

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
5
сентябрь–октябрь

Москва
Издательство РГАУ-МСХА
2022

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**; 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**; 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.Т. 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, 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., доцент **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**;
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., д.э.н., доцент **В.П. Чайка**; профессор **В.А. Черников**;
д.т.н., профессор **И.Н. Шилов** (Беларусь); д.с.-х.н., профессор **А.С. Шуваринов**;
д.с.-х.н., профессор, академик РАН **Ю.А. Юлдашбаев**

Редакция

Научный редактор – **Р.А. Мигунов**

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 базу данных AGRIS
и в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Правила оформления научных статей для опубликования в журнале «Известия ТСХА»
размещены в Интернете (<https://www.timacad.ru/about/struktura-universiteta/izdaniia/zhurnal-izvestiia-tskha>)

Плата с аспирантов за публикацию статей не взимается

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022

© Издательство РГАУ-МСХА, 2022

ISSN 0021-342X

IZVESTIYA

of

Timiryazev Agricultural Academy

Scientific–theoretical Journal
of Russian Timiryazev State Agrarian University

Results of experimental, theoretical and methodical investigations
into different spheres of agricultural science and practice
carried out in various natural–economic zones
of the country are published in the journal

Founded in 1878
6 issues per year

Issue

5

September–October

Moscow
Publishing house of Russian Timiryazev State Agrarian University
2022

EDITOR-IN-CHIEF: Prof. **Vladimir I. Trukhachev**, Dr. of Economics,
Dr. of Agricultural sciences, Member of RAS

EDITORIAL BOARD

Prof. **Sergei L. Belopukhov**, DSc (Ag); **R. Valentini**, Professor Italy;
Prof. **Ivan I. Vasenev**, DSc (Bio); Prof. **Rafkat S. Gaysin**, DSc (Econ);
Prof. **Aleksei V. Golubev**, DSc (Econ); Prof. **S.A. Grikshas**, DSc (Ag);
Prof. **Zh. Danailov**, DSc (Ag) Bulgaria; Prof. **F.S. Dzhililov**, DSc (Bio); Prof. **D.A. Djukic**, Serbia;
Prof. **N.N. Dubenok**, DSc (Ag), Member of the Russian Academy of Sciences;
Prof. **G.P. Dulger**, DSc (Vet); Prof. **A.A. Ivanov**, DSc (Bio);
Prof. **V.I. Kiryushin**, DSc (Bio), Member of the Russian Academy of Sciences;
Prof. **V.N. Korzun**, DSc (Bio), Germany; Prof. **R.T. Kuzmich**, DSc (Vet), Belarus;
Prof. **Ya.V. Kuzyakov**, DSc (Bio), Germany; Prof. **N.N. Lazarev**, DSc (Ag); Prof. **V.I. Leunov**, DSc (Ag);
Prof. **Vyacheslav M. Lukomets**, DSc (Ag), Member of the Russian Academy of Sciences;
Prof. **D.A. Melnichuk**, DSc (Bio), Member of NASU and NAASU, Ukraine;
R.A. Migunov, PhD (Econ), PhD MSU; **G.F. Monakhos**, PhD (Ag);
Assoc. Prof. **S.G. Monakhos**, DSc (Ag); Prof. **V.D. Naumov**, DSc (Bio);
Prof. **V.A. Panfilov**, DSc (Eng), Member of the Russian Academy of Sciences;
Prof. **S.Ya. Popov**, DSc (Bio); Prof. **N.M. Przhevalskiy**, DSc (Chem);
Prof. **A.K. Radzhabov**, DSc (Ag); Prof. **G.V. Rodionov**, DSc (Ag); Prof. **V.S. Rubets**, DSc (Bio);
Prof. **N.M. Svetlov**, DSc (Econ), Corr. Member of the Russian Academy of Sciences;
Assoc. Prof. **O.V. Selitskaya**, PhD (Bio); Prof. **Aleksandr A. Soloviev**, DSc (Bio);
Prof. **I.G. Tarakanov**, DSc (Bio); Prof. **S.P. Torshin**, DSc (Bio); Prof. **S.V. Fedotov**, DSc (Vet);
Prof. **Lyudmila I. Khrustaleva**, DSc (Bio); Assoc. Prof. **Valeriya P. Chayka**, DSc (Econ);
Prof. **V.A. Chernikov**, DSc (Ag); Prof. **I.N. Shilo**, DSc (Eng), Belarus; Prof. **A.S. Shuvarikov**, DSc (Ag);
Prof. **Yu.A. Yuldashbayev**, DSc (Econ), Member of RAS

EDITORIAL STAFF

Scientific editor – **R.A. Migunov**
Editor – **V.I. Markovskaya**
Translation into English – **N.A. Sergeeva**
Computer design and making-up – **A.S. Lavrova**

The journal is included in the list of both leading scientific journals
and publications under review of VAK (Higher Attestation Commission)

The journal is also included in both AGRIS database
and in Russian index of scientific quoting (RINTS)

Rules of scientific articles typography for publishing in the journal “Izvestiya of TAA” are put on the internet
at this address (<https://www.timacad.ru/about/struktura-universiteta/izdaniia/zhurnal-izvestiia-tskha>)

No fee is charged from postgraduates for publications

ОЦЕНКА ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ
НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА ПОСЛЕ БИОРЕМЕДИАЦИИ

Т.В. МИННИКОВА, А.С. РУСЕВА, С.И. КОЛЕСНИКОВ

(Южный федеральный университет)

Оценка экологического состояния почв по показателям ферментативной активности при ремедиации нефтяного загрязнения является весьма информативной. Активность ферментов классов оксидоредуктаз и гидролаз в черноземе наиболее чувствительна при загрязнении тяжелыми металлами, пестицидами и при других видах антропогенного воздействия. Информативность и чувствительность ферментов при ремедиации нефтезагрязненных почв изучены в недостаточной степени. Была изучена активность 7 ферментов классов оксидоредуктаз и гидролаз почвы, загрязненной нефтью после применения биочара, гумата натрия, нитроаммофоса и «Байкала ЭМ-1». Через 90 сут. от момента внесения ремедиантов в почву оценивали ферментативную активность почв по изменению активности каталазы, дегидрогеназ, пероксидаз, ферриредуктаз, инвертазы, уреазы и фосфатазы. Оценивали интегральный показатель биологической активности почв (ИПБА) и среднее геометрическое ферментативной активности почв по классам оксидоредуктаз ($GMea(OX)$) и гидролаз ($GMea(HD)$). При ремедиации нефтезагрязненного чернозема стимулирующее воздействие на активность оксидоредуктаз и гидролаз почвы оказывает концентрация $D_{0,5}$ биочара и «Байкала ЭМ-1», а на активность нитроаммофоса и гумата натрия – D_2 . При дозе $D_{0,5}$ нитроаммофоса и биочара установлена максимальная стимуляция ИПБА относительно контроля и нефтезагрязнения. Внесение нитроаммофоса стимулировало активность 3 из 7 ферментов, а внесение биочара стимулировало активность 5 из 7 ферментов относительно нефтезагрязнения. Наибольшая эффективность нитроаммофоса в большей степени обусловлена чрезмерной стимуляцией активности уреазы чернозема обыкновенного. Значения средних геометрических ферментативной активности ($GMea$) оксидоредуктаз и гидролаз были простимулированы относительно контроля при дозе $D_{0,5}$ каждого ремедианта. Ряд чувствительности ферментов нефтезагрязненного чернозема после внесения ремедиантов от наиболее чувствительного к наименее: ферриредуктазы > пероксидазы > уреазы > фосфатазы > дегидрогеназы > инвертазы > каталаза. По степени восстановления ферментативной активности почв ремедианты можно расположить в следующем порядке, % от нефтезагрязнения: нитроаммофос > биочар > гумат натрия > «Байкал ЭМ-1». При ремедиации нефтезагрязненного чернозема наиболее стимулирующее воздействие на активность оксидоредуктаз и гидролаз почвы оказывает ремедиант в концентрации $D_{0,5}$. Для биодиагностики экологического состояния нефтезагрязненных черноземных почв рекомендуем использовать активность ферриредуктаз, пероксидаз, уреазы и фосфатазы.

Ключевые слова: загрязнение, черноземная почва, биочар, гумат натрия, нитроаммофос, «Байкал ЭМ-1», оксидоредуктазы, гидролазы, интегральный показатель биологической активности, среднее геометрическое ферментативной активности, биодиагностика, устойчивость почв.

Введение

Состояние нефтезагрязненных почв после ремедиации требует контроля не только содержания нефти, но и биологических показателей, характеризующих ее экологическое состояние [1–5]. Поэтому наряду с физико-химическими и химическими показателями важно оценивать биохимические свойства загрязненных почв – в частности, ферментативную активность [6, 7]. Информативность и чувствительность ферментов при загрязнении тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами при неправильной агротехнической нагрузке и других видах антропогенного воздействия были изучены ранее [8–14]. Однако недостаточными являются исследования по оценке восстановления ферментативной активности нефтезагрязненной почвы после применения ремедиантов.

Ферменты классов оксидоредуктаз, гидролаз и трансфераз почв участвуют в основных процессах гумификации почв и катализируют перенос отдельных радикалов, частей молекул и целых молекул с одних соединений на другие [14–18]. В связи с этим высокая ферментативная активность – это важный показатель экологического состояния и плодородия почвы. Ферменты в почве осуществляют функциональные связи между всеми звеньями экосистемы [19, 20]. При загрязнении почв нефтью и нефтепродуктами плодородие почв снижается в связи с нарушением физико-химического состояния и экосистемных функций почвы [21–24].

При нефтяном загрязнении почв происходит смещение равновесия между углеродом и азотом за счет привноса углерода нефти. Изменение соотношения между C: N влияет, в том числе, на процессы нитрификации в почве, течение циклов углерода, фосфора и азота. Ферменты отвечают за превращения в цикле углерода (инвертаза, амилаза, глюкозидаза), азота (уреаза, амидаза) и фосфора (фосфатаза) [25–29]. В связи с этим использование показателей ферментативной активности почв для оценки состояния и степени восстановления после загрязнения является достаточно эффективным.

Цель исследований: оценить ферментативную активность нефтезагрязненного чернозема после ремедиации. Для реализации цели были поставлены следующие задачи: 1) оценить активность почвенных ферментов из класса оксидоредуктаз и гидролаз в опытном черноземе обыкновенном; 2) провести оценку применимости каждого ремедианта в трех дозировках по интегральным показателям биологической активности чернозема (ИПБА); 3) проанализировать степень восстановления ферментативной активности почв каждого класса по среднему геометрическому ферментов класса оксидоредуктаз (GMea(OX)) и гидролаз (GMea(HD)).

Материал и методика исследований

Для оценки ферментативной активности чернозема после ремедиации моделировали лабораторный эксперимент. Почва – чернозем обыкновенный (пашня, 0–20 см, Ботанический сад Южного федерального университета). Для оценки состояния нефтезагрязненной почвы (5% нефти от массы почвы) по показателям ферментативной активности исследовали внесение биочара (5% от массы почвы), нитроаммофоса (0,2% от массы почвы), гумата натрия (0,5% раствор) и «Байкал ЭМ-1» (2%-ный раствор). Дозировки ремедиантов взяты из рекомендаций к применению веществ и по авторской методике: рекомендуемая концентрация (D_1), в 2 раза меньше от рекомендуемой ($D_{0,5}$) и в 2 раза больше рекомендуемой (D_2).

Для проведения лабораторно-аналитических исследований использовали стандартные в экологии и биологии почв методы [30]. Оценку ферментативной активности проводили по активности следующих ферментов: активность каталазы (по А.Ш. Галстяну, волнометрическим способом), активность дегидрогеназ (по А.Ш. Галстяну, с фотокolorиметрическим окончанием), активность инвертазы (по Ф.Х. Хазиеву, с фотокolorиметрическим

окончанием), активность пероксидаз (по Л.А. Карягиной, Н.А. Михайловой, с фотоколориметрическим окончанием), активность ферриредуктаз (по А.Ш. Галстяну, Н.А. Оганесяну, с фотоколориметрическим окончанием), активность фосфатазы (по А.Ш. Галстяну и Э.А. Арутюнян), активность уреазы (по Ф.Х. Хазиеву).

Таблица 1

Методы определения ферментативной активности почв [30]

№	Название фермента	Классификация	Метод определения, единицы измерения
1	Активность каталазы	H_2O_2 ; H_2O_2 – оксидоредуктаза, КФ 1.11.1.6	Волюметрический метод по скорости разложения перекиси водорода, мл O_2 в 1 г почвы за 1 мин
2	Активность дегидрогеназ	субстрат: НАД (Ф) – оксидоредуктаза, КФ 1.1.1	По интенсивности восстановления в анаэробных условиях трифенилтетразолия хлористого (ТТХ) до трифенилформазанов (ТФФ), мг ТФФ в 10 г почвы за 24 ч
3	Активность пероксидаз	донор: H_2O_2 – оксидоредуктаза, КФ 1.11.1.7	Колориметрическим методом по окислению гидрохинона в хиноны, мг 3,4 бензохинона в 1 г почвы за 30 мин
4	Активность ферриредуктаз	НАД (Ф) $\times H_2$: Fe_2O_3 – оксидоредуктазы, КФ 1.6.99	Колориметрическим методом по количеству восстановленного трехвалентного железа, мг Fe_2O_3 в 100 г почвы за 48 ч
5	Активность инвертазы	β -фруктофуранозидаза, сахараза, КФ 3.2.1.26	Колориметрическим методом по изменению содержания редуцирующих сахаров, мг глюкозы в 1 г почвы за 24 ч
6	Активность фосфатазы	фосфогидролазы моноэфиров ортофосфорной кислоты, КФ 3.1.3.1–2	Колориметрическим методом по изменению содержания нитрофенолов с образованием органического фосфора и минеральных субстратов, мкг п-нитрофенола в 1 г почвы за 1 ч
7	Активность уреазы	карбамид – амидогидролаза, КФ 3.5.1.5	Гидролиз карбамида до аммиака и углекислого газа, мг NH_3 в 10 г почвы за 24 ч

По усредненным значениям активности всех почвенных ферментов (активности каталазы, дегидрогеназ, пероксидаз, ферриредуктаз, инвертазы, фосфатазы, уреазы) рассчитывали интегральный показатель биологической активности почв (ИПБА) по формуле 1 [21]:

$$ИПБА = \frac{A_1}{A_{1\text{ контр}}} \times 100\%. \quad (1)$$

Рассчитывали среднее геометрическое ферментативной активности (GMea) по формуле 2 и 3 [31]:

$$A_1 = \frac{A_{\text{оп}}}{A_{\text{контр}}} \times 100\%, \quad (2)$$

где $A_1, A_2 \dots A_n$ – относительные баллы для каждого из показателей ферментативной активности, %. Итоговый расчет GMea представлен по формуле 3:

$$GMea = \sqrt[n]{A_1 + A_2 + \dots + A_n}. \quad (3)$$

Комплексный характер показателя GMea позволяет оценить отклик ферментов разных классов, что отражает совокупность происходящих в почве процессов восстановления или деградации. Этот показатель наряду с ИПБА можно использовать для биоиндикации и оценки состояния почв при различных видах антропогенной нагрузки [13, 21, 32].

Статистическая обработка полученных данных была проведена с использованием программного пакета Statistica 12.0. Средние значения и дисперсия были определены, а надежность различных образцов установлена с использованием дисперсионного анализа (Student t-test).

Результаты и их обсуждение

Изменение активности оксидоредуктаз. Активность каталазы и дегидрогеназ загрязненной почвы при внесении биочара D_1 достоверно не отличалась от контроля по сравнению с $D_{0,5}$ и D_2 (рис. 1). Активность пероксидаз и ферриредуктаз была простимулирована для биочара Д на 39 и 13% относительно контроля. Гумат натрия и «Байкал ЭМ-1» в любой концентрации благотворно влияли на активность всех изученных оксидоредуктаз, кроме ферриредуктаз, для которых дозы $D_{0,5}$ и D_2 гумата натрия и дозы $D_{0,5}$ и D_1 «Байкала ЭМ-1» ингибировали на 40–90% относительно контроля. «Байкал ЭМ-1» в дозах D_1 и D_2 оказывал ингибирующее воздействие на активность дегидрогеназ на 11 и 16% соответственно.

При внесении биочара в нефтезагрязненный чернозем стимуляцию активности каталазы, пероксидаз и ферриредуктаз наблюдали при рекомендуемой дозе биочара D_1 . Однако активность пероксидаз также была на уровне контроля и больше контроля при дозах биочара $D_{0,5}$ и D_2 . Стимулирующее воздействие оказывал нитроаммофос на активность ферриредуктаз при дозах $D_{0,5}$ и D_2 относительно нефтезагрязнения (до уровня контроля). Активность каталазы и дегидрогеназ была простимулирована при D_2 нитроаммофоса на 18 и 27%. Гумат натрия стимулировал активность пероксидаз при любой дозе до уровня контроля на 13% выше, чем при нефтезагрязнении. Стимуляция активности ферриредуктаз при D_2 гумата натрия на 18% выше, чем в контроле, и на 114% выше, чем при нефтезагрязнении. Гумат стимулировала активность каталазы и дегидрогеназ при дозе $D_{0,5}$ на 11 и 10% относительно нефтезагрязнения. «Байкал ЭМ-1» в дозах $D_{0,5}$ и D_2 стимулировал активность пероксидаз до уровня контроля и на 20% выше, чем в контроле, соответственно. Активность каталазы нефтезагрязненного чернозема «Байкал ЭМ-1» ингибировала. Активность дегидрогеназ была простимулирована при $D_{0,5}$ и D_1 «Байкал ЭМ-1» на 8–10%.

