; сценарий В, умеренно пессимистичный, предусматривающий сокращение экспорта на 22%; сценарий А, пессимистичный, – сокращение экспорта на 27%). Обоснование сценариев приведено в работе [12].

Результаты и их обсуждение

Южный федеральный округ является крупнейшим поставщиком сельскохозяйственной продукции и существенным регулятором агропродовольственного рынка в России [17]. По данным Росстата за 2022 г., по объемам производства зерна (41057,0 тыс. т) и овощей (4331,8 тыс. т) округ занимает лидирующую позицию в РФ, по подсолнечнику (4605,9 тыс. т) и сахарной свекле (11681,8 тыс. т) – второе место, по молоку (3858,9 тыс. т) и мясу скота в убойном весе (1092,7 тыс. т) – четвертое место, по картофелю (1542,3) – пятое место. Такие же места округ занимает и согласно равновесному решению, соответствующему сценарию 00 (табл. 1).

Ввиду благоприятных природно-климатических условий в округе сосредоточена шестая часть посевных площадей страны, на которой выращивается почти половина общероссийского валового сбора овощей, треть зерна и подсолнечника, четверть сахарной свеклы.

Исследуемый федеральный округ является самообеспеченным по основным видам сельскохозяйственной продукции, объемы производства которой по многим позициям превышают размер внутреннего потребления (рис. 1).

Таблица 1

**Производство продукции, %, базовый сценарий,
в среднем за период 2015–2019 гг.**
(расчеты авторов согласно равновесному решению модели ВИАПИ
по базовому сценарию 00)

| Федеральный округ | Птица | Зерно | Подсолнечник | Сахарная свекла | Картофель | Овощи | Молоко | Скот |
|-------------------|-------|-------|--------------|-----------------|-----------|-------|--------|------|
| Центральный | 38,2 | 26,0 | 26,6 | 56,9 | 36,9 | 13,2 | 22,6 | 39,2 |
| Северо-Западный | 8,2 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 4,2 | 3,6 | 8,0 | 6,3 |
| Южный | 8,8 | 31,5 | 30,2 | 20,7 | 8,5 | 40,4 | 10,0 | 9,2 |
| Северо-Кавказский | 7,1 | 11,7 | 5,1 | 4,4 | 6,1 | 17,0 | 6,1 | 5,9 |
| Приволжский | 20,8 | 15,9 | 33,1 | 15,9 | 22,9 | 16,2 | 31,3 | 20,3 |
| Уральский | 9,0 | 3,5 | 0,4 | 0,0 | 8,6 | 3,0 | 6,4 | 5,5 |
| Сибирский | 7,1 | 10,2 | 4,6 | 2,1 | 9,3 | 4,5 | 13,5 | 11,3 |
| Дальневосточный | 0,8 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 3,5 | 2,1 | 2,1 | 2,3 |

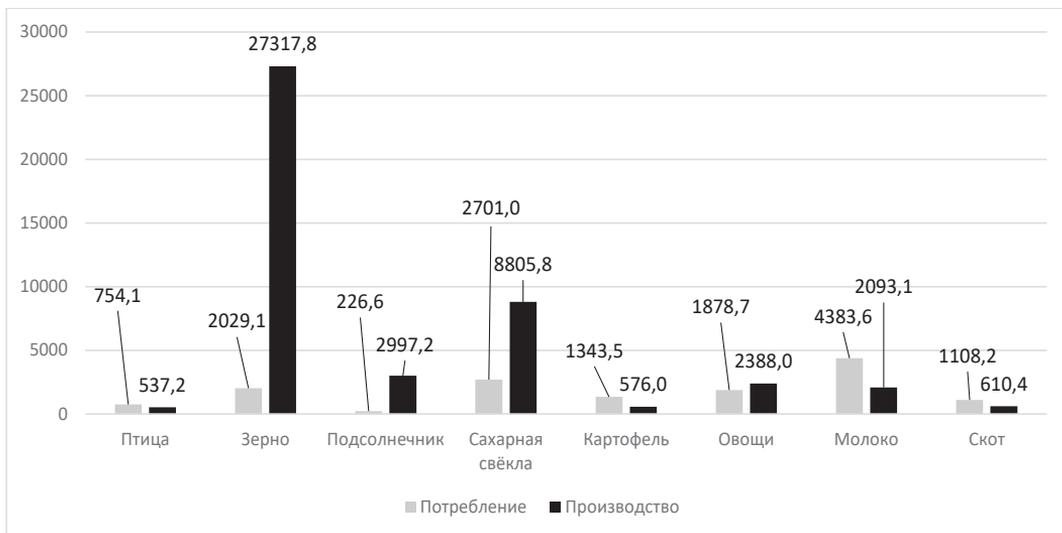


Рис. 1. Объемы производства и потребления некоторых видов сельскохозяйственной продукции в Южном федеральном округе в среднем за период 2015–2019 гг., тыс. т (расчеты авторов согласно равновесному решению модели ВИАПИ по базовому сценарию 00)

Южный федеральный округ – крупнейший экспортер пшеницы [17]. Превышение выпуска зерна над объемом потребления составляет более чем 13 раз. Введенные санкционные ограничения, препятствующие экспорту, создают преграды не только вывозу продукции, но и возможности зарабатывать на мощном аграрном секторе [13].