По чувствительности ферментов-оксидоредуктаз нефтезагрязненного чернозема после внесения ремедиантов был составлен ряд (от наиболее чувствительного к наименее чувствительному): *ферриредуктазы > пероксидазы > дегидрогеназы > каталаза*.

Самая высокая способность к восстановлению при добавлении в нефтезагрязненную почву обнаружена по активности ферриредуктаз, пероксидаз и дегидрогеназ. Активность ферриредуктаз непосредственно связана с концентрацией оксидов железа в почве и содержанием тяжелых металлов как примесей в нефти [33–36]. При внесении биочара, нитроаммофоса и «Байкала ЭМ-1» установлена стимуляция активности ферриредуктаз – вероятно, за счет снижения мобильности тяжелых металлов в нефти и повышения скорости разложения токсичных составляющих нефти микробиотой.

Пероксидазы и дегидрогеназы отвечают за превращение циклов углерода в почве и синтез гумусовых веществ. Поэтому при снижении содержания углерода из нефтепродуктов при внесении биоремедиантов, в частности, биочара «Байкала ЭМ-1» и гумата натрия, активность этих ферментов стимулируется. После внесения ремедиантов снижается содержание нефтяных углеводов, вследствие чего, по данным Н.А. Киреевой и Е.И. Новоселовой, происходит стимуляция активности пероксидаз и полифенолоксидаз [16, 37].

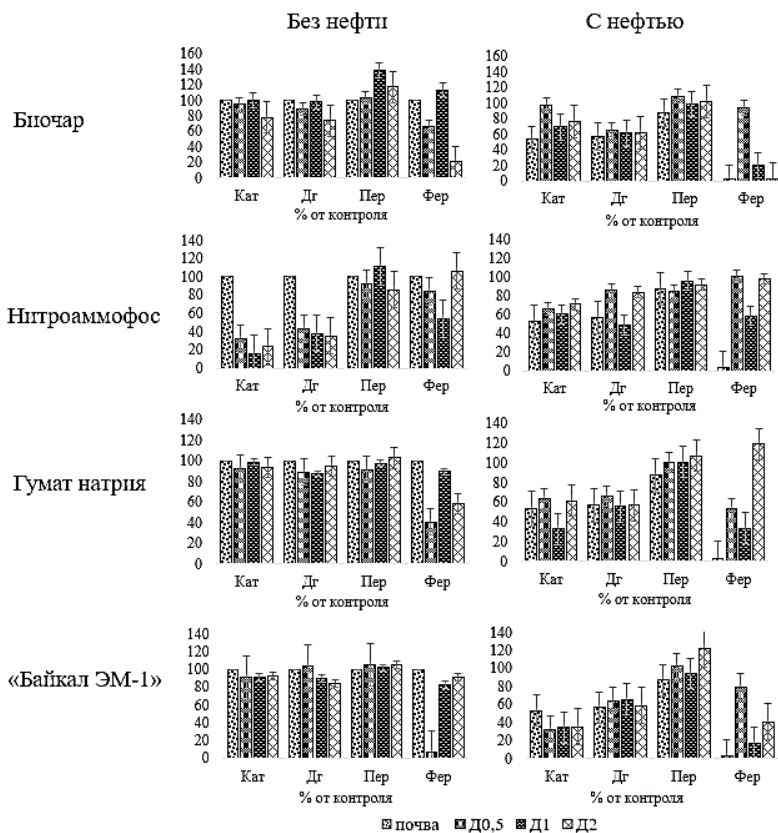


Рис. 1. Изменение активности оксидоредуктаз чернозема обыкновенного (без нефти и с нефтью) после ремедиации биочаром, нитроаммофосом, гуматом натрия и «Байкалом ЭМ-1», % от контроля:
 Кат – активность каталазы; Дг – активность дегидрогеназ; Пер – активность пероксидаз; Фер – активность ферриредуктаз

По данным Н.М. Исмаилова с соавт. (1984), почвенные дегидрогеназы чувствительны к нефтяному загрязнению и поэтому ингибируются в наибольшей степени не самими углеводородами, а продуктами их деградации, которые могут аккумулироваться в почве [38]. В связи с этим снижение концентрации продуктов распада углеводородов в почве после добавления ремедиантов служит источником стимуляции дегидрогеназной активности [5, 16].

Изменение активности гидролаз. Активность инвертазы при внесении биочара и «Байкала ЭМ-1» в концентрации $D_{0.5}$ в незагрязненную почву не отличалась от контроля (рис. 2). «Байкал ЭМ-1» в дозе D_1 стимулировал активность фермента на 35% выше, чем в контроле. Активность фосфатазы не отличалась от контроля после внесения биочара D_1 , D_2 и гумата натрия. Активность уреазы была простимулирована только при внесении доз гумата натрия $D_{0.5}$ и D_1 на 44 и 13% относительно контроля. При дозе гумата натрия D_2 наблюдали ингибирование активности фермента на 15% относительно контроля.

В нефтезагрязненной почве наблюдали ингибирование активности гидролаз. При внесении биочара $D_{0.5}$ активность фосфатазы и уреазы была простимулирована на 33% и до уровня контроля соответственно. Гумат натрия $D_{0.5}$ стимулировал активность уреазы до уровня контроля. Внесение нитроаммофоса в нефтезагрязненный чернозем стимулировало активность уреазы в 4.2, 3.5 и 2.0 раза выше при дозах $D_{0.5}$, D_1 и D_2 соответственно. Среди ферментов класса гидролаз в нефтезагрязненного чернозема наибольшее

ингибирование обнаружено активности инвертазы – на 30–80% ниже контроля. Относительно нефтезагрязнения активность инвертазы была простимулирована при внесении биочара и нитроаммофоса дозы $D_{0,5}$, гумата натрия и «Байкала ЭМ-1» дозы $D_{0,5}$ на 40–69% относительно нефтезагрязнения.

Высокая чувствительность уреазы при оценке воздействия нефтезагрязненной почвы на биохимические свойства почвы была оценена в ряде исследований ранее [22, 39, 40]. Активность уреазы непосредственно связана с образованием аммиака и углекислого газа как следствие гидролиза мочевины. При загрязнении почв нефтью соотношение между углеродом и азотом смещается, и активность уреазы зависит от роста численности аммонифицирующих микроорганизмов [39, 41].

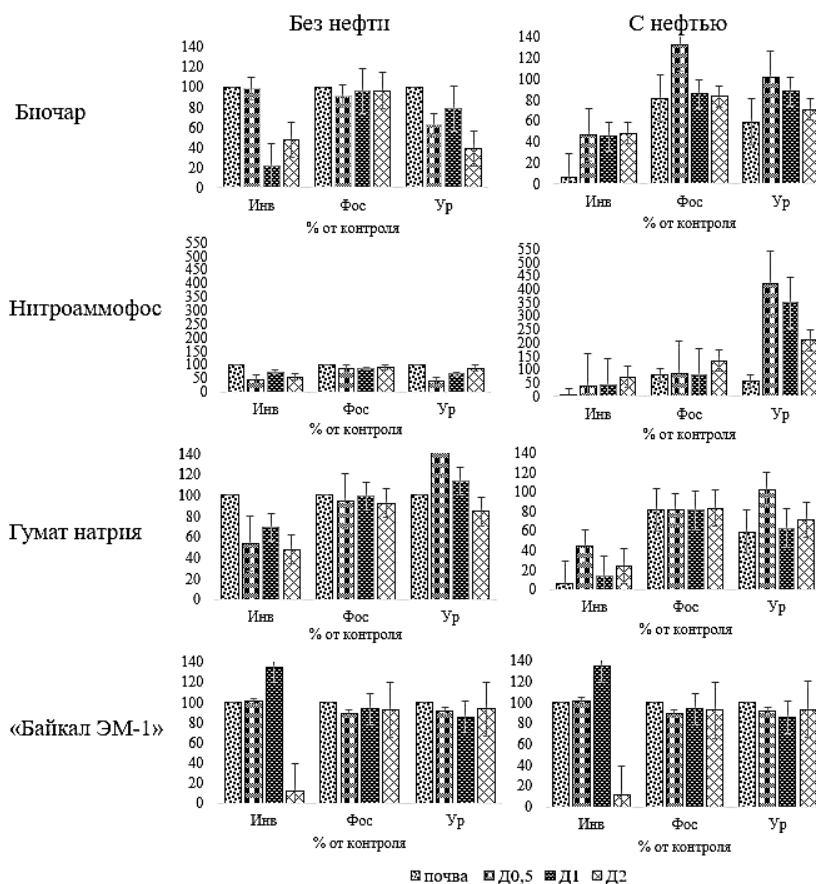


Рис. 2. Изменение активности гидролаз чернозема обыкновенного (без нефти и с нефтью) после ремедиации биочаром, нитроаммофосом, гуматом натрия и «Байкал ЭМ-1», % от контроля: Инв – активность инвертазы; Фос – активность фосфатазы; Ур – активность уреазы

По чувствительности ферментов-гидролаз при внесении ремедиантов был составлен ряд: уреазы > фосфатаза > инвертаза.

При добавлении биочара $D_{0,5}$ в нефтезагрязненную почву активность уреазы и фосфатазы значительно увеличилась относительно почвы с нефтью без ремедиантов. При внесении нитроаммофоса обнаружена ожидаемая стимуляция активности уреазы за счет привноса соединений азота и стимуляции азотфиксирующих и аммонифицирующих бактерий. Как изучено профессором И.М. Габбасовой, при всех уровнях загрязнения нефтью и при сочетании типов загрязнителей активность инвертазы

ингибируется [42]. При этом чем больше углерода нефтепродуктов и сухого остатка, тем ниже активность инвертазы [43].

Среди изученных ферментов чернозема после внесения ремедиантов по степени чувствительности к нефтяному загрязнению построен ряд (от наиболее чувствительно-го к наименее): *ферриредуктазы* > *пероксидазы* > *уреаза* > *фосфатаза* > *дегидрогеназы* > *инвертаза* > *каталаза*.

Таким образом, активность некоторых оксидоредуктаз и гидролаз (ферриредуктаз, пероксидаз, уреазы, дегидрогеназ) подвержена наибольшему ингибированию при нефтяном загрязнении и может служить основным диагностическим показателем состояния и восстановления почв.

Изменение индекса интегральной биологической активности чернозема. Интегральный показатель биологической активности чернозема (ИПБА) был рассчитан по значениям активности 7 ферментов для каждого варианта эксперимента. При внесении биоремедиантов в незагрязненную почву наблюдали снижение активности ферментов, выраженное через ИПБА на 13–40% (рис. 3). Наибольшее ингибирование активности ферментов обнаружено после внесения нитроаммофоса. Остальные ремедианты ингибировали активность менее значительно относительно контроля.

Установлено, что при загрязнении нефтью ферментативная активность почв снижается на 50% ниже контроля. При внесении в почву биочара ингибирование ИПБА было простимулировано на 44% относительно загрязнения, до уровня контроля. Внесение гумата натрия и «Байкала ЭМ-1» позволило простимулировать ИПБА на 23 и 13% от нефтезагрязнения. Внесение нитроаммофоса простимулировало активность ферментов в нефтезагрязненной почве на 26% выше контроля. Это обусловлено в большей степени повышенными значениями активности уреазы, чем долей вклада от активности других ферментов.

По степени восстановления ферментативной активности почв ремедианты располагают в следующем порядке, % от нефтезагрязнения: *нитроаммофос* > *биочар* > *гумат натрия* > «Байкал ЭМ-1».

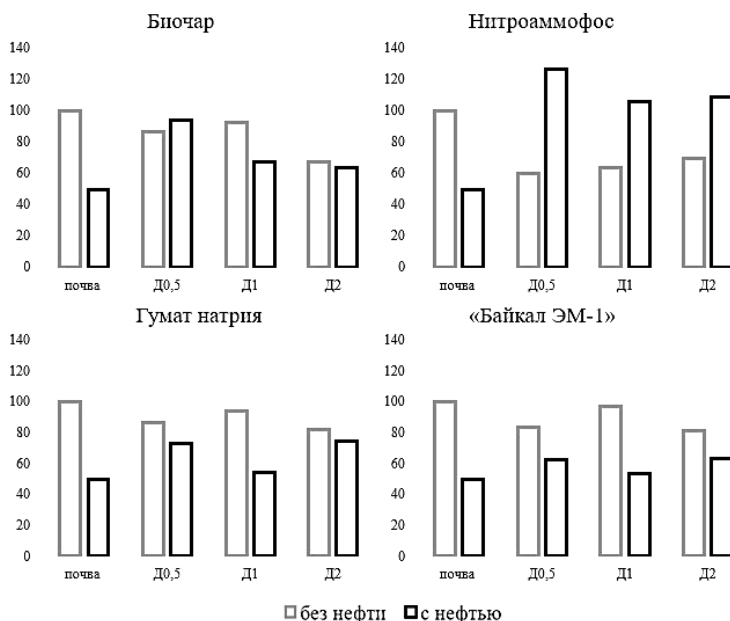


Рис. 3. Интегральный показатель биологической активности чернозема обыкновенного (без нефти и с нефтью) после ремедиации биочаром, нитроаммофосом, гуматом натрия и «Байкалом ЭМ-1», % от контроля

Наибольшую степень восстановления ферментативной активности почв обеспечивал нитроаммофос: в частности, стимуляция активности уреазы в 4 раза больше, чем активность остальных ферментов. При дозе $D_{0,5}$ нитроаммофоса и биочара установлена максимальная стимуляция ИПБА относительно контроля и нефтезагрязнения. Внесение нитроаммофоса стимулировало активность 3 из 7 ферментов, а внесение биочара – активность 5 из 7 ферментов относительно нефтезагрязнения.

Ранжирование ферментов по степени восстановления почвы после применения биочара представлено как *инвертаза < дегидрогеназы < ферриредуктазы < каталаза < уреазы < пероксидазы < фосфатаза*.

Применение биочара способствует восстановлению активности инвертазы, дегидрогеназ, ферриредуктаз и каталазы.

Таким образом, активность ферментов класса оксидоредуктаз более чувствительна, чем активность гидролаз, быстрее реагирует на внесение ремедиантов и изменение экологического состояния почвы.

Изменение среднего геометрического ферментативной активности (GMea). Среднее геометрическое рассчитывали для каждого класса ферментов: оксидоредуктаз и гидролаз (рис. 4). Установлено, что среднее геометрическое по активности оксидоредуктаз (GMea (OX)) на черноземе с биочаром $D_{0,5}$ было более эффективным, чем другие дозы. Для среднего геометрического по активности гидролаз (GMea (HD)) более эффективны дозы биочара $D_{0,5}$ и D_1 . Нитроаммофос при дозах $D_{0,5}$ и D_1 способствовал восстановлению активности оксидоредуктаз, а при дозе $D_{0,5}$ – восстановлению активности гидролаз. Такую же тенденцию восстановления активности оксидоредуктаз (GMea (OX)) наблюдали после внесения $D_{0,5}$ гумата натрия и «Байкала ЭМ-1». Для среднего геометрического активности гидролаз (GMea (HD)) после внесения $D_{0,5}$ гумата натрия и «Байкала ЭМ-1» установлено значение на уровне контроля.

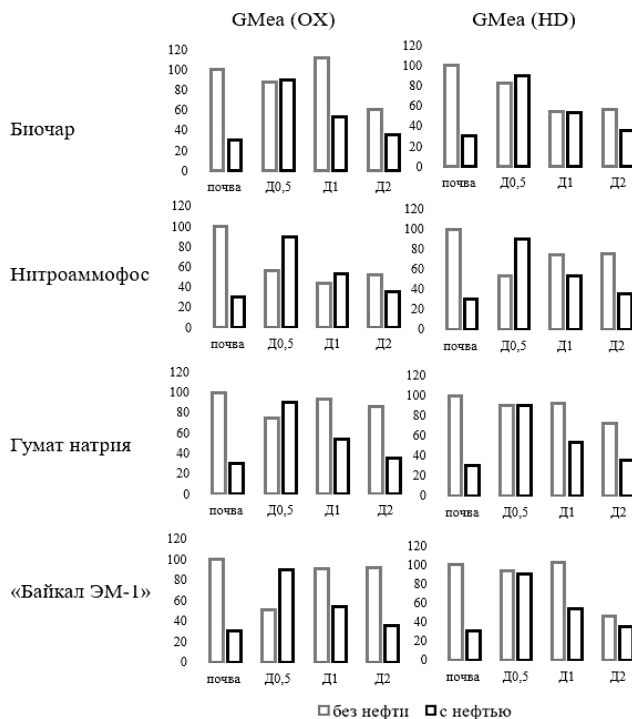


Рис. 4. Изменение среднего геометрического ферментативной активности чернозема обыкновенного (без нефти и с нефтью) после ремедиации биочаром, нитроаммофосом, гуматом натрия и «Байкалом ЭМ-1»

Таким образом, при ремедиации нефтезагрязненного чернозема наиболее стимулирующее воздействие на активность оксидоредуктаз и гидролаз почвы оказывает концентрация каждого ремедианта в концентрации $D_{0,5}$. При этом стимуляция активности оксидоредуктаз и гидролаз достигнута в D_1 , но с меньшей интенсивностью восстановления относительно контроля.