Если первые санкции, введенные против России в 2014 г., оказались весьма чувствительными прежде всего для оборонной отрасли и банковской системы страны, то экономические санкции, установленные США и странами Европейского Союза в 2015 г., были нацелены на ключевые отрасли экономики нашей страны. Однако сильнее всего российские граждане ощутили влияние санкций, введенных в 2022 г., которые были направлены на тотальное ограничение внешнеторговой деятельности и несмотря на контрсанкции, привели к болезненным эффектам, к стремительному росту цен на отдельные продукты питания.

Как следует из данных таблицы 2, сокращение производства продукции, вызванное кризисными сценариями, составляет от 7,0% в сценарии 10 до 22,6% в сценариях 3В и 3А. Одновременно с этим отметим, что индекс цен на внутренних рынках не всегда растет. Так, по картофелю в сценариях 0В, 1В, 0А и 1А он снижается к сценарию 00 на 1,24, 0,79, 1,58 и 0,33% соответственно; по овощам в сценариях 0В и 0А индекс цен снижается на 1,52 и 1,55% соответственно. По зерну препятствия экспорту почти во всех сценариях приводят к снижению цены, и максимальное снижение наблюдается в сценарии 0А (37,31%). Максимальный рост цены также зафиксирован по зерновой продукции в сценарии 30 (6,84%).

Таким образом, рост цен на продукцию, связанный с дефицитом МТП, эффективно сдерживается трудностями экспорта для российской сельхозпродукции, возникающими по причине санкций в сфере финансов, страхования и поставок техники.

**Объемы производства и индексы цен продукции сельского хозяйства Южного
федерального округа в разрезе сценариев**
(расчеты авторов по равновесным решениям модели ВИАПИ)

| Показатели | Сценарии | | | | | |
|--|----------------------------------|-----------|--------|-------|--------|-------|
| | базовый | кризисные | | | | |
| | | 00 | 10 | 20 | 30 | 0B |
| Производство продукции, млрд руб. | 1140,9 | 1061,3 | 1026,3 | 990,1 | 1012,8 | 944,5 |
| Сокращение производства продукции к сценарию 00, % | – | –7,0 | –10,0 | –13,2 | –11,2 | –17,2 |
| Индексы цен к сценарию 00 на продукцию | | | | | | |
| птица | – | 1,008 | 1,018 | 1,022 | 1,007 | 1,000 |
| зерно | – | 1,037 | 1,052 | 1,068 | 0,628 | 0,637 |
| подсолнечник | – | 1,026 | 1,040 | 1,050 | 1,002 | 1,022 |
| сахарная свекла | – | 1,013 | 1,024 | 1,031 | 1,004 | 1,010 |
| картофель | – | 1,019 | 1,044 | 1,046 | 0,988 | 0,992 |
| овощи | – | 1,020 | 1,031 | 1,043 | 0,985 | 1,003 |
| молоко | – | 1,008 | 1,012 | 1,016 | 1,004 | 1,007 |
| скот | – | 1,009 | 1,017 | 1,018 | 1,006 | 1,003 |
| Показатели | Кризисные сценарии (продолжение) | | | | | |
| | 2B | 3B | 0A | 1A | 2A | 3A |
| Производство продукции, млрд руб. | 914,5 | 883,1 | 1012,8 | 944,5 | 914,5 | 883,1 |
| Сокращение производства продукции к сценарию 00, % | –19,8 | –22,6 | –11,2 | –17,2 | –19,8 | –22,6 |
| Индексы цен к сценарию 00 на продукцию | | | | | | |
| птица | 1,016 | 1,021 | 1,003 | 1,009 | 1,015 | 1,022 |
| зерно | 0,644 | 0,651 | 0,627 | 0,638 | 0,644 | 0,651 |
| подсолнечник | 1,038 | 1,049 | 1,001 | 1,025 | 1,037 | 1,050 |
| сахарная свекла | 1,022 | 1,030 | 1,002 | 1,014 | 1,021 | 1,031 |
| картофель | 1,012 | 1,022 | 0,984 | 0,997 | 1,011 | 1,024 |
| овощи | 1,011 | 1,022 | 0,984 | 1,003 | 1,011 | 1,023 |
| молоко | 1,014 | 1,018 | 1,002 | 1,010 | 1,014 | 1,018 |
| скот | 1,015 | 1,019 | 1,003 | 1,009 | 1,014 | 1,019 |

Современное состояние сельскохозяйственных организаций не является стабильным. Это во многом обусловлено рядом общих проблем, вызванных санкционным давлением: разрыв привычных сбытовых и логистических цепочек, их удорожание, изменения в условиях поставок, проблемы с закупками запчастей для имеющегося оборудования, риск неполучения критически важной продукции [3]. Высокие темпы роста себестоимости сельскохозяйственной продукции без возможности увеличить отпускные цены, роста конкуренции на рынке, снижения платежеспособного спроса привели к ухудшению экономической эффективности деятельности сельхозтоваропроизводителей [5].