Выводы

Активность гидролаз и оксидоредуктаз подвержена наибольшему ингибированию при нефтяном загрязнении и может служить основным диагностическим показателем состояния и восстановления черноземных почв после применения ремедиантов. Среди показателей ферментативной активности наиболее чувствительными среди ферментов класса оксидоредуктаз являются ферриредуктазы и пероксидазы, среди ферментов класса гидролаз – уреазы и фосфатазы. Стимуляция активности оксидоредуктаз и гидролаз достигнута в D_1 , но с меньшей интенсивностью восстановления относительно контроля.

При ремедиации нефтезагрязненного чернозема стимулирующее воздействие на активность оксидоредуктаз и гидролаз почвы оказывает концентрация $D_{0,5}$ биочара и «Байкала ЭМ-1», а нитроаммофоса и гумата натрия – D_2 . Значения средних геометрических ферментативной активности (GMea) оксидоредуктаз и гидролаз были простимулированы относительно контроля при дозе $D_{0,5}$ каждого ремедианта. Полученные в исследованиях результаты позволяют использовать показатели активности почвенных ферментов как информативный диагностический показатель восстановления экологического состояния нефтезагрязненных черноземных почв после ремедиации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-175.2022.5), проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории «Агробιοтехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции» в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России (ЛабНОЦ-21-01АБ) и при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») (№ СП-12-22-10).

Библиографический список

1. Ahmad A.A., Muhammad I., Shah T., Kalwar Q., Zhang J., Liang Z., Du M., Juanshan Z., Yan P., Ding X., Rui-Jun L. Remediation Methods of Crude Oil Contaminated Soil // World Journal of Agriculture and Soil Science. – 2020. <https://doi.org/10.33552/WJASS.2020.04.000595>
2. Mambwe M., Kalebaila K.K., Johnson T. Remediation technologies for oil contaminated soil // Global J. Environ. Sci. Manage. – 2021. – Vol. 7 (3). – Pp. 419–438.
3. Бабаев М.П., Исмаилов Н.М., Наджафова С.И., Кейсерухская Ф.Ш., Оруджева Н.И. К вопросу о разработке ПДК нефти и нефтепродуктов в различных типах почв на основе их ассимиляционного потенциала (на примере почв Азербайджана) // Почвоведение. – 2020. – № 11. – С. 1393–1400. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20110040>
4. Гасымова А.С., Исмаилов Н.М., Панахова А.А. Биоадсорбенты и биологически активные соединения в биотехнологиях реабилитации нефтезагрязненных почв и водоемов Апшеронского полуострова // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 1. – С. 6–9.
5. Исмаилов Н.М., Гасымова А.С. Самоочищающая способность почв от нефти и нефтепродуктов в зависимости от структуры углеводов // Аридные экосистемы. – 2016. – 22. – № 4 (69). – С. 73–80.

6. Wyszowska J., Wyszowski M. Activity of soil dehydrogenases, urease and acid and alkaline phosphatases in soil polluted with petroleum // J. Toxicol. Environ. Health. – 2010. – Vol. 73. – Pp. 1202–1204.
7. Поляк Ю.М., Сухаревич В.И. Почвенные ферменты и загрязнение почв: биодegradация, биоремедиация, биоиндикация // Агрохимия. – 2020. – № 3. – С. 83–93. <https://doi.org/10.31857/S0002188120010123>
8. Bakina L.G., Polyak Y.M., Gerasimov A.O., Mayachkina N.V., Chugunova M.V., Khomyakov Y.V., Vertebny V.A. Mutual effects of crude oil and plants in contaminated soil: a field study // Environ Geochem Health. – 2022. – № 44. – P. 69–82. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00973-4>
9. Feyzia H., Choroma M., Bagheribc G. Urease activity and microbial biomass of carbon in hydrocarbon contaminated soils. A case study of cheshmeh-khosh oil field, Iran // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2020. – Vol. 199:110664. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110664>
10. Kobierski M., Lemanowicz J., Wojewódzki P., Kondratowicz-Maciejewska K. The Effect of Organic and Conventional Farming Systems with Different Tillage on Soil Properties and Enzymatic Activity // Agronomy. – 2020. – № 10:1809. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111809>
11. Kulikova O., Mazlova E., Terekhova V., Karnaeva A., Malina N., Smirnova T. Surfactant-enhanced treatment of oil-contaminated Arctic tundra soil: Ecotoxicological assessment // Environmental Technology & Innovation. – 2021. – Vol. 23:101570. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101570>
12. Polyak Y., Bakina L., Polyak M., Mayachkina N.V., Gerasimova A.O., Bureb V.M. The possible role of toxigenic fungi in ecotoxicity of two contrasting oil-contaminated soils – A field study // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2018. – № 126. – Pp. 57–68. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.10.004>
13. Mokrikov G., Minnikova T., Kazeev K., Kolesnikov S. Use of soil enzyme activity in assessing the effect of no-till in the south of Russia // Agronomy Research. – 2021. – Vol. 19. – № 1. – Pp. 171–184. <https://doi.org/10.15159/AR.20.240>
14. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка ферментативной активности черноземов Ростовской области под бинарными посевами подсолнечника // Известия ТСХА. – 2017. – № 6. – С. 141–155. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2017-6-141-155>
15. Dick R.P. Soil Enzyme Activities as Indicators of Soil Quality // Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. – 2015. – Pp. 107–124. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35>
16. Новосёлова Е.И., Куреева Н.А. Ферментативная активность почв в условиях нефтяного загрязнения и ее биодиагностическое значение // Теоретическая и прикладная экология. – 2009. – № 2. – С. 4–12.
17. Минникова Т.В., Колесников С.И., Денисова Т.В. Влияние азотных и гуминовых удобрений на биохимическое состояние нефтезагрязненного чернозема // Юг России: экология, развитие. – 2019. – Vol. 14 (2). – С. 189–201. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-2-189-201>
18. Руденко Е.Ю. Влияние отходов пивоварения на ферментативную активность нефтезагрязненной черноземной почвы // Теоретическая и прикладная экология. – 2011. – № 3. – С. 60–64.
19. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. – М.: Наука, 1982. – 204 с.
20. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. – 2018. – Т. 1, № 2. – С. 80–92.
21. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters // Environmental Monitoring and Assessment. – 2019. – № 191. – P. 544–550. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7718-3>

22. Minnikova T., Kolesnikov S., Minkina T., Mandzhieva S. Assessment of Ecological Condition of Haplic Chernozem Calcic Contaminated with Petroleum Hydrocarbons during Application of Bioremediation Agents of Various Natures // *Land*. – 2021. – № 10. – С. 169. <https://doi.org/10.3390/land10020169>
23. Киреева Н.А., Водопьянов В.В., Мифтахова А.М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв. – Уфа: Гилем, 2016. – 376 с.
24. Рафикова Г.Ф., Кузина Е.В., Коршунова Т.Ю. Влияние биоремедиации на биологическую активность чернозема выщелоченного, загрязненного нефтью и свинцом // *Почвоведение*. – 2022. – № 3. – С. 354–369. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22030121>
25. Зайнуллин Р.Р. Система «Микроорганизмы почвы – растения – животные» как междисциплинарный объект управления // *Известия ТСХА*. – 2020. – № 2. – С. 20–39. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-2-20-39>
26. Rao M.A., Scelza R., Acevedo F., Diez M.C., Gianfreda L. Enzymes as useful tools for environmental purposes // *Chemosphere*. – 2014. – № 107. – Pp. 145–162.
27. Tabatabai M.A., Dick W.A. Enzymes in soil: research and developments in measuring activities // *Enzymes in the environment: Activity, ecology, and applications*. – N.Y.: Marcel Dekker, 2002. – Pp. 567–596.
28. Thavamani P., Malik S., Beer M., Megharaj M., Naidu R. Microbial activity and diversity in long-term mixed contaminated soils with respect to polyaromatic hydrocarbons and heavy metals // *J. Environ. Manag.* – 2012. – Vol. 99. – Pp. 10–17.
29. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 2005. – 252 с.
30. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2016. – 356 с.
31. Garcia-Ruiz R., Ochoa V., Hinojosa M.B., Carreira J.A. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems // *Soil Biol. Biochem.* – 2008. – Vol. 40. – Pp. 2137–2145. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2008.03.023>
32. Gao Y., Wang J., Xu J., Kong X., Zhao L., Zeng D.H. Assessing the quality of oil contaminated saline soil using two composite indices // *Ecol. Indic.* – 2013. – Vol. 24. – Pp. 105–112.
33. Галулин Р.В., Пинский Д.Л. Действие свинца на дегидрогеназную активность сероземно-луговой почвы // *Агрохимия*. – 1988. – № 6. – С. 93–99.
34. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. *Экология почв*. – М.: МГУ, 2006. – 362 с.
35. Киреева Н.А., Новосёлова Е.И., Онегова Т.С. Активность каталазы и дегидрогеназы в почвах, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // *Агрохимия*. – 2002. – № 8. – С. 64–72.
36. Хусайнова К.Н. Гигиеническая оценка влияния нефтепродуктов на окружающую среду // *Вестник Казахского национального медицинского университета*. – 2016. – № 1. – С. 449–450.
37. Киреева Н.А., Новосёлова Е.И., Ямалетдинова Г.Ф. Активность оксидоредуктаз в нефтезагрязненных и рекультивируемых почвах // *Агрохимия*. – 2001. – № 4. – С. 53–60.
38. Исмаилов Н.М., Гаджиев В.И., Гасанов М.Г. Коэффициент минерализации углеводов как показатель самоочищающей способности нефтезагрязненных почв и эффективности применяемых методов их рекультивации // *Известия Азербайджанской ССР. – Серия «Биологические науки»*. – 1984. – 6. – С. 76–85.
39. Исмаилов Н.М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязненных почв // *Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем*. – М.: Наука, 1988. – С. 42–57.
40. Киреева Н.А., Водопьянов В.В., Мифтахова А.М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв. – Уфа: Гилем, 2001. – 376 с.

41. Терещенко Н.Н., Лушников С.В., Митрофанова Н.А., Пилипенко С.В. Особенности биологической рекультивации нефтезагрязненных и техногенно-засоленных почв // Экология и промышленность России. – 2005. – 6. – С. 33–36.
42. Габбасова И.М. Деградация и рекультивация почв Южного Приуралья: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Москва, 2001. – 45 с.
43. Хабиров И.К., Габбасова И.М., Хазиев Ф.Х. Устойчивость почвенных процессов. – Уфа: БГАУ, 2001. – 340 с.

EVALUATION OF THE ENZYMATIC ACTIVITY OF HAPLIC CHERNOZEM CONTAMINATED BY PETROLEUM HYDROCARBONS AFTER BIOREMEDIATION

T.V. MINNIKOVA, A.S. RUSEVA, S.I. KOLESNIKOV

(Southern Federal University)

Introduction. The evaluation of the ecological state of soils in terms of enzymatic activity during the remediation of petroleum hydrocarbons contamination is very informative. The activity of enzymes of the oxidoreductases and hydrolases classes in chernozem is most sensitive to contamination by heavy metals, pesticides, and other types of anthropogenic impact. The informativeness and sensitivity of enzymes during the remediation of petroleum hydrocarbons-contaminated soils have not been adequately studied. Materials and methods. The activity of seven enzymes of oxidoreductases and hydrolases classes of petroleum hydrocarbons-contaminated soils after the application of biochar, sodium humate, nitroammophos and Baikal EM-1 was studied. In 90 days from the moment the ameliorants were introduced into the soil, the enzymatic activity of soils was evaluated by changes in the activity of catalase, dehydrogenases, peroxidases, ferriredutases, invertase, urease, and phosphatases. The integral indicator of soil biological activity (IIBA) and the geometric mean enzymatic activity of soils were evaluated for the classes of oxidoreductases (GMea (OX)) and hydrolases (GMea (HD)). Results. During the remediation of petroleum hydrocarbons-contaminated chernozem, the concentration of $D_{0.5}$ of biochar and Baikal EM-1 has a stimulating effect on the activity of oxidoreductases and hydrolases of the soil, and D_2 of nitroammophos and sodium humate – D_2 . At a dose of $D_{0.5}$ of nitroammophos and biochar, the maximum stimulation of IIBA was established relative to control and petroleum hydrocarbons contamination. The introduction of nitroammophos stimulated the activity of three out of seven enzymes, and biochar stimulated the activity of five out of seven enzymes regarding petroleum hydrocarbons contamination. The highest efficiency of nitroammophos is largely due to excessive stimulation of the urease activity of ordinary chernozem. The values of the geometric mean enzymatic activity (GMea) of oxidoreductases and hydrolases were stimulated relative to the control at a dose of $D_{0.5}$ of each ameliorant. The sensitivity series of petroleum hydrocarbons-contaminated chernozem enzymes after the introduction of ameliorants from the most sensitive to the least sensitive is the following: ferriredutases > peroxidases > urease > phosphatase > dehydrogenases > invertase > catalase. According to the degree of restoration of the enzymatic activity of soils, the ameliorants can be arranged in the following order (in % of petroleum hydrocarbons contamination): nitroammophos > biochar > sodium humate > Baikal EM-1. Conclusion. During the remediation of petroleum hydrocarbons-contaminated chernozem, the most stimulating effect on the activity of oxidoreductases and soil hydrolases is exerted by the ameliorant at a concentration of $D_{0.5}$. For biodiagnostics of the ecological state of petroleum hydrocarbons-contaminated black soils, we recommend using the activity of ferriredutases, peroxidases, urease, and phosphatase.

Key words: contamination, black soil, biochar, sodium humate, nitroammophos, Baikal EM-1, oxidoreductases, hydrolases, integral indicator of biological activity, geometric mean of enzymatic activity, biodiagnostics, soil stability.