Денежные потоки всех рассматриваемых сценариев находятся ниже линии безубыточности, что говорит об отрицательном маржинальном доходе сельского хозяйства во всех представленных исходах (рис. 2). В поток «Притоки» включена выручка от продаж в регионе, от вывоза в регионы России и от экспорта. В оттоки входят производственные затраты, закупки в регионах России, импорт, транспортные издержки и оплата заемных ресурсов. Наименее неблагоприятная ситуация наблюдается только в сценариях 00, 10, 0В и 0А. Санкционное воздействие отрицательно влияет на стимулирование к сельскохозяйственной деятельности и на финансовое состояние ее субъектов. Появляется острая необходимость в финансовой поддержке со стороны государства, в сценарии 2А ее размер составляет до 280 млрд руб., в сценарии 3А – до 281 млрд руб.

Главной отраслью земледелия почти во всех регионах Южного федерального округа является зерновое производство. Значение пшеницы является огромным как в общем для России, так и для Краснодарского края, где сосредоточены ее самые большие посевные площади и достигается первое место по валовому сбору зерна [11]. Благодаря уникальным почвам и благоприятному климату здесь накоплен многолетний опыт прибыльного возделывания зерновых культур. В Южном федеральном округе в целом, как и во всех его зернопроизводящих субъектах, за исключением Адыгеи и Калмыкии, производство зерна является рентабельным по равновесному решению при отсутствии барьеров для внешней торговли, характеризующему сценарий 00 (табл. 3). Но при кризисных сценариях 2В, 3В, 2А и 3А совокупный денежный поток зерновой отрасли становится отрицательным в результате сокращения экспорта зерна по причине введенных санкций. Вызванные данными обстоятельствами сложности геополитической ситуации частично удастся преодолеть за счет стабильных партнеров – в частности, Турции, Египта, Саудовской Аравии, стран Африки. Но данные таблицы 3 показывают, что при действующем внешнеполитическом влиянии округу будет трудно достичь показателей досанкционного периода без существенного государственного вмешательства.

Нехватка машинно-тракторного парка приводит к необходимости увеличивать импорт и сильно сокращать экспорт (рис. 3). При этом сокращение экспорта, вызванное экспортными ограничениями, почти не оказывает влияния на импорт: ввиду ограниченной емкости внутренних рынков импортозамещение не осуществляется. Это связано с тем, что импортозамещение требуется по продукции, которая почти не экспортируется. Суть в том, что не получается перенаправить зерно на увеличение производства продукции животноводства, поскольку цены на продукцию животноводства упадут, и это обойдется дороже выгоды от удешевления зернофуража. Исключением являются те рынки, реализация сельскохозяйственной продукции на которых является неприбыльной.

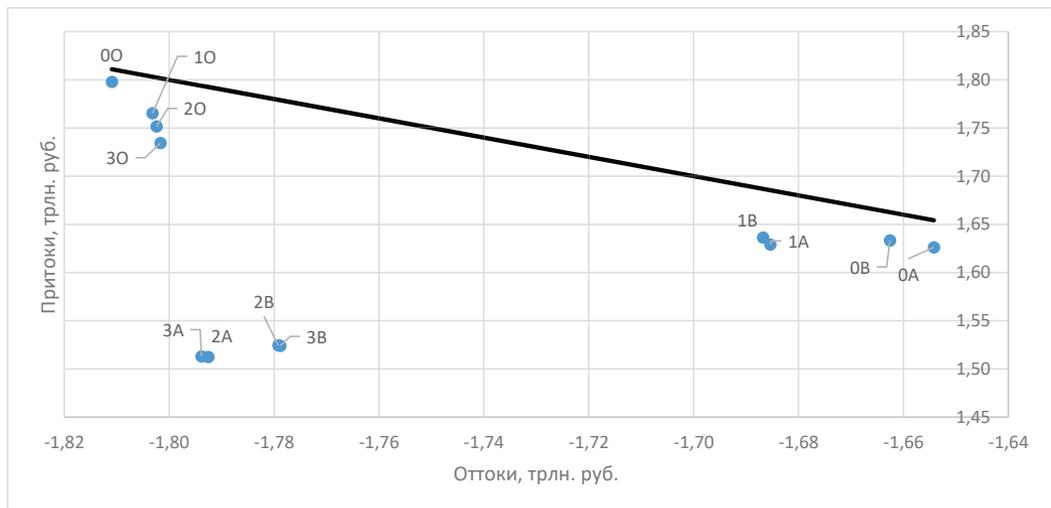


Рис. 2. Потоки денежных средств сельского хозяйства Южного федерального округа по исследуемым сценариям (расчеты авторов по равновесным решениям модели ВИАПИ)