References

1. Ahmad A.A., Muhammad I., Shah T., Kalwar Q., Zhang J., Liang Z., Du M., Juanshan Z., Yan P., Ding X., Rui-Jun L. Remediation Methods of Crude Oil Contaminated Soil. *World Journal of Agriculture and Soil Science*. 2020. URL: <https://doi.org/10.33552/WJASS.2020.04.000595>
2. Mambwe M., Kalebaila K.K., Johnson T. Remediation technologies for oil contaminated soil. *Global J. Environ. Sci. Manage*. 2021; 7 (3): 419–438.
3. Babaev M.P., Ismailov N.M., Nadzhafova S.I., Keyserukhskaia F.Sh., Orudzheva N.I. K voprosu o razrabotke PDK nefti i nefteproduktov v razlichnykh tipakh pochv na osnove ikh assimilyatsionnogo potentsiala (na primere pochv Azerbaydzhana) [On the issue of developing MPCs for oil and oil products in various types of soils based on their assimilation potential (on the example of Azerbaijan soils)]. *Pochvovedenie*. 2020; 11: 1393–1400. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20110040> (In Rus.)
4. Gasyanova A.S., Ismailov N.M., Panakhova A.A. Bioadsorbenty i biologicheski aktivnye soedineniya v biotekhnologiyakh reabilitatsii neftezagryaznennykh pochv i vodoe-mov Apsheronского poluoostrova [Bioadsorbents and biologically active compounds in biotechnologies for the rehabilitation of oil-contaminated soils and reservoirs of the Apsheron Peninsula]. *Agrarniy nauchnyy zhurnal*. 2018; 1: 6–9. (In Rus.)
5. Ismailov N.M., Gasyanova A.S. Samoochishchayushchaya sposobnost' pochv ot nefti i nefteproduktov v zavisimosti ot struktury uglevodorodov [Self-cleaning ability of soils from oil and oil products depending on the structure of hydrocarbons]. *Aridnye ekosistemy*. 2016; 22; 4 (69): 73–80. (In Rus.)
6. Wyszowska J., Wyszowski M. Activity of soil dehydrogenases, urease, and acid and alkaline phosphatases in soil polluted with petroleum. *J. Toxicol. Environ. Health*. 2010; 73: 1202–1204.
7. Poljak Yu.M., Sukharevich V.I. Pochvennye fermenty i zagryaznenie pochv: biodegradatsiya, bioremediatsiya, bioindikatsiya [Soil enzymes and soil pollution: biodegradation, bioremediation, bioindication]. *Agrokimiya*. 2020; 3: 83–93. <https://doi.org/10.31857/S0002188120010123> (In Rus.)
8. Bakina L.G., Polyak Y.M., Gerasimov A.O., Mayachkina N.V., Chugunova M.V., Khomyakov Y.V., Vertebny V.A. Mutual effects of crude oil and plants in contaminated soil: a field study. *Environ Geochem Health*. 2022; 44: 69–82. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00973-4>
9. Feyzia H., Choroma M., Bagheribc G. Urease activity and microbial biomass of carbon in hydrocarbon contaminated soils. A case study of cheshmeh-khosh oil field, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020; 199: 110664 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110664>
10. Kobierski M., Lemanowicz J., Wojewódzki P., Kondratowicz-Maciejewska K. The Effect of Organic and Conventional Farming Systems with Different Tillage on Soil Properties and Enzymatic Activity. *Agronomy*. 2020; 10: 1809. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111809>
11. Kulikova O., Mazlova E., Terekhova V., Karneeva A., Malina N., Smirnova T. Surfactant-enhanced treatment of oil-contaminated Arctic tundra soil: Ecotoxicological assessment. *Environmental Technology & Innovation*. 2021; 23: 101570 <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101570>
12. Polyak Y., Bakina L., Polyak M., Mayachkina N.V., Gerasimova A.O., Bureb V.M. The possible role of toxigenic fungi in ecotoxicity of two contrasting oil-contaminated soils – A field study. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2018; 126: 57–68. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.10.004>
13. Mokrikov G., Minnikova T., Kazeev K., Kolesnikov S. Use of soil enzyme activity in assessing the effect of no-till in the south of Russia. *Agronomy Research*. 2021; 19 (1): 171–184. <https://doi.org/10.15159/AR.20.240>

14. *Minnikova T.V., Mokrikov G.V., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V., Kolesnikov S.I.* Otsenka fermentativnoy aktivnosti chernozemov Rostovskoy oblasti pod binarnymi posevami podsolnechnika [Evaluation of the enzymatic activity of the chernozems of the Rostov region under binary crops of sunflower]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2017; 6: 141–155. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2017-6-141-155> (In Rus.)
15. *Dick R.P.* Soil Enzyme Activities as Indicators of Soil Quality. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. 2015: 107–124. <https://doi.org/10.2136/sssaspeccpub35.c7>
16. *Novoselova E.I., Kireeva N.A.* Fermentativnaya aktivnost' pochv v usloviyakh neftyanogo zagryazneniya i ee biodiagnosticheskoe znachenie [Enzymatic activity of soils under conditions of oil pollution and its biodiagnostic significance]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2009; 2: 4–12. (In Rus.)
17. *Minnikova T.V., Kolesnikov S.I., Denisova T.V.* Vliyanie azotnykh i guminovykh udobreniy na biokhimicheskoe sostoyanie neftezagryaznennogo chernozema [Effect of nitrogen and humic fertilizers on the biochemical state of oil-contaminated chernozem]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2019; 14 (2): 189–201. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-2-189-201> (In Rus.)
18. *Rudenko E.Yu.* Vliyanie otkhodov pivovareniya na fermentativnuyu aktivnost' neftezagryaznennoy chernozomnoy pochvy [Effect of brewing waste on the enzymatic activity of oil-contaminated chernozem soil]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2011; 3: 60–64. (In Rus.)
19. *Khaziev F.Kh.* Sistemno-ekologicheskii analiz fermentativnoy aktivnosti pochv [System-ecological analysis of the enzymatic activity of soils]. M.: Nauka, 1982: 204. (In Rus.)
20. *Khaziev F.Kh.* Ekologicheskie svyazi fermentativnoy aktivnosti pochv [Ecological connections of soil enzymatic activity]. *Ekobiotekh.* 2018; 1 (2): 80–92. (In Rus.)
21. *Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V.* Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019; 191: 544–550. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7718-3>
22. *Minnikova T., Kolesnikov S., Minkina, T., Mandzhieva, S.* Assessment of Ecological Condition of Haplic Chernozem Calcic Contaminated with Petroleum Hydrocarbons during Application of Bioremediation Agents of Various Natures. *Land*. 2021; 10: 169. <https://doi.org/10.3390/land10020169>
23. *Kireeva H.A., Vodop'yanov V.V., Miftakhova A.M.* Biologicheskaya aktivnost' neftezagryaznennykh pochv [Biological activity of oil-contaminated soils]. Ufa: Gilem, 2016: 376. (In Rus.)
24. *Rafikova G.F., Kuzina E.V., Korshunova T.Yu.* Vliyanie bioremediatsii na biologicheskuyu aktivnost' chernozema vyshchelochennogo, zagryaznennogo nef'tyu i svintsom [Effect of bioremediation on the biological activity of leached chernozem contaminated with oil and lead]. *Pochvovedenie*. 2022; 3: 354–369. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22030121> (In Rus.)
25. *Zaynullin R.R.* Sistema “mikroorganizmy pochvy – rasteniya – zhivotnye” kak mezhdistsiplinarniy ob’ekt upravleniya [The system “soil microorganisms – plants – animals” as an interdisciplinary object of management]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2020; 2: 20–39. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-2-20-39> (In Rus.)
26. *Rao M.A., Scelza R., Acevedo F., Diez M.C., Gianfreda L.* Enzymes as useful tools for environmental purposes. *Chemosphere*. 2014; 107: 145–162.
27. *Tabatabai M.A., Dick W.A.* Enzymes in soil: research and developments in measuring activities. *Enzymes in the environment: Activity, ecology, and applications*. N.Y.: Marcel Dekker. 2002: 567–596.

28. *Thavamani P., Malik S., Beer M., Megharaj M., Naidu R.* Microbial activity and diversity in long-term mixed contaminated soils with respect to polyaromatic hydrocarbons and heavy metals. *J. Environ. Manag.* 2012; 99: 10–17.
29. *Kaziev F.Kh.* Metody pochvennoy enzimologii [Methods of soil enzymology]. M.: Nauka, 2005: 252. (In Rus.)
30. *Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko E.V.* Metody biodiagnostiki nazemnykh ekosistem [Methods for biodiagnostics of terrestrial ecosystems]. Rostov-na-Donu: Izd-vo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, 2016: 356. (In Rus.)
31. *Garcia-Ruiz R., Ochoa V., Hinojosa M.B., Carreira J.A.* Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. *Soil Biol. Biochem.* 2008; 40: 2137–2145. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2008.03.023>
32. *Gao Y., Wang J., Xu J., Kong X., Zhao L., Zeng D.H.* Assessing the quality of oil contaminated saline soil using two composite indices. *Ecol. Indic.* 2013; 24: 105–112.
33. *Galiulin R.V., Pinskiy D.L.* Deystvie svitsa na degidrogenaznyuyu aktivnost' serozemno-lugovoy pochvy [The effect of lead on the dehydrogenase activity of gray-meadow soil]. *Agrokhimiya.* 1988; 6: 93–99. (In Rus.)
34. *Dobrovol'skiy G.V., Nikitin E.D.* Ekologiya pochv [Soil ecology]. M.: MGU, 2006: 362. (In Rus.)
35. *Kireeva N.A., Novoselova E.I., Onegova T.S.* Aktivnost' katalazy i degidrogenazy v pochvakh, zagryaznennykh nef't'yu i nefteproduktami [Activity of catalase and dehydrogenase in soils polluted with oil and oil products]. *Agrokhimiya.* 2002; 8: 64–72. (In Rus.)
36. *Khusaynova K.N.* Gigienicheskaya otsenka vliyaniya nefteproduktov na okruzhayushchuyu sredu [Hygienic evaluation of the impact of petroleum products on the environment]. *Vestnik Kazakhskogo Natsional'nogo meditsinskogo universiteta.* 2016; 1: 449–450. (In Rus.)
37. *Kireeva N.A., Novosrlova E.I., Yamaletdinova G.F.* Aktivnost' oksidoreduktaz v neftezagryaznennykh i rekul'tiviruemykh pochvakh [Activity of oxidoreductases in oil-contaminated and reclaimed soils]. *Agrokhimiya.* 2001; 4: 53–60. (In Rus.)
38. *Ismailov N.M., Gadzhiev V.I., Gasanov M.G.* Koeffitsient mineralizatsii uglevodorodov kak pokazatel' samoochishchayushchey sposobnosti neftezagryaznennykh pochv i effektivnosti primenyaemykh metodov ikh rekul'tivatsii [Mineralization coefficient of hydrocarbons as an indicator of the self-cleaning ability of oil-contaminated soils and the effectiveness of the methods used for their reclamation]. *Izvestiya Azerbaydzhanskoy SSR Ser. biol. nauki.* 1984; 6: 76–85. (In Rus.)
39. *Ismailov N.M.* Mikrobiologiya i fermentativnaya aktivnost' neftezagryaznennykh pochv [Microbiology and enzymatic activity of oil-contaminated soils]. *Vosstanovlenie neftezagryaznennykh pochvennykh ekosistem.* M.: Nauka. 1988: 42–57. (In Rus.)
40. *Kireeva N.A., Vodop'yanov V.V., Miftakhova A.M.* Biologicheskaya aktivnost' neftezagryaznennykh pochv [Biological activity of oil-contaminated soils]. Ufa: Gilem, 2001: 376. (In Rus.)
41. *Tereshchenko N.N., Lushnikov S.V., Mitrofanova N.A., Pilipenko S.V.* Osobennosti biologicheskoy rekul'tivatsii neftezagryaznennykh i tekhnogenno-zasolennykh pochv [Peculiarities of biological reclamation of oil-contaminated and technogenically saline soils]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* 2005; 6: 33–36. (In Rus.)
42. *Gabbasova I.M.* Degradatsiya i rekul'tivatsiya pochv Yuzhnogo Priural'ya. Avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. [Degradation and reclamation of soils in the Southern Urals. DSc (Bio) thesis]. Moscow, 2001: 45. (In Rus.)
43. *Khabirov I.K., Gabbasova I.M., Khaziev F.H.* Ustoychivost' pochvennykh protsessov [Stability of soil processes]. Ufa: BGAU, 2001: 340. (In Rus.)

Минникова Татьяна Владимировна, ведущий научный сотрудник, канд. биол. наук, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет (344090, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр-кт Стачки, 194/1; e-mail: loko261008@yandex.ru; тел.: (988) 539-01-34)

Русева Анна Степановна, аспирант кафедры экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет (344090, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр-кт Стачки, 194/1; e-mail: ruseva.ann@yandex.ru; тел.: (951) 490-34-74)

Колесников Сергей Ильич, заведующий кафедрой экологии и природопользования, д-р с.-х. наук, профессор, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет (344090, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр-кт Стачки, 194/1; e-mail: kolesnikov@sfedu.ru; тел.: (918) 555-09-04)

Tat'yana V. Minnikova, Leading Research Associate, Ph.D., the Academy of Biology and Biotechnology named after D.I. Ivanovsky of Southern Federal University (194/1 Stachki Ave., Russia, Rostov-on-Don (344090, Russian Federation; phone: (988) 539-01-34; E-mail: loko261008@yandex.ru)

Anna S. Ruseva, post-graduate student, the Department of Ecology and Nature Management, the Academy of Biology and Biotechnology named after D.I. Ivanovsky of Southern Federal University (194/1 Stachki Ave., Russia, Rostov-on-Don (344090, Russian Federation; phone: (951) 490-34-74; E-mail: ruseva.ann@yandex.ru)

Sergey I. Kolesnikov, DSc (Ag), Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, the Academy of Biology and Biotechnology named after D.I. Ivanovsky of Southern Federal University (194/1 Stachki Ave., Russia, Rostov-on-Don (344090, Russian Federation; phone: (918) 555-09-04; E-mail: kolesnikov@sfedu.ru)

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ *IN VITRO*А.Н. ЕСАУЛКО¹, А.К. РАДЖАБОВ², Т.С. АЙСАНОВ¹, В.Ю. ВЕЛИЧКО¹,
С.В. АКИМОВА², Е.А. НИНУЛИНА^{3,4}, А.Е. МАЦНЕВА²¹ ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»;
Российский государственный аграрный университет –МСХА имени К.А. Тимирязева;³ ФГБУ Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»;⁴ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»)

Тенденции развития отрасли садоводства показали, что для удовлетворения потребности населения России плодами и ягодами необходимо расширение насаждений этих культур. Клональное микроразмножение – современный способ массового ускоренного вегетативного размножения растений, который широко применяется при производстве отечественного посадочного материала садовых растений. Однако с учетом того, что большинство применяемых сегодня в практике клонального микроразмножения питательных сред было создано в 70–80-е гг. XX в., возникает необходимость совершенствования оптимального состава питательной среды. В связи с этим цель работы заключалась в исследовании влияния замены неорганических солей всех микроэлементов, входящих в состав питательной среды, на комплексоны микроэлементов с карбоксилсодержащим лигандом – EDTA. Сравнительная оценка изучаемых питательных сред показала значительное преимущество регенерационной способности растений всех сортов земляники на модифицированной питательной среде № 1, где отклонение коэффициентов размножения опытных вариантов от контроля составило 0,6–1,8 ед. на втором пассаже и 0,9–2,9 ед. – на третьем. На этапе ризогенеза у опытных микрорастений земляники четко прослеживалась большая чувствительность к питательной среде, и на 28-е сутки субкультивирования укореняемость микророзеток превышала аналогичные показатели контроля на 6,2–25,0%.

Ключевые слова: клональное микроразмножение, *in vitro*, земляника садовая, питательная среда, интенсивность образования точек роста.

Введение

Земляника садовая – одна из наиболее распространенных ягодных культур в России, что обуславливается ее высокими вкусовыми качествами, богатым биохимическим составом и лечебными свойствами. Площади данной культуры в мире и в нашей стране свидетельствуют о ежегодной положительной динамике [1–5]. Расширение объемов производства данной ягодной культуры рождает необходимость увеличения объема производства высококачественного посадочного материала, свободного от вирусов, фитоплазменных патогенов, которые в значительное степени снижают урожайность и качество выращенной продукции на 20–60% [6, 7]. Одним из способов решения данной задачи является применение технологии клонального микроразмножения, которая позволяет в 2–3 раза сократить процесс выращивания посадочного материала садовых растений [8–11].

В целом методика клонального микроразмножения земляники садовой достаточно отработана и используется уже на протяжении многих лет [6, 7, 12]. Несмотря на это требуется постоянное совершенствование технологии, связанное с меняющимся сортиментом садовых растений, так как генотипические особенности новых сортов при выращивании в условиях *in vitro* еще неизвестны [13, 14]. Кроме того, меняется состав питательных сред. Учитывая, что большинство применяемых сегодня в практике клонального микроразмножения питательных сред было создано в 70–80-е гг. XX в., возникает необходимость совершенствования имеющихся технологических этапов, а также пересмотра концентрации применяемых компонентов [15]. В этой связи для успешного размножения растений в культуре *in vitro* важное значение имеет подбор оптимального состава питательной среды, в том числе трейсовых элементов. При этом важную роль играют не только количество питательных веществ, но и само фактическое питание, связанное с доступностью необходимых питательных элементов, химическое взаимодействие компонентов в питательной среде, эффекты антагонизма или синергизма при поглощении элементов тканями растений [16–20].

Несмотря на то, что минеральное питание является одним из важнейших факторов микроразмножения растений, его влияние на морфогенез изучено слабо [19, 20]. В связи с этим при разработке подходящего состава питательных сред обычно модифицируют регуляторы роста растений без изменения минеральных питательных веществ [22, 28]. Однако многие размножаемые в стерильных условиях виды и сорта плодовых растений не всегда поддаются классическому оптимизационному подходу путем тестирования гормональных компонентов роста растений [22–31].

В последнее десятилетие в литературе появляется все больше сведений о критическом влиянии оптимальных значений мезо- и микроэлементов на лучшую регенерацию микропобегов и укоренение микрорастений плодовых культур методами *in vitro*. Наиболее важными микроэлементами являются железо и медь, так как они участвуют в регуляторных процессах и окислительно-восстановительных превращениях, входят в состав важных коферментов. Далее следуют марганец, цинк, молибден, кобальт и бор, которые выполняют структурную функцию [18, 22, 32–34].

На практике в питательные среды для клонального микроразмножения железа, как правило, вводится в форме $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ совместно с дисмещенной натриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты (Na_2EDTA) [21].

Среди опубликованных данных крайне мало сведений, посвященных изучению модификаций питательных сред хелатными формами микроэлементов. Практически все они касаются улучшения питания растений-регенерантов отдельных культур железом за счет замены $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{EDTA}$ в среде на комплекс FeEDDHA [23–27]. Кроме железа, хелатная форма поглощения также присуща и другим микроэлементам, но в питательных средах они используются в форме простых неорганических солей [21, 35]. Однако применение хелатных форм микроэлементов сопряжено с рядом аспектов, требующих детального изучения влияния лигандов на рост и развитие растений-регенерантов. В связи с этим цель работы заключалась в исследовании влияния замены неорганических солей всех микроэлементов, входящих в состав питательной среды, на хелатные формы последних, на мультипликацию и ризогенез *in vitro* микрорастений земляники садовой.

Материал и методика исследований

Исследования проводили в условиях научно-производственного центра питомниководства плодовых и ягодных культур, расположенного в условиях учебно-опытного хозяйства ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» в 2021–2022 гг.

Объектом исследований служили сорта земляники садовой Азия, Априка, Альбион, Брайтон, Сирия и Фортуна.

При введении в культуру *in vitro* отбор вегетативных побегов земляники для получения эксплантов производили из исходных растений, высаженных в пластиковые контейнеры. Согласно плану научных исследований в качестве эксплантов использовали меристематические верхушки розеток. Стерилизацию растительного материала осуществляли путем обработки 96%-ным раствором этилового спирта в течение 10–20 с, затем – 0,01–0,1%-ным раствором перманганата калия в течение 20 мин. После стерилизации материал трижды, каждый раз на протяжении 5 мин, промывали в трех порциях стерильной дистиллированной воды.

Затем меристематические верхушки помещали в пробирки на агаризованную питательную среду с минеральными солями по прописи Мурасига и Скуга (MS) [36], обогащенную такими веществами, мг/л, как тиамин (B1); пиридоксин (B6); никотиновая кислота (PP) по 0,5; инозитол – 100; 6-БАП – 1; сахара – 30000; агар-агар – 7000.

Пробирки с эксплантами инкубировали в культуральной комнате при интенсивности освещенности 2000–2500 Лк, температуре +22...+24 С° и 16-часовом световом дне. Ежедневно на протяжении 3 мес. производили учет количества инфицированных, окисленных, стерильных и жизнеспособных, активно регенерирующих растений. Затем осуществляли три последовательных пассажа на этап мультипликации на питательную среду № 1 с минеральными солями по прописи MS, которую модифицировали карбоксилсодержащими хелатными комплексами микроэлементов с этилендиаминтетрауксусной кислотой (EDTA). Контролем служила питательная среда MS с минеральными макро- и микроэлементами. Контроль и опытную питательную среду № 1 обогащали такими веществами, мг/л, как витамины B1, B6, PP по 0,5; глицин – 1; мезоинозитол – 100; сахара – 30000; агар-агар – 7000; 6-БАП 0,2. Микроочеренкование производили в стеклянные культуральные сосуды объемом 200 мл по 5 шт. в каждый, длительность субкультивирования на каждом пассаже составляла 60 сут.

После 2 мес. субкультивирования микрорастения переносили на питательную среду № 2 для этапа ризогенеза, которую модифицировали карбоксилсодержащими хелатными комплексами микроэлементов с EDTA, редуцировали наполовину по содержанию минеральных макроэлементов (½ MS). Контролем служила питательная среда MS с минеральными макро- и ½ микроэлементами (½ MS). И контроль, и опытную питательную среду № 2 обогащали следующими веществами, мг/л: витамины B1, B6, PP по 0,5; сахара – 15000; агар-агар – 7000; ИМК – 0,3. Микроочеренкование производили в полипропиленовые контейнеры объемом 200 мл по 15 шт. в каждый, длительность субкультивирования составила 60 сут.

На этапах мультипликации и ризогенеза растения-регенеранты инкубировали в культуральной комнате при интенсивности освещенности 2000–2500 Лк, температуре +22...+24 С° и 16-часовом световом дне.

В ходе исследований каждые 7 дней проводили учеты интенсивности закладки пазушных почек у микрорастений, а в конце периода наблюдений определяли длину прироста вегетативных частей микрорастений. При изучении питательной среды для укоренения производили оценку их влияния на укореняемость микроочеренков, учет количества сформировавшихся корней и их среднюю длину согласно ГОСТ 54051–2010 [37].

Повторность опытов на каждом этапе – трехкратная, по 50 растений-регенерантов в повторности. Статистическую обработку результатов произвели согласно Б.А. Доспехову [38] и А.В. Исачкину [39] с применением компьютерной программы Microsoft Office Excel 2007, STATISTICA_10.0.1011. Их использование подтвердило подлинность полученных результатов исследований.

Результаты и их обсуждение

Модификация питательной среды с минеральными макросолями по прописи MS и хелатными микроэлементами с карбоксилсодержащим лигандом привела к значительному повышению эффективности фазы мультипликации исследуемых сортов земляники. Анализ полученных данных указывает на значительную вариабельность коэффициента размножения у рассматриваемых вариантов по пассажам в зависимости от питательной среды.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о положительном влиянии разработанной питательной среды № 1 на регенерационную способность микрорастений исследуемых сортов земляники.

При первом пассаже коэффициент размножения у вариантов со средой № 1 в среднем по сортам составил 2,1–2,8 ед. по сравнению с 1,6–2,1 ед. в контроле. При этом отклонение коэффициентов размножения опытных вариантов от контроля в среднем составило 0,1–0,7 ед.

При последующих пассажах коэффициент размножения у всех сортов в опытных вариантах со средой № 1 значительно вырос (до 6,2–7,5 ед. на втором пассаже и до 7,5–7,9 ед. – на третьем) по сравнению с 5,1–6,3 ед. в контрольных вариантах. Отклонение коэффициентов размножения опытных вариантов от контроля сохранилось и составило 0,6–1,8 ед. на втором пассаже и 0,9–2,9 ед. – на третьем.

Анализ динамики коэффициента размножения рассматриваемых питательных сред показал, что у всех вариантов изучаемый показатель значительно повышался на втором пассаже в сравнении с результатами первого пассажа. Дальнейший тренд показателей изучаемых питательных сред показал устойчивую эффективность результатов контрольной питательной среды у всех исследуемых сортов земляники, тогда как применение опытной питательной среды № 1 стимулировало более активную регенерационную способность размножаемых микрорастений, устойчиво повышая коэффициент размножения с каждым последующим пассажем.

Сравнительная оценка отзывчивости рассматриваемых сортов на модификацию применяемой питательной среды показала, что при первом пассаже наибольший коэффициент размножения отмечался у сорта Фортуна, достоверно превышавшего показатели остальных сортов в среднем по опыту на 0,4–0,8 ед. Анализ результатов по второму и третьему пассажам показал, что наибольшая регенеративная способность выявлена у сортов Сирия и Фортуна, показавших существенное преимущество относительно показателей остальных сортов (табл. 1).

В технологии клонального микроразмножения большое значение имеют питательные среды для этапа ризогенеза микрочеренков размножаемых культур. На стадии ризогенеза у опытных микрорастений земляники садовой четко прослеживалась большая чувствительность к модифицированной питательной среде комплексонатами микроэлементов с карбоксилсодержащим лигандом EDTA.

В течение первой недели субкультивирования на этапе ризогенеза в ходе проведения исследований было установлено, что независимо от состава питательной среды во всех вариантах опыта формирование корней отмечено не было.

При учете на 14-е сутки субкультивирования выявлено начало образования корневой системы у микрорастений во всех рассматриваемых вариантах эксперимента. Оценка эффективности изучаемых питательных сред показала, что у всех сортов земляники, кроме сорта Фортуна, на 14-е сутки учета укореняемость была одинаковой и составляла 6,3%.

При учетах, проведенных на 21-е сутки этапа ризогенеза, значительно возросла укореняемость микрочеренков. В опытных вариантах с модификацией питательной

среды хелатными комплексами микроэлементов с EDTA (опытная среда № 2) лучшая укореняемость микророзеток отмечена у сортов Априка и Сирия, составив 37,5% по сравнению с 12,5–18,8% в контроле.

Таблица 1

Влияние состава питательной среды на этапе мультипликации на интенсивность образования точек ветвления у сортов земляники, 2021–2022 гг.

Сорт, фактор а	Вариант опытной питательной среды, фактор b	Коэффициент размножения, ед.		
		первый пассаж	второй пассаж	третий пассаж
Азия	MS (контроль)	1,8	5,9	5,1
	среда № 1	2,1	7,1	7,8
Априка	MS (контроль)	1,8	5,8	5,3
	среда № 1	2,4	7,4	7,7
Альбион	MS (контроль)	1,6	5,4	5,0
	среда № 1	2,0	7,2	7,9
Брайтон	MS (контроль)	1,6	5,6	5,7
	среда № 1	1,7	6,2	7,5
Сирия	MS (контроль)	1,7	6,2	6,9
	среда № 1	2,0	7,8	7,8
Фортуна	MS (контроль)	2,1	6,3	6,2
	среда № 1	2,8	7,5	7,9
НСР ₀₅ а		0,2	0,2	0,3
НСР ₀₅ b		0,2	0,5	0,4
НСР ₀₅ ab		0,3	0,6	0,6

В целом можно сказать, что у всех исследуемых сортов земляники укореняемость микророзеток на фоне опытной среды № 2 превышала аналогичные показатели контрольной питательной среды 1/2 MS на 0,2–25,0%.

На 28-е сутки субкультивирования анализ динамики укоренения размножаемых микрочеренков показал значительный скачок укореняемости у всех опытных сортов, и лучшая укореняемость микророзеток выявлена на фоне опытной среды 2, превышавшей аналогичные показатели контроля на 6,2–25,0%. У всех исследуемых сортов земляники, за исключением сорта Фортуна, в вариантах с модификацией питательной среды хелатами микроэлементов на основе EDTA укореняемость микророзеток колебалась в пределах 75,0–87,5% по сравнению с 56,3–68,8% в контроле.

В среднем по сравниваемым питательным средам из рассматриваемых сортов земляники наибольшее количество корней формировалось у сортов Азия и Альбион,

достоверно превосходящих показатели остальных сортов в опыте на 0,7–1,4 шт. Наименьшее количество корней в опыте было сформировано у сортов Сирия и Фортуна.

Сравнительная оценка изучаемых питательных сред показала преимущество в количестве образовавшихся корней у всех рассматриваемых сортов. Преимущество опытной среды № 2 относительно аналогичных показателей контрольной питательной среды в среднем по опыту составляло 0,1–1,3 шт. на растение.

Наибольшее количество корней в опыте зафиксировано у сорта Азия при укоренении на опытной питательной среде № 2, превосходившее результаты стальных вариантов опыта на 0,4–2,3 шт., причем относительно показателя сорта Альбион на опытной среде № 2 преимущество лидера находилось в пределах ошибки опыта.

Вероятно, химическая форма комплексонов микроэлементов с карбоксилсодержащим лигандом в более полной мере обеспечивает их доступность при поглощении тканями микрорастений, что приводит к улучшению показателей укореняемости и биометрических показателей развития микророзеток исследуемых сортов земляники садовой.

Таблица 2

Влияние состава питательной среды на этапе ризогенеза на укореняемость микророзеток сортов земляники, среднее за 2021–2022 гг.

Сорт, фактор а	Вариант опытной питательной среды, фактор b	Укореняемость, %			Среднее число корней (28-е сутки), шт.
		14-е сутки	21-е сутки	28-е сутки	
Азия	½ MS (контроль)	6,3	12,5	68,8	4,2
	среда № 2	6,3	18,8	81,3	5,5
Априка	½ MS (контроль)	6,3	18,8	56,3	3,7
	среда № 2	6,3	37,5	81,3	4,2
Альбион	½ MS (контроль)	6,3	12,5	62,5	4,4
	среда № 2	6,3	18,3	87,5	5,1
Брайтон	½ MS (контроль)	6,3	12,5	68,8	4,0
	среда № 2	6,3	18,8	75,0	4,2
Сирия	½ MS (контроль)	6,3	12,5	62,5	3,4
	среда № 2	6,3	37,5	81,3	3,5
Фортуна	½ MS (контроль)	6,3	12,5	43,8	3,2
	среда № 2	12,5	12,7	50,0	3,7
HCP ₀₅ a		0,4	1,1	3,4	0,3
HCP ₀₅ b		0,4	0,9	3,7	0,3
HCP ₀₅ ab		0,8	1,9	6,9	0,5

Выводы

Качественное улучшение доступности и поглощения трейсовых элементов за счет непосредственной замены минеральных солей микроэлементов на хелатные формы с EDTA в питательных средах на этапах мультипликации и ризогенеза позволило в значительной мере повысить физиологический статус растений-регенерантов земляники садовой.

В результате исследований было установлено, что разработанные питательные среды оказывали положительное влияние на регенеративную способность растений всех рассматриваемых сортов земляники. У всех сортов на фоне разработанной питательной среды № 1 коэффициент размножения был выше, чем на контрольной питательной среде. Анализ динамики коэффициентов размножения в опыте показал, что в среднем по сортам земляники на втором пассаже показатель значительно увеличился относительно показателей первого пассажа. К третьему пассажиру в контрольных вариантах коэффициент размножения показал устойчивое снижение, тогда как на разработанной питательной среде № 1 продолжал увеличиваться.

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что применение разработанной питательной среды № 1 инициировало более активную закладку точек роста по сравнению с контрольной питательной средой, а также значительное увеличение коэффициента размножения.

На этапе ризогенеза у опытных микрорастений земляники четко прослеживалась большая чувствительность к питательной среде, модифицированной комплексонами микроэлементов с карбоксилсодержащим лигандом – EDTA. На 28-е сутки субкультивирования у всех исследуемых сортов земляники в вариантах с модификацией питательной среды хелатными комплексами микроэлементов укореняемость микророзеток превышала аналогичные показатели контроля на 6,2–25,0%.

Большое практическое значение имеют дальнейшие исследования в данном направлении с расширением возможных объектов исследований. Подобным образом модифицированные питательные среды способны обеспечить технологичность процесса клонального микроразмножения земляники садовой и повысить рентабельность эффективности производства.

Финансирование: Данное исследование финансировалось программой развития Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева «Агропрорыв-2030» в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Библиографический список

1. *Высоцкий В.А.* Биотехнологические методы в современном садоводстве // Плодоводство и ягодоводство России. – Т. XXVI. – Изд-во ВСТИСП, 2011. – С. 3–10.
2. *Карпушина М.В., Винтер М.А.* Микрклональное размножение земляники садовой // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. – 2021. – Т. 31. – С. 108–113.
3. *Семенас С.Э., Кухарчик Н.В.* Методика клонального микроразмножения сортов земляники // Плодоводство: Сборник научных трудов Белорусского НИИП. – Т. XIII. – Самохваловичи, 2000. – С. 138–145.
4. *Яковенко В.В., Лапшин В.И.* Сорта земляники для экологического изучения в зоне Северного Кавказа // Научные труды СКФНЦСВВ. – Т. 14. – Краснодар: СКФНЦСВВ, 2018. – С. 147–154.
5. *Козий И.И.* Производство ягод в России в цифрах // Ягоды России. – 2020. – № 1. – С. 3–4.

6. Мацнева О.В., Таиматова Л.В., Орлова Н.Ю., Шахов В.В. Микрклональное размножение земляники садовой // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2017. – Т. 4, № 1–2. – С. 93–96.
7. Мацнева О.В., Таиматова Л.В., Джафарова В.Е. Пролиферативная активность сортов земляники садовой в культуре *in vitro* // Современное садоводство. – 2016. – № 1. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2016/1/12.pdf>.
8. Баматов И.М., Адаев Н.Л., Цагараяева Э.А., Таймасханов Х.Э., Амаева А.Г. Повышение эффективности технологии оздоровления и первичного размножения земляники садовой в культуре *in vitro* // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 57, № 4. – С. 183–191.
9. Белошапкина О.О., Батрак Е.Р., Ханжиян И.И. Здоровый посадочный материал земляники – основы успеха // Защита и карантин растений. – 2001. – № 8. – С. 23.
10. Московенко Н.В., Тихонов С.Л., Степанов В.В. Сравнительная характеристика показателей качества клубники, выращенной в естественных условиях и при микрклональном культивировании // Товаровед продовольственных товаров. – 2013. – № 11. – С. 4–10.
11. Акимова С.В., Видулина А.Н., Буянов И.Н., Глинушкин А.П. Совершенствование способов подготовки микрорастений малины к адаптации // Плодоводство и ягодоводство России. – 2014. – Т. 39. – С. 16–19.
12. Джигадо Е.Н., Джигадо М.И., Голышкина А.В. Методические рекомендации по использованию биотехнологических методов в работе с плодовыми, ягодными и декоративными культурами. – Орел: ВНИИСПК, 2005. – 49 с.
13. Апрощенко Г.П., Костицын В.В., Неделюев А.А. Рекомендации по производству оздоровленного посадочного материала земляники. – СПб., 2001. – 14 с.
14. Матушкина О.В., Пронина И.Н. Технология клонального микроразмножения яблони и груши: Методические рекомендации. – Мичуринск-наукоград РФ, 2008. – 32 с.
15. Кухарчик Н.В. Размножение плодовых растений в культуре *in vitro* / Под общ. ред. Н.В. Кухарчик. – Минск: Беларуская навука, 2016. – 208 с.
16. Mayer N.A., Bianchi V.J., Feldberg N.P., Morini S. Rev. Bras. Frutic. V. 39, n 4. Advances in peach, nectarine and plum propagation p. 355 Mayer N.A. Advances in peach, nectarine and plum propagation // Rev. Bras. Frutic. – 2017. – V. 39. – № 4. – Pp. 355.
17. Niedz R.P., Evens T.J. Regulating plant tissue growth by mineral nutrition // In Vitro Cell Dev Biol-Plant. – 2007. – V. 43. – Pp. 370–381.
18. Reed B.M., Wada S., DeNoma J., Niedz R.P. Mineral nutrition influences physiological responses of pear *in vitro* // In Vitro Cell. Dev. Biol-Plant. – 2013. – V. 49. – Pp. 699–709.
19. Ramage C.M., Williams R.R., Mineral nutrition and plant morphogenesis / C.M. Ramage, R.R. Williams // In Vitro Cell Dev Biol-Plant. – V. 38. – Pp. 116–124.
20. Greenway M.B. A nutrient medium for diverse applications and tissue growth of plant species *in vitro* / M.B. Greenway, I.C. Phillips, M.N. Lloyd, J.F. Hubstenberger, G.C. Phillips // In Vitro Cell Dev Biol-Plant. – 2012. – V. 48. – P. 403–410.
21. George E.F. The components of plant tissue culture media I: macro- and micro-nutrients / E.F. George, M.A. Hall, De Klerk (Eds.) // Plant Propagation by Tissue Culture., 3rd ed. Springer. – New York, ГОД. – Pp. 65–113.
22. Hand C. Minor nutrients are critical for the improved growth of *Corylus avellana* shoot cultures / C. Hand, B.M. Reed // Plant Cell Tiss Organ Cult. – 2014. – V. 119. – Pp. 427–439.
23. Garrison W. Improved shoot multiplication and development in hybrid hazelnut nodal cultures by ethylenediamine di-2-hydroxy-phenylacetic acid (Fe-EDDHA) / W. Garrison, A. Dale, P. Saxena // Can. J. Plant Sci. – 2013. – 93:511–521.