Таблица 3

Денежные потоки зерновой отрасли в Южном федеральном округе в сценарных равновесиях, млрд руб.
(расчеты авторов по равновесным решениям модели ВИАПИ)

| Сценарии | | Показатели | | |
|-----------|----|------------|--------|--------------------|
| | | Prитоки | Оттоки | Маржинальный доход |
| базовый | 00 | 515,6 | -447,2 | 68,4 |
| кризисные | 10 | 455,9 | -384,1 | 71,8 |
| | 20 | 430,5 | -357,4 | 73,1 |
| | 30 | 405,7 | -331,2 | 74,5 |
| | 0B | 344 | -214,5 | 129,5 |
| | 1B | 324,1 | -190,6 | 133,4 |
| | 2B | 199,8 | -259,6 | -59,8 |
| | 3B | 191 | -239,3 | -48,3 |
| | 0A | 338,7 | -209,6 | 129 |
| | 1A | 314 | -187,8 | 126,2 |
| | 2A | 188,2 | -273,3 | -85,1 |
| | 3A | 179,6 | -253,2 | -73,6 |

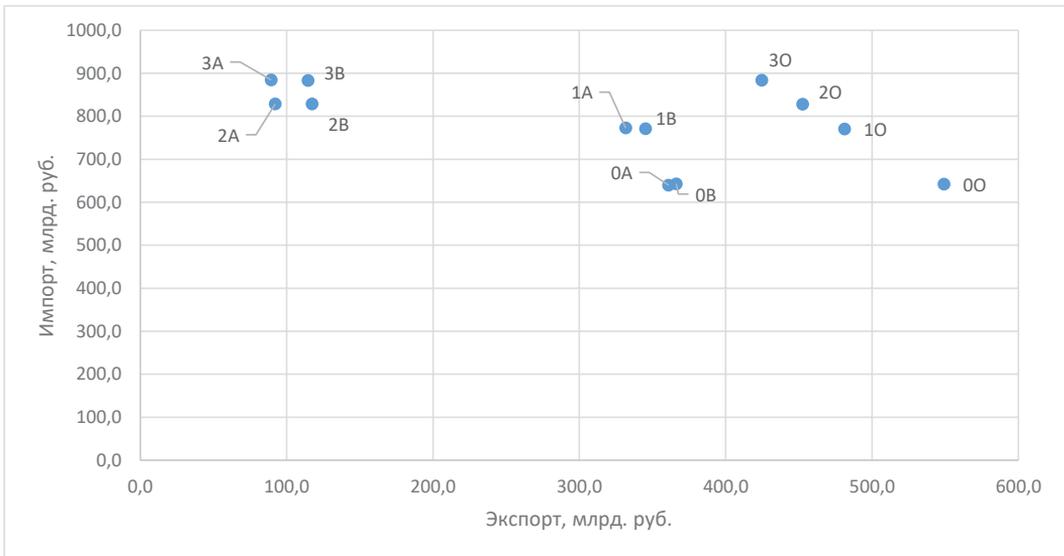


Рис. 3. Внешнеторговая деятельность сельского хозяйства Южного федерального округа в разрезе сценариев (расчеты авторов по равновесным решениям модели ВИАПИ)

Выводы

Тенденции, выявленные в ходе оценки влияния санкционных последствий на аграрный сектор рассматриваемого округа, согласуются с результатами, описанными в работе [12], где исследуется влияние санкций на сельское хозяйство России. Анализ Южного федерального округа показывает, что воздействие угрозы, связанной с ограничением экспорта, оказывает больший негативный эффект, чем сокращение машинно-тракторного парка. Падение объемов экспорта происходит на фоне увеличения импорта. Импортозамещения не происходит, что становится причиной ухудшения финансового состояния агробизнеса; денежные притоки сокращаются более быстрыми темпами, чем оттоки. Речь пока не идет об ухудшении продовольственного самообеспечения исследуемого округа, но встает вопрос о возможности для местных аграриев зарабатывать, вести расширенное воспроизводство. Округ является самообеспеченным по основным видам продукции растениеводства, но санкции влияют на зависимость региона от внешних поставок продукции животноводства. Санкции, ухудшая положение агробизнеса, не обязательно ухудшают продовольственное снабжение населения. Но такая ситуация является неустойчивой, так как рано или поздно ввиду нарушения воспроизводственного процесса производство сельхозпродукции начнет падать. Возникает острая потребность в финансовой господдержке, в незамедлительных мерах по реагированию со стороны Правительства Российской Федерации.

Проблемы с обновлением машинно-тракторного парка приводят к уменьшению производства продукции. Это частично компенсируется за счет роста цен в сценариях, где индексы цен по рассмотренным продуктам увеличиваются по мере усиления отрицательных последствий санкционного влияния. Данное обстоятельство негативно отражается на отечественном покупателе по причине роста цен на продукцию. Что касается экспортоориентированной зерновой отрасли, то сокращение экспорта приводит к резкому падению цены на зерно. Рентабельность отрасли значительно снижается, ухудшаются позиции Южного федерального округа на мировых продуктовых рынках.