24. *Jolley V.D.* Plant Physiological Responses for Genotypic Evaluation of Iron Efficiency in Strategy I and Strategy II Plants-A Review / V.D. Jolley, K.A. Cook, N.C. Hansen, W.B. Stevens // *Journal of plant nutrition.* – 1996. – V. 19. – Pp. 1241–1255.
25. *Molassiotis A.N.* Fe-EDDHA promotes rooting of rootstock GF-677 (*Prunus amygdalus* 9 *P. persica*) explants in vitro / A.N. Molassiotis, K. Dimassi, I. Therios, G. Diamantidis // *Biol. Plant.* – 20004. – V. 1. – Pp. 141–144.
26. *Padmanabhan P.* Iron supplementation promotes in vitro shoot induction and multiplication of *Baptisia australis* / P. Padmanabhan, M.R. Shukla, J.A. Sullivan, P.K. Saxena // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture.* – 2017. – V. 129. – Pp. 145–152.
27. *Van der Salm T.P.M.* Importance of the iron chelate for micropropagation of *Rosa hybrida* L. 'Moneyway' / Van der Salm T.P.M., Van der Toorn C.J.G., Hanish ten Cate C.H., Dubois L.A.M., De Vries D.P., Dons H.J.M. // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture.* – 1994. – V. 37. – Pp. 73–77.
28. *Andres H.* Phytohormone contents in *Corylus avellana* and their relationship to age and other developmental processes / H. Andres, B. Fernandez, R. Rodriguez, A. Rodriguez // *Plant Cell Tiss Organ Cult* 70. – 2002. – Pp. 173–180.
29. *Perez-Tornero O.* Effect of basal media and growth regulators on the in vitro propagation of apricot (*Prunus armenica* L.) cv. Canino / O. Perez-Tornero J.M. Lopez, J. Egea, L. Burgos // *Journal of Horticultural Science & Biotechnology.* – 2000. – V. 75 (3). – Pp. 283–286.
30. *Damiano C.* Propagation of *Prunus* and *Malus* by temporary immersion / C. Damiano, La Starza S.R., Monticelli S., Gentile A., Caboni E., Frattarelli A. // *HVOSLEF-EI-DE A.K. AND PREIL W. (Ed.). Liquid culture systems for in vitro plant propagation.* – Netherlands: Springer, 2005. – Pp. 243–251.
31. *Zawadzka M.* Fruit ornamental Plant Res Factors modifying regeneration in vitro of adventitious shoots in five red raspberry cultivars / M. Zawadzka, T. Orlikowska. – 2006. – Vol. 14. – Pp. 105–115.
32. *Wada S.* Mesos components (CaCl₂, MgSO₄, KH₂PO₄) are critical for improving pear micropropagation / S. Wada, R.P. Niedz, J. DeNoma B.M. Reed // *In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant.* – 2013. – V. 49 – Pp. 356–365.
33. *Poothonga S.* Modeling the effects of mineral nutrition for improving growth and development of micropropagated red raspberries / S. Poothonga, B.M. Reed // *Scientia Horticulturae.* – 2014. – V. 165. – Pp. 132–141.
34. *Carvalho A.A.* Mesos components (CaCl₂, MgSO₄, KH₂PO₄) induced changes in growth and ascaridole content of *Dysphania ambrosioides* L. in vitro / A.A. Carvalho S.K.V.B. Bertoluccia G.M. Silva S.H.B. Cunha H.L.H.R. Rozaa S. Aazzab J.E.B.P Pinto // *Industrial Crops & Products.* – 2018. – V. 122. – Pp. 28–36.
35. *Бутюцкий Н.П.* Микроэлементы высших растений. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2011. – 368 с.
36. *Murashige T., Skoog F.* A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiol. Plant.* – 1962. – V. 15. – Pp. 437–497.
37. ГОСТ Р 54051–2010 «Плодовые и ягодные культуры. Стерильные культуры и адаптированные микрорастения. Технические условия». – 15 с.
38. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. – Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. – М.: Альянс, 2011. – 350 с.
39. *Исачкин А.В., Крючкова В.А.* Основы научных исследований в садоводстве: Учебник для вузов / Под ред. А.В. Исачкина. – СПб.: Лань, 2020. – 420 с.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF NEW NUTRIENT MEDIA FOR THE PRODUCTION OF IMPROVED STRAWBERRY SEEDLINGS BY *IN VITRO*

A.N. ESAULKO¹, A.K. RADZHABOV², T.S. AYSANOV¹, V.YU. VELICHKO¹,
S.V. AKIMOVA², E.A. NINULINA^{3,4}, A.E. MATSNEVA²

(¹ Stavropol State Agrarian University,

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,

³ Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemical Substances
of National Research Center “Kurchatov Institute”,

⁴ National Research Center “Kurchatov Institute”)

Current trends in the development of the horticulture industry have shown that in order to meet the needs of the Russian population for fruits and berries, it is necessary to expand the plantations of these crops. Clonal micropropagation is a modern method of mass, accelerated vegetative propagation of plants, which is widely used in the production of domestic planting material for garden plants. However, given that most of the nutrient media used today in the practice of clonal micropropagation were created in 70–80 years of XX century, there is a need to improve its optimal composition. In this regard, the purpose of this work was to study the effect of replacing inorganic salts of all microelements that are part of the nutrient medium with complexonates of microelements with a carboxyl-containing ligand – EDTA. A comparative evaluation of the studied nutrient media revealed a significant advantage in plant regeneration ability in all strawberry cultivars on modified nutrient medium No. 1, where the deviation of the multiplier coefficients of the experimental variants from the control was 0.6–1.8 units on the second passage and 0.9–2.9 units on the third. At the stage of rhizogenesis, the experimental strawberry microplants were highly sensitive to the nutrient media, and the rooting of microrosettes exceeded that of the control by 6.2–25.0% on the 28th day of subcultivation.

Key words: *clonal micropropagation, in vitro, garden strawberry, nutrient medium, intensity of formation of growth points.*

References

1. *Vysotskiy V.A.* Biotehnologicheskie metody v sovremennom sadovodstve [Biotechnological methods in modern horticulture]. Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. Izd-vo VSTISP. 2011; XXVI: 3–10. (In Rus.)
2. *Karpushina M.V., Vinter M.A.* Mikroklonal'noe razmnzhenie zemlyaniki sadovoy [Micropropagation of garden strawberry]. Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya. 2021; 31: 108–113. (In Rus.)
3. *Semenas S.E., Kukharchik N.V.* Metodika klonal'nogo mikrorazmnzheniya sortov zemlyaniki [Method of clonal micropropagation of strawberry cultivars]. Plodovodstvo: sbornik nauchnykh trudov Belorusskogo NIIP. Samokhvalovich. 2000; XIII: 138–145. (In Rus.)
4. *Yakovenko V.V., Lapshin V.I.* Sorta zemlyaniki dlya ekologicheskogo izucheniya v zone Severnogo Kavkaza [Cultivars of strawberries for ecological study in the zone of the North Caucasus]. Nauchnye trudy SKFNTSSVV. Krasnodar: SKFNTSSVV. 2018; 14: 147–154. (In Rus.)
5. *Koziy I.I.* Proizvodstvo yagod v Rossii v tsifrakh [Berry production in Russia in numbers]. Yagody Rossii. 2020; 1: 3–4. (In Rus.)
6. *Matsneva O.V., Tashmatova L.V., Orlova N.Yu., Shakhov V.V.* Mikroklonal'noe razmnzhenie zemlyaniki sadovoy [Micropropagation of garden strawberry]. Seleksiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur. 2017; 4 (1–2): 93–96. (In Rus.)

7. *Matsneva O.V., Tashmatova L.V., Dzhafarova V.E.* Proliferativnaya aktivnost' sortov zemlyaniki sadovoy v kul'ture in vitro [Proliferative activity of garden strawberry cultivars in culture in vitro]. *Sovremennoe sadovodstvo*. 2016; 1. [Electronic source]. URL: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2016/1/12.pdf> (In Rus.)
8. *Bamatov I.M., Adaev N.L., Tsagaraeva E.A., Taymaskhanov Kh.E., Amaeva A.G.* Povyshenie effektivnosti tekhnologii ozdorovleniya i pervichnogo razmnzheniya zemlyaniki sadovoy v kul'ture in vitro [Improving the efficiency of technology for the improvement and primary propagation of garden strawberries in culture in vitro]. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; 57 (4): 183–191. (In Rus.)
9. *Beloshapkina O.O., Batrak E.R., Khanzhiyan I.I.* Zdoroviy posadochniy material zemlyaniki – osnovy uspekha [Healthy strawberry planting material – the basis of success]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2001; 8: 23. (In Rus.)
10. *Moskovenko N.V., Tikhonov S.L., Stepanov V.V.* Sravnitel'naya kharakteristika pokazateley kachestva klubniki, vyrashchennoy v estestvennykh usloviyakh i pri mikroklonal'nom kul'tivirovanii [Comparative characteristics of quality indicators of strawberries grown under natural conditions and with microclonal cultivation]. *Tovaroved proizvodstvennykh tovarov*. 2013; 11: 4–10. (In Rus.)
11. *Akimova S.V., Vikulina A.N., Buyanov I.N., Glinushkin A.P.* Sovershenstvovanie sposobov podgotovki mikrorasteniy maliny k adaptatsii [Improving the ways of preparing raspberry microplants for adaptation]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*. 2014; 39: 16–19. (In Rus.)
12. *Dzhigadlo E.N., Dzhigadlo M.I., Golyshkina A.V.* Metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu biotekhnologicheskikh metodov v rabote s plodovymi, yagodnymi i dekorativnymi kul'turami [Guidelines for the use of biotechnological methods in the work with fruit, berry and ornamental crops]. Orel: VNIISPK, 2005: 49. (In Rus.)
13. *Atroshchenko G.P., Kostitsyn V.V., Nedelyuev A.A.* Rekomendatsii po proizvodstvu ozdorovlennogo posadochnogo materiala zemlyaniki [Recommendations for the production of improved strawberry planting material]. S – P., 2001: 14. (In Rus.)
14. *Matushkina O.V., Pronina I.N.* Tekhnologiya klonal'nogo mikrorazmnzheniya yabloni i grushi (metodicheskie rekomendatsii) [Technology of clonal micropropagation of apple and pear (guidelines)]. Michurinsk – naukograd RF, 2008: 32. (In Rus.)
15. *Kukharchik N.V.* Razmnzhenie plodovykh rasteniy v kul'ture in vitro [Reproduction of fruit plants in culture in vitro]. Minsk: Belaruskaya navuka, 2016: 208. (In Rus.)
16. *Mayer N.A., Bianchi V.J., Feldberg N.P., Morini S.* Advances in peach, nectarine and plum propagation. *Rev. Bras. Frutic*. 2017; 39 (4): 355.
17. *Niedz R.P., Evens T.J.* Regulating plant tissue growth by mineral nutrition. *In Vitro Cell.Dev.Biol. – Plant*. 2007; 43: 370–381.
18. *Reed B.M., Wada S., DeNoma J., Niedz R.P.* Mineral nutrition influences physiological responses of pear in vitro. *In Vitro Cell.Dev.Biol. – Plant*. 2013; 49: 699–709.
19. *Ramage C.M., Williams R.R.* Mineral nutrition and plant morphogenesis. *In Vitro Cell Dev Biol-Plant*. 2002; 38: 116–124.
20. *Greenway M.B., Phillips I.C., Lloyd M.N., Hubstenberger J.F., Phillips G.C.* A nutrient medium for diverse applications and tissue growth of plant species in vitro. *In Vitro Cell.Dev.Biol. – Plant*. 2012; 48: 403–410.
21. *George E.F., Hall M.A., De Klerk G.J.* The components of plant tissue culture media I: macro- and micro-nutrients. *Plant Propagation by Tissue Culture*. New York: Springer. 2007; 3: 65–113.
22. *Hand C., Reed B.M.* Minor nutrients are critical for the improved growth of *Corylus avellana* shoot cultures. *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 2014; 119: 427–439.

23. Garrison W., Dale A., Saxena P. Improved shoot multiplication and development in hybrid hazelnut nodal cultures by ethylenediamine di-2-hydroxy-phenylacetic acid (Fe-EDDHA). *Can. J. Plant Sci.* 2013; 93: 511–521.
24. Jolley V.D., Cook K.A., Hansen N.C., Stevens W.B. Plant Physiological Responses for Genotypic Evaluation of Iron Efficiency in Strategy I and Strategy II Plants – A Review. *Journal of plant nutrition.* 1996; 19: 1241–1255.
25. Molassiotis A.N., Dimassi K., Therios I., Diamantidis G. Fe-EDDHA promotes rooting of rootstock GF-677 (*Prunus amygdalus* 9 P. *persica*) explants in vitro. *Biol. Plant.* 2004; 1: 141–144.
26. Padmanabhan P., Shukla M.R., Sullivan J.A., Saxena P.K. Iron supplementation promotes in vitro shoot induction and multiplication of *Baptisia australis*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture.* 2017; 129: 145–152.
27. Van der Salm T.P.M., Van der Toorn C.J.G., Hanish ten Cate C.H., Dubois L.A.M., De Vries D.P., Dons H.J.M. Importance of the iron chelate for micropropagation of *Rosa hybrida* L. ‘Moneyway’. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture.* 1994; 37: 73–77.
28. Andres H., Fernandez B., Rodriguez R., Rodriguez A. Phytohormone contents in *Corylus avellana* and their relationship to age and other developmental processes. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 70. 2002: 173–180.
29. Perez-Tornero O., Lopez J.M., Egea J., Burgos L. Effect of basal media and growth regulators on the in vitro propagation of apricot (*Prunus armenica* L.) cv. Canino. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology.* 2000; 75 (3): 283–286.
30. Damiano C., La Starza S.R., Monticelli S., Gentile A., Caboni E., Frattarelli A. Propagation of *Prunus* and *Malus* by temporary immersion. HVOSLEF-EIDE A.K. AND PREIL W. (Ed.). *Liquid culture systems for in vitro plant propagation.* Netherlands: Springer. 2005: 243–251.
31. Zawadzka M., Orlikowska T. Fruit ornamental Plant Res Factors modifying regeneration in vitro of adventitious shoots in five red raspberry cultivars. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research.* 2006; 14: 105–115.
32. Wada S., Niedz R.P., DeNoma J., Reed B.M. Mesos components (CaCl₂, MgSO₄, KH₂PO₄) are critical for improving pear micropropagation. *In Vitro Cell.Dev.Biol. – Plant.* 2013; 49: 356–365.
33. Poonthonga S., Reed B.M. Modeling the effects of mineral nutrition for improving growth and development of micropropagated red raspberries. *Scientia Horticulturae.* 2014; 165: 132–141.
34. Carvalho A.A., Bertoluccia S.K.V.B., Silva G.M., Cunha S.H.B., Rozza H.L.H.R., Azzab S., J Pinto.E.B.P Mesos components (CaCl₂, MgSO₄, KH₂PO₄) induced changes in growth and ascaridole content of *Dysphania ambrosioides* L. in vitro. *Industrial Crops & Products.* 2018; 122: 28–36.
35. Bityutskiy N.P. Mikroelementy vysshikh rasteniy [Trace elements of higher plants]. SPb: Izd-vo SPb. un-ta, 2011: 368. (In Rus.)
36. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 1962; 15: 437–497.
37. GOST R54051–2010 Natsional’niy standart Rossiyskoy Federatsii. Plodovye i yagodnye kul’tury. Steril’nye kul’tury i adaptirovannye mikrorasteniya. Tekhnicheskie usloviya [Fruit and berry cultures. Sterile cultures and adapted microplants. Specification]. Approved by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of the Russian Federation dated November 30, 2010. No. 669-st. (In Rus.)
38. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul’tatov issledovaniy): uchebnik dlya studentov vysshikh sel’skokhozyaystvennykh

uchebnykh zavedeniy po agronomicheskim spetsial'nostyam [Methods of field experience: (with the basics of statistical processing of research results): a textbook for students of higher agricultural educational institutions in agronomic specialties]. 6th edition revised and enlarged. M: Al'yans, 2011: 350. (In Rus.)