Проведенные исследования показывают, что вероятные последствия санкций разрушительно влияют на финансовое состояние сельского хозяйства Южного федерального округа. Российское государство нацелено в ближайшие годы избавиться от слабых мест в аграрной отрасли, связанных с возникшим санкционным давлением. Необходима разработка конкретных мер по устранению отрицательного влияния экспортных барьеров.

В дальнейших исследованиях можно применить методику цифровой поддержки принятия стратегических решений о выборе приоритетных направлений развития структур региональных экономик с учетом концепции экономической сложности региона [1].

Библиографический список

1. *Афанасьев М.Ю.* Новые ориентиры цифровой экономики: о взаимосвязи экономической сложности и материального благосостояния // Вестник ЦЭМИ. – 2022. – № 1. – DOI: 10.33276/S265838870019868-7. EDN: KQGMKN.

2. *Бабкина А.В., Пучкова О.С., Светлова Г.Н.* Влияние нерыночных сил на равновесие на рынках сельскохозяйственной продукции Смоленской области // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 5. – С. 107–112. DOI: 10.32651/235-107. EDN: TUVBMD.

3. *Бабкина А.В., Пучкова О.С., Осипова М.Б.* Оптимизация логистических процессов в крестьянских (фермерских) хозяйствах методами математического моделирования // Международный научный журнал. – 2022. – № 2 (83). – С. 104–109. DOI: 10.34286/1995-4638-2022-83-2-104-109. EDN: QTYXRN.

4. *Бабкина А.В., Пучкова О.С.* Роль механизма государственной поддержки при переходе АПК Дальнего Востока на инновационную модель развития // Известия Международной академии аграрного образования. – 2022. – № 59. – С. 81–84. EDN: UHXKXY.

5. *Герасименко О.А., Паршин А.Б., Терпицкая К.И.* Анализ деятельности сельскохозяйственных организаций в условиях влияния санкций и политики импортозамещения с использованием цифровых сервисов // Вестник Академии знаний. 2023. № 2 (55). С. 40–46.

6. *Киселев С.В., Ромашкин Р.А., Белугин А.Ю.* Агропродовольственный экспорт России до 2030 г.: прогноз на основе модели частичного равновесия // Журнал Новой экономической ассоциации. – 2022. – № 4 (56). – С. 69–90. DOI: 10.31737/2221-2264-2022-56-4-4. EDN: DPDIPY.

7. *Минаков И.А.* Состояние и перспективы продовольственной безопасности России // Безопасность сырья и продуктов питания в современном аспекте: Сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, г. Курган, 23 марта 2023 г. – Курган: Курганский государственный университет, 2023. – С. 176–180. EDN: WPNPII.

8. *Нуралиев С.У.* Концепция развития оптовых и розничных рынков и ее основные задачи в обеспечении продовольственной безопасности страны // Пищевая промышленность. – 2021. – № 12. – С. 35–37. DOI: 10.52653/PPI.2021.12.12.007. EDN: YA0UPZ.

9. Применение математических методов в управлении АПК Беларуси и России / Н.М. Светлов, В.И. Буць, Е.В. Карачевская и др. – Москва: Центральный экономико-математический институт РАН, 2020. – 177 с. DOI: 10.33276/978-5-8211-0782-4. EDN: PKURVQ.

10. *Прокопьев М.Г.* Классификация и методические аспекты разработки моделей частичного равновесия. Ч. II // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2015. – № 7 (57). – С. 83–91. EDN: UYBIGZ.

11. Развитие экономико-математических методов, информационных систем и технологий в АПК Российской Федерации (летопись кафедры экономической

кибернетики) / А.И. Филатов, А.М. Гатаулин, Н.М. Светлов и др. – Иркутск: Мега-принт, 2017. – 161 с. EDN: XSWJHV.

12. Светлов Н.М., Терновский Д.С. Математическое моделирование влияния санкций на сельское хозяйство России // Формирование организационно-экономических условий эффективного функционирования АПК, г. Минск, 25–26 мая 2023 г. – Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2023. – С. 41–46. EDN: TGMDIJ.

13. Светлов Н.М. Моделирование продуктовых рынков в эпоху цифровизации: опыт, перспективы, препятствия // Цифровизация как вызов современности: между гуманизацией и дегуманизацией: Сборник материалов и докладов XXV Российской научно-практической конференции с международным участием, г. Екатеринбург, 12–13 апреля 2023 г. – Екатеринбург: Автономная некоммерческая организация высшего образования «Гуманитарный университет», 2023. – С. 201–206. EDN: QPOTBD.

14. Светлов Н.М. Оценка влияния климата на балансы сельскохозяйственной продукции // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2021. – № 10. – С. 10–18. DOI: 10.31442/0235-2494-2021-0-10-10-18. EDN: OTJKBM.

15. Светлов Н.М. Сельскохозяйственные рынки регионов России в условиях изменений климата и климатической политики (результаты моделирования) // Стратегическое планирование и развитие предприятий: Материалы XXIV Всероссийского симпозиума, Москва, 11–12 апреля 2023 г. / Под ред. Г.Б. Клейнера. – М.: Центральный экономико-математический институт РАН, 2023. – С. 463–468. DOI: 10.34706/978-5-8211-0814-2-s2-44. EDN: JXHNOB.

16. Ibragimov A.G., Popkova E.G. et al. Food Security of Russia in the Context of International Economic Sanctions // Sustainable Development of the Agrarian Economy Based on Digital Technologies and Smart Innovations. – Cham: Springer Cham, 2024. – Pp. 165–169. DOI: 10.1007/978-3-031-51272-8.

17. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia // International Journal of Economics and Financial Issues. – 2016. – Vol. 6, no. S5. – P. 33–41.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING OF THE IMPACT OF SANCTIONS ON AGRICULTURE IN THE SOUTHERN FEDERAL DISTRICT OF THE RUSSIAN FEDERATION

O.S. PUCHKOVA, A.V. BABKINA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The article presents a scenario analysis of the possible consequences of the current sanctions on agriculture in the Southern Federal District of the Russian Federation. The study is based on the spatial model of partial equilibrium in the wholesale markets of agricultural products of the subjects of the Russian Federation of the Federal State Budgetary Institution “All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics named after A.A. Nikonov” – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center of Agrarian Economy and Social Development of Rural Areas – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics”. The methodology of using the results of modelling to assess the impact of sanctions on agriculture in the Southern Federal District is proposed. The main threats caused by illegal sanctions are considered: reduction of the machine and tractor fleet and barriers to the export of manufactured products. During the analysis the volumes of production and consumption of the main types of agricultural products in the Southern Federal District were studied. Conclusions are drawn on the impact of the sanctions on the region’s dependence on external supplies

of livestock products, namely: the deterioration of the agribusiness situation, violations of the reproductive process will sooner or later lead to a decline in agricultural production, which will cause instability in the situation of food supply to the population. Special attention is paid to the consideration of cash flows of the grain industry of the Southern Federal District. The possible impact of the sanctions on agricultural foreign trade is assessed in the context of scenarios. The special role of the state in overcoming agricultural crises is highlighted: financial support for local agricultural producers and the development of measures to eliminate the negative impact of export barriers. On the basis of the identified trends, the conclusions on the negative impact of the sanctions on the agricultural sector are formulated, namely: their serious negative impact on food security of the population, participants in foreign economic activity and on the financial situation of agriculture has been established.

Keywords: agricultural industry, sanctions, scenario analysis, export, import, prices, cash flows, Southern Federal District.

References

1. Afanasiev M.Yu. New landmarks for the digital economy: on the relationship between economic complexity and material well-being. *Vestnik TsEMI*. 2022;1. (In Russ.) <https://doi.org/10.33276/S265838870019868-7>
2. Babkina A.V., Puchkova O.S., Svetlova G.N. The influence of non-market forces on the balance in the markets of agricultural products of the smolensk region. *Ekonomika sel'skogo khozyajstva Rossii*. 2023;5:107–112. (In Russ.) <https://doi.org/10.32651/235-107>
3. Babkina A.V., Puchkova O.S., Osipova M.B. Optimization of logistic processes in farming by mathematical modeling methods. *International Scientific Journal*. 2022;2(83):104–109. (In Russ.) <https://doi.org/10.34286/1995-4638-2022-83-2-104-109>
4. Babkina A.V., Puchkova O.S. The role of the mechanism of government support in the transition to an innovative development model of the agro-industrial complex of the Far East. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2022;59:81–84. (In Russ.)
5. Gerasimenko O.A., Parshin A.B., Terpitskaya K.I. Analysis of activities of agricultural organisations under the influence of sanctions and the policy of import substitution using digital services. *Vestnik Akademii znaniy*. 2023;2(55):40–46. (In Russ.)
6. Kiselev S.V., Romashkin R.A., Belugin A.Yu. Russia's agri-food exports until 2030: projection from a partial equilibrium model. *Journal of the New Economic Association*. 2022;4(56):69–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2022-56-4-4>
7. Minakov I.A. State and prospects of food security in Russia. *Vserossiyskaya (natsional'naya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Bezopasnost' syr'ya i produktov pitaniya v sovremennom aspekte"*. March 23, 2023. Kurgan, Russia: Kurgan state university, 2023:176–180. (In Russ.)
8. Nuraliev S.U. The concept of the development of wholesale and retail markets and its main objectives in ensuring food security of the country. *Food Industry*. 2021;12:35–37. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.12.12.007>
9. *The use of mathematical methods in the management of agro-industrial complex in Belarus and Russia*: monograph. N.M. Svetlov, V.I. Buts (Eds). Moscow, Russia: CEMI Russian Academy of Science, 2020:177. (In Russ.) <https://doi.org/10.33276/978-5-8211-0782-4>
10. Prokop'ev M.G. Classification and methodological aspects of developing models of partial balance. PART II. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki*. 2015;7(57):83–91. (In Russ.)
11. Filatov A.I., A Gataulin.M., Svetlov N.M. et al. *Development of economic and mathematical methods, information systems and technologies in the agro-industrial*

complex of the Russian Federation: Annals of the Department of Economic Cybernetics. Irkutsk, Russia: Megaprint, 2017:161. (In Russ.)