39. *Isachkin A.V., Kryuchkova V.A.* Osnovy nauchnykh issledovaniy v sadovodstve: uchebnik dlya vuzov [Fundamentals of scientific research in horticulture: a textbook for universities]. Sankt-Peterburg: Lan', 2020: 420. (In Rus.)

Есаулко Александр Николаевич, декан факультетов агробиологии и земельных ресурсов, экологии и ландшафтной архитектуры, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН. ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ (355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, дом 12; e-mail: aesaulko@yandex.ru; тел.: (962) 400–41–95)

Раджабов Агамагомед Курбанович, директор института Садоводства и ландшафтной архитектуры, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127434, Российская федерация, город Москва, улица Тимирязевская, дом 49; e-mail: plod@rgau-msha.ru)

Айсанов Тимур Солтанович, доцент кафедры производства и переработки продуктов питания из растительного сырья, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ (355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, дом 12; e-mail: aysanov_timur@mail.ru; тел.: (988) 629–63–77)

Величко Виталий Юрьевич, заведующий лабораторией сельскохозяйственной биотехнологии, кандидат биологических наук. ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ (355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, дом 12; e-mail: vit-velichko@yandex.ru; тел.: (918) 801–14–50)

Акимова Светлана Владимировна, доцент кафедры плодового, виноградарства и виноделия, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент. ФГБОУ ВО Российский Государственный Аграрный Университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127434, Российская федерация, город Москва, улица Тимирязевская, дом 49. e-mail: akimova@rgau-msha.ru)

Никулина Елена Аркадьевна, заместитель начальника лаборатории заказного органического синтеза, ФГБУ институт химических реактивов и особо чистых химических веществ, НИЦ «Курчатовский институт» 107076, город Москва, улица Богородский вал, д.3, e-mail: nikulina@irea.org.ru)

Мацнева Анна Евгеньевна, заведующая отделом биотехнологии и ягодных культур учебно-научно-производственного центра садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна ФГБОУ ВО Российский Государственный Аграрный Университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127434, Российская федерация, город Москва, улица Тимирязевская, дом 49. e-mail: matsneva@rgau-msha.ru)

Aleksandr N. Esaulko, DSc (Ag), Professor of the Russian Academy of Sciences, Dean of the Faculties of Agrobiology and Land Resources, Ecology and Landscape Architecture, Stavropol State Agrarian University (12 Zootekhnicheskii Lane, Stavropol, 355017, Russian Federation; phone: (962) 400–41–95; E-mail: aesaulko@yandex.ru)

Agamagomed K. Radzhabov, DSc (Ag), Professor, Director of the Institute of Horticulture and Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: plod@rgau-msha.ru)

Timur S. Aysanov, PhD (Ag), Associate Professor of the Department of Production and Processing of Foodstuffs from Vegetable Raw Materials, Stavropol State Agrarian University (12 Zootekhnicheskij Lane, Stavropol, 355017, Russian Federation; phone: (988) 629–63–77; E-mail: aysanov_timur@mail.ru)

Vitaliy Yu. Velichko, PhD (Bio), Head of the Laboratory of Agricultural Biotechnology, Stavropol State Agrarian University (12 Zootekhnicheskij Lane, Stavropol, 355017, Russian Federation; phone: (918) 801–14–50; E-mail: vit-velichko@yandex.ru)

Svetlana V. Akimova, PhD (Ag), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: akimova@rgau-msha.ru)

Elena A. Nikulina, Deputy Head of the Laboratory of Custom Organic Synthesis, Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemical Substances of National Research Center “Kurchatov Institute”, National Research Center “Kurchatov Institute” (3 Bogorodsky Val Str., Moscow, 107076, Russian Federation; E-mail: nikulina@irea.org.ru)

Anna E. Matsneva, Head of the Department of Biotechnology and Berry Crops of the Research and Production Centre for Horticulture and Vegetable Growing named after V.I. Edelstein, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: matsneva@rgau-msha.ru)

ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОРТОВ ФЛОКСА МЕТЕЛЬЧАТОГО (*PHLOX PANICULATA* L.) ГБС ИМ. Н.В. ЦИЦИНА ПО МОРФОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

А.И. СОКОЛКИНА¹, О.Е. ХАНБАБАЕВА¹, И.А. БОНДОРИНА²,
В.Л. КУДУСОВА², О.А. СОРОКОПУДОВА¹

(¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева;

² ФГБУН Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН)

Осуществлена оценка морфологических признаков отечественных сортов флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.) коллекции ГБС им. Н.В. Цицина по ценным декоративным признакам с целью отбора нового селекционного материала, пригодного к использованию в срезке и для озеленения. Учет хозяйственных и декоративных признаков проведен в течение двух лет в соответствии с методикой госсортоиспытаний. Полученные данные статистически достоверны. По комплексу морфологических признаков выявлены перспективные отечественные сорта: «Гегеры», «Тимур», «Розовый ковер», «Мичуринец», «Сигизмунд Леваневский», «Атласный» и «Небеса», перспективные для дальнейшей селекции на получение качественной отечественной срезочной продукции у флокса.

Ключевые слова: флокс метельчатый, отечественные сорта, коллекция сортов, селекция, срезка, хозяйственно ценные признаки, декоративные признаки.

Введение

Флокс метельчатый (*Phlox paniculata* L.) – распространенная многолетняя травянистая культура, известная с 1732 г. [7]. Растение отличается морозостойкостью и неприхотливостью в условиях выращивания [1]. Благодаря выносливости, разнообразию сортимента и высоким декоративным качествам культура является чрезвычайно популярной в городском озеленении и в частных садах. Некоторые сорта, имеющие плотное и яркое соцветие, активно применяются во флористике за рубежом [3]. Достаточно высокий спрос на данную культуру обуславливает перспективность выращивания флокса метельчатого в промышленных масштабах для получения продукции растениеводства (рассады и срезки).

Флокс метельчатый – представитель рода Флокс (*Phlox* L.) семейства Синюховые (*Polemoniaceae* J) [12]. Согласно классификации Гаганова данный вид относится к кустовым флоксам, для которых характерны прямостоячие побеги, покрытые овально-ланцетовидными супротивно расположенными листьями. Кусты компактные, плотные, достигающие в высоту от 40 до 150 см (чаще – 60–80 см) [2]. В период цветения верхняя четверть куста представлена метельчатыми соцветиями разнообразной плотности, формы и окраски. Цветовое разнообразие варьируется от чистых белых до пурпурных и фиолетовых цветков, желтая пигментация не встречается, на лепестках бывают различные рисунки [4, 6]. Цветение начинается с первых месяцев лета и длится до середины осени. Семена созревают в коробочке в количестве 2–3 шт. [2].

Работа посвящена оценке отечественных сортов флокса метельчатого коллекции Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина по хозяйственным и декоративным признакам. Исследование проводилось с целью отбора перспективных в дальнейшей селекционной работе сортов с точки зрения получения продукции на срезку.

Материал и методика исследований

Исследования проводились на базе коллекции отечественных сортов флокса метельчатого, представленной на территории Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН. Коллекция представлена 37 сортами российской селекции (табл. 1).

Таблица 1

Структура коллекции сортов флокса метельчатого отечественной селекции в ГБС РАН им. Н.В. Цицина (2020–2021 гг.)

№ п/п	Наименование сорта	Оригинатор	Год регистрации
1	«Аккурат»	Репрев Ю.А.	2008
2	«Андрейка»	Гаганов П.Г.	1957
3	«Атласный»	Берлизов Н.М.	1954
4	«Врубель»	Репрев Ю.А.	1987
5	«Гегеры»	Неизвестен	до 1963
6	«Гжель»	Константинова Е.А.	2003
7	«Голубой дым»	Краснова Н.С.	1966
8	«Дружба»	Краснова Н.С.	1966
9	«Жуковский»	Репрев Ю.А.	1982
10	«Иван-Заря»	Гаганов П.Г.	1958
11	«Карл Форстер»	Гаганов П.Г.	1958
12	«Киевский праздничный»	Харченко Е.Д.	до 1962
13	«Красень»	Горобец В.Ф., Кикавский И.В.	2009
14	«Леонид Вигоров»	Копытко Ю.Н.	1960
15	«Манон»	Бедингауз М.П.	1941
16	«Машуня»	Захарова З.Г.	1990
17	«Мираж»	Константинова Е.А.	1986
18	«Мичуринец»	Гаганов П.Г.	1946
19	«Мишенька»	Дронов М.	1968
20	«Небеса»	Репрев Ю.А.	1980
21	«Незнакомка»	Сухоручкина Л.Н.	до 1973
22	«Оленька»	Гаганов П.Г.	1938

№ п/п	Наименование сорта	Оригинатор	Год регистрации
23	«Петергоф»	Репрев Ю.А.	1978
24	«Принцесса Диана»	Репрев Ю.А.	2010
25	«Радость Жизни»	Репрев Ю.А.	1980
26	«Розовый ковер»	Краснова Н.С.	1954
27	«Святогор»	Гаганов П.Г.	1953
28	«Сеянец 53»	Гаганов П.Г.	1953
29	«Сигизмунд» Леваневский	Константинова Е.А.	1987
30	«Синеющий Гаганова»	Гаганов П.Г.	1972
31	«Сирень»	Заливский И.Л.	до 1960
32	«Сказка»	Гаганов П.Г.	1938
33	«Сходня»	Сухоручкина Л.Н.	до 1971
34	«Тимур»	Гаганов П.Г.	1956
35	«Успех»	Гаганов П.Г.	1937
36	«Фестивальный»	Грошникова В.Н.	1944
37	«Ярославна»	Гаганов П.Г.	1955

Большая часть коллекции представлена сортами П.Г. Гаганова (912 сортов), Ю.А. Репрева (7 сортов), Е.А. Константинова (3 сорта), Н.С. Краснова (3 сорта) [5]. Большинство известных сортов флокса получено путем отбора среди сеянцев от свободного опыления или с одним известным родителем.

Для оценки морфологических признаков коллекции были выделены следующие количественные и качественные признаки, являющиеся хозяйственно ценными для селекции флокса: высота и форма куста, количество побегов, размер листовой пластины, размер, плотность и форма соцветия, диаметр, окраска и форма цветка. По методике ГСИ проведена оценка ценных признаков в течение двух лет (табл. 2) [8, 9].

Самым неоднородным и сложным для описания признаком у декоративных цветочных культур является окраска цветка. Окраска цветка у флокса метельчатого сильно меняется в зависимости от времени суток, освещенности, агротехники и возраста растения.

В таблице 3 представлено разнообразие окраски цветка у отобранных родительских сортов.

1. *Окраску и форму* цветка оценивали от 1 до 5 баллов, так как признак имеет высокую значимость, вес одного балла был равен 5 ед. Окраска и форма всех отобранных сортов оригинальна и декоративна, данный показатель у всех составил 25 баллов. Коэффициент значимости составил 5.

2. *Диаметр цветка*, см, был выделен отдельным критерием. Оценивали: от 2,0 до 2,7 см – 1 балл; 2,8–3,1 см – 2 балла; 3,2–3,5 см – 3 балла; 3,6–4,0–4 балла; от 4,1 и выше – 5 баллов. Коэффициент значимости составил 5.

3. *Размеры соцветия (см), плотность*. Высота и ширина, см, оценивались от 1 до 5 баллов. Высота: 6,1–10,3 см – 1 балл; 10,4–14,9 см – 2 балла; 15,0–17,5 см – 3 балла; 17,6–21,5 см – 4 балла; от 21,6 см – 5 баллов. Ширина: 6,4–9,9 см – 1 балл; 10,0–12,5 см – 2 балла; 12,6–15,5 см – 3 балла; 15,6–18,7 см – 4 балла; от 18,8 см – 5 баллов. Плотность соцветия имела градацию от 1 до 3: плотный – 3 балла (25 ед.); средний – 2 балла (20 ед.); рыхлый – 1 балл (15 ед.). Итоговая оценка выставлялась по единицам рейтинга за все три характеристики.

4. *Оценка за форму куста* выставлялась исходя из суммы единиц рейтинга по показателям высоты и формы аналогично пункту 3. Высота куста: 38,2–53,3 см – 1 балл; 53,4–67,2 см – 2 балла; 67,3–80,0 см – 3 балла; 80,1–100,0 см – 4 балла; от 100,1 см – 5 баллов. Форма куста: компактный – 4 балла (25 ед.); полураскидистый – 3 балла (20 ед.); прямостоячий – 2 балла (15 ед.); раскидистый – 1 балл (10 ед.).

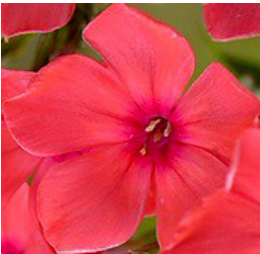
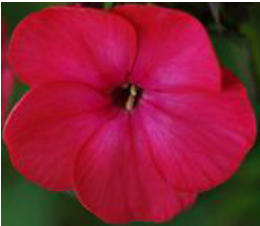
Таблица 2

**Основные морфологические признаки сортов
флокса метельчатого отечественной селекции коллекции ГБС РАН
им. Н.В. Цицина (среднее за 2020–2021 гг.)**

№ п/п	Наименование сорта	Высота куста, см	Размер листовой пластины, см		Размер соцветия, см		Диаметр цветка, см
			длина	ширина	высота	ширина	
1	«Аккурат»	74.5	8.7	3.1	11.5	14.4	3.5
2	«Атласный»	64.1	5.8	2.6	11.6	10.0	4.1
3	«Андрейка»	55.0	6.1	2.8	8.5	6.4	2.9
4	«Врубель»	61.2	6.8	2.3	11.5	10.3	3.6
5	«Гегеры»	71.5	9.0	3.8	15.0	21.1	3.7
6	«Гжель»	66.5	8.9	2.3	10.1	9.4	3.7
7	«Голубой дым»	67.0	7.4	2.4	12.1	9.1	3.3
8	«Дружба»	66.3	6.6	2.5	8.0	13.7	3.4
9	«Жуковский»	66.0	7.0	1.4	10.5	9.5	3.5
10	«Иван-Заря»	80.0	9.0	2.5	13.0	8.5	3.5
11	«Карл Форстер»	63.0	9.3	3.0	7.0	8.5	3.0
12	«Киевский праздничный»	74.0	7.7	2.9	10.5	17.3	3.4
13	«Красень»	112.3	10.6	2.7	12.4	18.3	2.8
14	«Леонид Вигоров»	43.5	4.5	1.5	6.1	7.0	4.0

№ п/п	Наименование сорта	Высота куста, см	Размер листовой пластины, см		Размер соцветия, см		Диаметр цветка, см
			длина	ширина	высота	ширина	
15	«Манон»	75.5	11.2	3.0	10.4	12.5	4.0
16	«Машуня»	44.0	8.6	2.0	6.5	7.0	3.3
17	«Мираж»	57.6	6.2	2.3	9.5	13.4	4.2
18	«Мичуринец»	65.0	6.8	2.1	12.2	21.8	3.6
19	«Мишенька»	62.4	6.5	1.4	17.5	22.3	3.3
20	«Небеса»	61.0	9.5	1.3	9.2	15.5	4.5
21	«Незнакомка»	53.4	10.1	1.2	19.0	14.2	3.8
22	«Оленька»	77.3	7.2	1.0	8.0	7.0	2.0
23	«Петергоф»	49.4	7.5	2.3	9.3	7.5	3.7
24	«Принцесса Диана»	55.5	6.3	1.9	15.0	16.1	4.3
25	«Радость Жизни»	64.6	8.4	2.2	14.5	9.0	4.1
26	«Розовый ковер»	38.2	8.6	2.7	13.9	20.5	3.8
27	«Святогор»	55.7	8.7	3.1	12.0	9.2	4.0
28	«Сеянец 53»	67.2	10.0	2.1	16.3	15.1	4.5
29	«Сигизмунд Леваневский»	42.3	5.5	2.5	11.2	13.5	3.9
30	«Синеющий Гаганова»	47.6	6.4	1.2	15.3	18.7	3.6
31	«Сирень»	47.0	8.8	0.9	13.1	8.6	2.1
32	«Сказка»	86.1	10.5	2.8	11.5	10.0	3.5
33	«Сходня»	46.0	7.9	1.0	8.3	8.5	3.0
34	«Тимур»	75.0	10.3	3.2	27.1	14.2	4.2
35	«Успех»	57.2	8.6	3.0	14.2	12.8	3.4
36	«Фестивальный»	60.2	13.7	3.4	15.0	12.3	3.8
37	«Ярославна»	55.3	7.8	1.9	13.2	10.1	3.2
НСР ₀₅		4.68	0.61	0.24	1.30	1.50	0.18

**Окраска цветка сортов флокса метельчатого отечественной селекции
коллекции ГБС РАН им. Н.В. Цицина (2020–2021 гг.)**

№ п/п	Наименование сорта	Окраска цветка	Изображение
1	«Аккурат»	светло-розовый с легким сиреневым оттенком и ярким малиновым колечком	
2	«Гегеры»	лиловато-сиреневый ровного тона с фиолетовым глазком, не выгорает	
3	«Иван-Заря»	красновато-коралловый с вишневым колечком, не выгорает	
4	«Киевский праздничный»	красновато-малиновый с темным малиновым глазком, не выгорает	
5	«Красень»	нежно-розовый, слегка дымчатый, с ярким карминным колечком	

№ п/п	Наименование сорта	Окраска цветка	Изображение
6	«Оленька»	светло-розовый с белой, слегка размытой звездой и пурпурным колечком, не выгорает	
7	«Сказка»	светло-розовый с ярким пурпурным, немного размытым глазом	
8	«Тимур»	насыщенный коралловый с светлым центром, не выгорает	

Результаты и их обсуждение

В 2020–2021 гг. в условиях открытого грунта проведена комплексная оценка сортов флокса метельчатого коллекции ГБС РАН им. Н.В. Цицина. Оценка включала в себя учет морфологических, ценных хозяйственных и декоративных признаков. В основе оценки заложена методика государственного сортоиспытания декоративных культур. Из перечня оцениваемых признаков выбраны важные для дальнейшей селекции на получение качественной срезки: окраска и форма цветка, его размер, плотность, высота и ширина соцветия, высота и форма растения.