12. Svetlov N.M., Ternovskiy D.S. Mathematical modelling of the impact of sanctions on Russian agriculture. *XV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Formirovanie organizacionno-ekonomicheskikh usloviy effektivnogo funkcionirovaniya APK". May, 25–26, 2023. Minsk, Belarus: Belorusskiy gosudarstvenniy agrarniy tekhnicheskii universitet, 2023:41–46. (In Russ.)*

13. Svetlov N.M. Modelling product markets in the age of digitalisation: experiences, prospects, obstacles. *XXV Rossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem "Tsifrovizatsiya kak vyzov sovremennosti: mezhdugumanizatsiye i degumanizatsiye". April, 12–13, 2023. Ekaterinburg, Russia: Avtonomnaya nekommercheskaya organizatsiya vysshego obrazovaniya "Gumanitarniy universitet", 2023;201–206. (In Russ.)*

14. Svetlov N.M. Estimation of climatic influence on balances of agricultural products. *Ekonomika sel'skohozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy. 2021;10:10–18. (In Russ.)* <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2021-0-10-10-18>

15. Svetlov N.M. Agricultural markets of Russian regions under climate change and climate policy (modelling results). *XXIV Vserossiyskiy simpozium "Strategicheskoe planirovanie i razvitie predpriyatiy". April 11–12, 2023. Moscow, Russia: Tsentral'niy ekonomiko-matematicheskii institut RAN, 2023;463–468. (In Russ.)* <https://doi.org/10.34706/978-5-8211-0814-2-s2-44>

16. Ibragimov A.G. et al. Food Security of Russia in the Context of International Economic Sanctions. In: *Sustainable Development of the Agrarian Economy Based on Digital Technologies and Smart Innovations. E.G. Popkova et al. (Eds). Cham: Springer Cham, 2024:165–169. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51272-8*

17. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Y., Sklyarova J.M., Latysheva L.A., Lapina H.N. Contemporary state of resource potential of agriculture in South Russia. *International Journal of Economics and Financial Issues. 2016;6 (S5):33–41.*

Информация об авторах

Пучкова Ольга Сергеевна, старший преподаватель кафедры прикладной информатики, канд. экон. наук; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: puchkova@rgau-msha.ru; тел.: (916) 625–71–00

Бабкина Анастасия Валентиновна, доцент кафедры прикладной информатики, канд. экон. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: babkina@rgau-msha.ru; тел.: (903) 126–94–72

Information about the authors

Olga S. Puchkova, CSc (Econ), Senior Lecturer at the Department of Applied Informatics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (916) 625–71–00; e-mail: puchkova@rgau-msha.ru)

Anastasia V. Babkina, CSc (Econ), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Applied Informatics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; phone: (903) 126–94–72; e-mail: babkina@rgau-msha.ru)

СОДЕРЖАНИЕ

УЧЕНЫЕ ТИМИРЯЗЕВКИ

- Макаров С.С., Раджабов А.К. Герман Иванович Тараканов (1923–2006)..... 5

АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

- Демина Н.А., Тюкавина О.Н., Воронин В.В., Наквасина Е.Н., Романов Е.М. Современное состояние почв лесных питомников таежной зоны Европейской части России..... 11

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

- Зубков А.В., Антоненко В.В., Самощеников Е.Г. Особенности цветения и формирования плодов *Juglans regia* L. с латеральным типом плодоношения в условиях Нечерноземной зоны средней полосы России..... 22
- Приходько Л.А., Сорокопудова О.А. Особенности развития видов *Verbascum* в Центральной Якутии..... 34

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

- Зайцева И.Ю., Панихина Л.В., Щенникова И.Н., Жилин Н.А. Селекционная ценность мутантных форм ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона..... 49
- Осминина Е.В., Вишнякова А.В., Эйдлин Я.Т., Мурзина Э.Р., Миронов А.А., Лисовая Д.Д., Монахов С.Г. Факторы индукции гиногенеза огурца (*Cucumis sativus* L.) в культуре семязачатков..... 63

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

- Белошапкина О.О., Писарева И.Н. Определение аналитической чувствительности и специфичности методов ПЦР для диагностики черной бактериальной пятнистости томата..... 78
- Егоров С.А., Крючков С.Н., Солонкин А.В., Соломенцева А.С., Горбушова Д.А. Использование жидких комплексных микроудобрений для роста и развития робинии псевдоакация и сосны крымской в засушливых условиях..... 95

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

- Щенникова И.Н., Панихина Л.В. Влияние засухи на развитие элементов структуры урожайности сортов ярового ячменя..... 111

ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

- Сафонова С.С., Панов В.П., Байдаров И.В. Рост и этологические особенности молоди радужной форели (*Parasalmo mykiss*, *Walbaum*) в зависимости от типа корма..... 122
- Цис Е.Ю., Дуборезов В.М., Рыков Р.А. Продуктивность и биохимический профиль крови первотелок при повышении уровня кормления..... 135
- Юлдашбаев Ю.А., Косилов В.И., Жаймышева С.С., Рахимжанова И.А., Седых Т.А. Влияние генотипа бычков на потребление и использование питательных веществ кормов рациона... 146

ЭКОНОМИКА

- Пучкова О.С., Бабкина А.В. Анализ результатов математического моделирования влияния санкций на сельское хозяйство Южного федерального округа РФ..... 154

CONTENTS

SCIENTISTS OF TIMIRYAZEV UNIVESITY

| | |
|---|---|
| <i>Makarov S.S., Radzhabov A.K. German I. Tarakanov (1923–2006)</i> | 5 |
|---|---|

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE AND ECOLOGY

| | |
|--|----|
| <i>Demina N.A., Tyukavina O.N., Voronin V.V., Nakvasina E.N., Romanov E.M.</i> Current state of soils in forest nurseries in the taiga zone of European part of Russia | 11 |
|--|----|

BOTANY, POMICULTURE

| | |
|---|----|
| <i>Zubkov A.V., Antonenko V.V., Samoshchenkov E.G.</i> Features of flowering and fruit formation of <i>Juglans regia</i> L. with the lateral type of fruiting in the conditions of the Non-Chernozem region of Central Russia | 22 |
| <i>Prihodko L.A., Sorokopudova O.A.</i> Features of development of <i>Verbascum</i> species in Central Yakutia..... | 34 |

GENETICS, BIOTECHNOLOGY, SELECTION AND SEED BREEDING

| | |
|--|----|
| <i>Zaytseva I.Yu., Panikhina L.V., Shchennikova I.N., Zhilin N.A.</i> Breeding value of mutant forms of spring barley in the conditions of the Volga-Vyatka region..... | 49 |
| <i>Osmirina E.V., Vishnyakova A.V., Eydlin Y.T., Murzina E.R., Mironov A.A., Lisovaya D.D., Monakhos S.G.</i> Factors affecting gynogenesis induction in cucumber (<i>Cucumis sativus</i> L.) through ovary culture | 63 |

AGRONOMY, CROP PRODUCTION, PLANT PROTECTION

| | |
|--|----|
| <i>Beloshapkina O.O., Pisareva I.N.</i> Determination of the analytical sensitivity and specificity of PCR methods for the diagnosis of bacterial spot of tomato..... | 78 |
| <i>Egorov S.A., Kruychikov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S., Gorbushova D.A.</i> The use of liquid complex micronutrients for the growth and development of robinia pseudoacacia and crimean pine in arid conditions | 95 |

PLANT PHYSIOLOGY, MICROBIOLOGY

| | |
|---|-----|
| <i>Shchennikova I.N., Panikhina L.V.</i> Effect of drought on the development of yield structure elements of spring barley varieties..... | 111 |
|---|-----|

LIVESTOCK BREEDING, BIOLOGY AND VETERINARY MEDICINE

| | |
|---|-----|
| <i>Safonova S.S., Panov V.P., Baydarov I.V.</i> Growth and ethological features of juvenile rainbow trout (<i>Parasalmo mykiss</i> , <i>Walbaum</i>) depending on the type of feed..... | 122 |
| <i>Tsis E.Yu., Duborezov V.M., Rykov R.A.</i> Productivity and blood biochemical profile of first-calf heifers at increasing feed levels..... | 135 |
| <i>Yuldashbayev Yu.A., Kosilov V.I., Zhaymysheva S.S., Rakhimzhanova I.A., Sedykh T.A.</i> Effect of the genotype of bull calves on the consumption and use of nutrients in the diet.... | 146 |

ECONOMY

| | |
|--|-----|
| <i>Puchkova O.S., Babkina A.V.</i> Analysis of the results of mathematical modeling of the impact of sanctions on agriculture in the Southern Federal District of the Russian Federation | 154 |
|--|-----|

Журнал «ИЗВЕСТИЯ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ»

e-mail: izvtsha@rgau-msha.ru

тел.: (499) 976-07-48

Подписано в печать 16.06.2024 г. Формат 70×100/16 Бумага офсетная

Гарнитура шрифта «Times New Roman» Печать офсетная. 10,5 печ. л.

Тираж 500 экз.

Отпечатано в ООО «ЭйПиСиПублишинг»

127550, г. Москва, Дмитровское ш., д. 45, корп. 1, оф. 8

Тел.: (499) 976-51-84