Наиболее ценным признаком при селекции флокса на получение качественной срезки является признак «Высота растения, см» от которого зависит высота товарного цветоноса, см, при проведении срезки. Желательно, чтобы высота родительских растений не была ниже 70 см. По данному признаку выделены перспективные сорта 1 группы (более 80 см): «Красень» (112,3); «Сказка» (86,1); «Иван-Заря» (80,0). Перспективные сорта второй группы (более 70 см): «Оленька» (77,3); «Тимур» (75); «Аккурат» (74,5); «Киевский праздничный» (74); «Гегеры» (71,5). При этом установлено, что различия растений по высоте существенны и достоверны только у первой группы, а у второй группы существенных различий нет ($HCPO5 = 4,68$).

По комплексу морфологических признаков выделены сорта «Гегеры» и «Тимур», так как они имеют высоту растений более 70 см, крупное соцветие (диаметр более 20 см) и крупный цветок (диаметр более 3,5 см). Поэтому их можно рекомендовать в качестве ценного исходного родительского материала для дальнейшей селекции.

По итогам комплексной балльной оценки наименьшая сумма баллов составила 40 и относится к сорту «Сирень», наибольшая сумма равна 90 и соответствует сортам «Гегеры» и «Тимур». Детализированные результаты данной оценки представлены на рисунке 1.

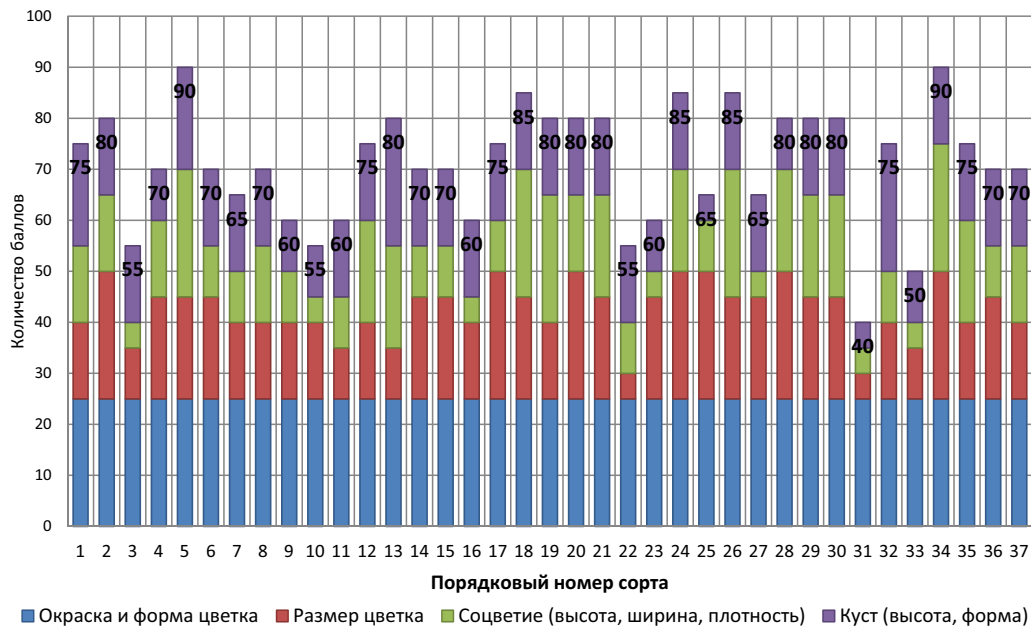


Рис. 1. Результаты балльной комплексной оценки коллекции сортов флокса метельчатого ГБС РАН им. Н.В. Цицина (среднее за 2020–2021 гг.)

Выводы

Наивысшую оценку за декоративность получили сорта «Гегеры» и «Тимур». Оба сорта характеризуются плотным и компактным кустом, достаточно крепким и декоративным соцветием, состоящим из крупных цветков ровной невыгорающей окраски. Также высокие баллы набрали сорта «Розовый ковер», «Принцесса Диана» и «Мичуринец». Эти сорта имеют крупные и плотные соцветия, однако стоит обратить внимание на то, что сорт «Принцесса Диана» имеет склонность к грязноватой окраске цветка при отцветании, поэтому он не рекомендуется для дальнейшей селекции. Сорт «Розовый ковер» отличается низкорослостью, высокой плотностью соцветий и компактностью куста. Сорт «Мичуринец» отличается очень ярким глазом при бледной окраске лепестков, что придает соцветию особенную декоративность.

Дополнить выборку стоит сортами «Атласный», «Сигизмунд Леваневский» и «Небеса», набравшими с флоксами «Красень», «Мишенька», «Незнакомка», «Святогор» и «Сеянец-53» равное количество баллов, но имеющими более декоративные плотные кусты, крупные соцветия с востребованными во флористике окрасками цветка.

Наименее пригодными для дальнейшей работы оказались сорта с миниатюрными и рыхлыми соцветиями, состоящими из очень мелких цветков. Это сорта

«Сирень», «Сходня», «Оленька», «Карл Форстер» и «Андрейка», для которых характерна также низкая плотность куста. Данные сорта больше пригодны для городского озеленения, чем для селекции на получение срезочного материала у флокса.

Библиографический список

1. Берёзкина И.В., Григорьева И.В. Библия садовых растений – М.: Эксмо, 2008. – 256 с.
2. Гаганов П.Г. Флоксы многолетние. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 208 с.
3. Иванова И.В., Ханбабаева О.Е. Декоративное садоводство с основами ландшафтного проектирования: Учебное пособие. – Ч. 2. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – 179 с.
4. Киселев Г.Е. Декоративные многолетние растения. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1952. – 384 с.
5. Константинова Е.А. Флоксы. – М.: Фитон+, 2004. – 143 с.
6. Матвеев И.В. Необычные флоксы // Цветоводство. – 2010. – № 1. – С. 3–35.
7. Матвеев И.В., Новикова В.С. Флоксы метельчатые. – М.: Фитон XXI, 2014. – 152 с.
8. Методика государственного сортоиспытания декоративных культур / Министерство сельского хозяйства РСФСР. Государственная комиссия по сортоиспытанию плодово-ягодных культур, винограда и цветочно-декоративных растений. – Москва: Издательство Министерства сельского хозяйства РСФСР, 1960. – 182 с.
9. Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Флокс метельчатый, флокс пятнистый и их гибриды. – RTG/1056/1. – 2006. – 13 с.
10. Тавлинова Г.К. Приусадебное цветоводство. – Л.: Агропромиздат, Ленинградское отделение, 1989. – 334 с.
11. Тутаюк В.Х. Анатомия и морфология растений: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1980. – 317 с.
12. Ханбабаева О.Е., Иванова И.В., Тазина С.В. Цветоводство с основами ландшафтного дизайна: Учебное пособие. – М.: МЭСХ, 2019. – 148 с.

EVALUATION BY MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE COLLECTION OF THE PANICULATA PHLOX (*PHLOX PANICULATA* L.) DOMESTIC CULTIVARS OF N.V. TSITSIN'S BOTANICAL GARDEN OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

A.I. SOKOLKINA¹, O.E. KHANBABAIEVA¹, I.A. BONDORINA²,
V.L. KUDUSOVA², O.A. SOROKOPUDOVA¹

(¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;
² N.V. Tsitsin's Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences)

*The study evaluated the morphological characteristics of the collection of Paniculate phlox domestic cultivars (*Phlox paniculata* L.) of N.V. Tsitsin's Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. Cultivars were rated by valuable decorative features in order to select a new breeding material suitable for use in cut flower production and gardening. Accounting of economic and decorative features were carried out within two years, in accordance with the methodology of state cultivar testing. The data obtained are statistically reliable. The complex of morphological features revealed promising domestic cultivars – 'Gegery', 'Timur', 'Rozovy kovyor', 'Michurinets', 'Sigismund Levanevsky', 'Atlas' and 'Nebesa', which are valuable breeding source material for domestic cut flower production.*

Key words: *panicule phlox, domestic cultivars, collection of cultivars, breeding, cut flower production, agronomic characters, decorative features.*

References

1. *Berezkina I.V., Grigor'eva N.V.* Bibliya sadovykh rasteniy [Bible of garden plants]. Moscow: Eksmo, 2008: 256. (In Rus.)
2. *Gaganov P.G.* Floksy mnogoletnie [Perennial phloxes]. Moscow: Selkhozizdat, 1963: 208. (In Rus.)
3. *Ivanova I.V., Khanbabaeva O.E.* Dekorativnoe sadovodstvo s osnovami landshaftnogo proektirovaniya: uchebnoe posobie. Ch. 2 [Decorative gardening with the basics of landscape design: textbook. Part 2]. Moscow: Izdatel'stvo RGAU-MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2013: 179. (In Rus.)
4. *Kiselev G.E.* Dekorativne mnogoletnie rasteniya [Ornamental perennial plants]. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo sel'skokhozyaystvennoy literatury, 1952: 384. (In Rus.)
5. *Konstantinova E.A.* Floksy [Phloxes]. Moscow: Fiton+, 2004: 143. (In Rus.)
6. *Matveev I.V.* Neobychnye floksy [Unusual phloxes]. Tsvetovodstvo. 2010; 1: 3–35. (In Rus.)
7. *Matveev I.V., Novikova V.S.* Floksy metel'chatye [Garden phloxes]. Moscow: Fiton XXI, 2014: 152. (In Rus.)
8. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya dekorativnykh kul'tur [Methodology of the state variety testing of ornamental crops]. Ministerstvo sel'skogo khozyaystva RSFSR. Gosudarstvennaya komissiya po sortoispytaniyu plodovo-yagodnykh kul'tur, vinograda i tsvetochno-dekorativnykh rasteniy. Moscow: Izdatel'stvo Ministerstva sel'skogo khozyaystva RSFSR, 1960: 182. (In Rus.)
9. Metodika provedeniya ispytaniy na otlichimost', odnorodnost' i stabil'nost'. Floks metel'chaty, Floks pyatnistiy i ikh gibridy. [Methods of conducting tests for distinctness, uniformity and stability. Panicle phlox, spotted phlox and their hybrids.]. RTG/1056/1, 2006: 13. (In Rus.)
10. *Tavlinova G.K.* Priusadebnoe tsvetovodstvo [Household floriculture] Leningrad: Agropromizdat. Leningr. otd-nie, 1989: 334. (In Rus.)
11. *Tutayuk V.H.* Anatomiya i morfologiya rasteniy: Uchebnoe posobie dlya s.-kh. vuzov. [Anatomy and morphology of plants: textbook for agricultural universities]. Moscow: Vyssh. shkola, 1980: 317. (In Rus.)
12. *Khanbabaeva O.E., Ivanova I.V., Tazina S.V.* Tsvetovodstvo s osnovami landshaftnogo dizayna: uchebnoe posobie [Floriculture with the basics of landscape design: textbook]. Moscow: MESKh, 2019: 148. (In Rus.)

Соколкина Анастасия Ивановна, аспирант, ассистент кафедры ландшафтной архитектуры, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: nleoni@mail.ru; тел.: (499) 977–17–82)

Ханбабаева Ольга Евгеньевна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: hanbabaeva@yandex.ru; тел.: (499) 977–17–82)

Бондорина Ирина Анатольевна, д-р биол. наук, заведующий лабораторией декоративных растений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (127276, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: bondo-irina@yandex.ru; тел.: (499) 977–91–45)

Кудусова Валентина Леонидовна, младший научный сотрудник лаборатории декоративных растений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (127276, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: felina3@yandex.ru; тел.: (499) 977–91–45)

Сорокопудова Ольга Анатольевна, д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: osorokopudova@yandex.ru; тел.: (925) 620–17–96)

Anastasiya I. Sokolkina, post-graduate student, Assistant Professor of the Landscape Architecture Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 977–17–82; E-mail: nleoni@mail.ru)

Ol'ga E. Khanbabaeva, PhD (Ag), Associate Professor of the Landscape Architecture Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 977–17–82; E-mail: hanbabaeva@yandex.ru)

Irina A. Bondorina, DSc (Bio), Head of the Laboratory of Ornamental Plants, N.V. Tsitsin's Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation; phone: (499) 977–91–45; E-mail: bondo-irina@yandex.ru)

Valentina L. Kudusova, Junior Research Associate of the Laboratory of Ornamental Plants, N.V. Tsitsin's Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation; phone: (499) 977–91–45; E-mail: felina3@yandex.ru)

Ol'ga A. Sorokopudova, DSc (Bio), Professor, Professor of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Plants, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (925) 620–17–96; E-mail: osorokopudova@yandex.ru)

АНАЛИЗ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ АРИДНОЙ ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.Н. КРЮЧКОВ¹, А.В. ВДОВЕНКО², А.С. СОЛОМЕНЦЕВА¹

(¹ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук;

² ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»)

Для решения научных и практических проблем в области агролесомелиорации аридных территорий особенно актуальным является сохранение защитных лесных насаждений (ЗЛН) искусственного происхождения на сельскохозяйственных землях, поскольку они оказывают положительное влияние на урожай сельскохозяйственных культур. Повышение устойчивости древесных насаждений к неблагоприятным природно-климатическим факторам аридной зоны, увеличение срока их мелиоративного воздействия на плодородие почв, улучшение экологического состояния аграрных ландшафтов являются первоочередной задачей в агролесомелиоративных мероприятиях. Созданные в середине XX в., без глубокого анализа почвенно-геологических условий, учета солеустойчивости и должного ухода на протяжении долгого времени, лесные полосы стали деградировать и потеряли основную функциональность. Призванные в первую очередь смягчить жесткий климат Волгоградской области, лесные полосы потеряли также и эстетическую привлекательность. С учетом значительного опыта искусственного лесоразведения в аридной зоне и в условиях сухой степи, до настоящего времени отсутствует четкое научное обоснование создания устойчивых защитных лесных насаждений, которые способны обеспечить соответствующий мелиоративный эффект, направленный на снижение скорости ветра, улучшение микроклимата полей и стабилизацию водной и ветровой эрозии. В целях рассчитываемого эффекта в области агролесомелиорации был проведен анализ состояния древесных насаждений в защитных лесных полосах, поскольку необходимо улучшить ассортимент древесных и кустарниковых видов, которые используют при создании искусственных лесопосадок. Были исследованы жаростойкость, зимостойкость семян наиболее распространенных древесных насаждений (таких, как *Quercus robur*, *Ulmus pumila*, гибриды вязов, *Ulmus minor*, *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus lanceolata*, *Caragana arborescens*, *Ribes aureum*, *Tamarix ramosissima*), изучена их солеустойчивость, долговечность семенного поколения. На основании полученных результатов был сформулирован вывод, заключающийся в том, что наиболее перспективными для защитного лесоразведения являются такие роды, как *Ulmus pumila*, *Ulmus pumila* x *carpinifolia*, *Ulmus carpinifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Celtis occidentalis* и *Caragana arborescens*, эффективность селекции которых доказана общим состоянием многих защитных лесных насаждений и их устойчивостью в аридном регионе.

Ключевые слова: защитные лесные насаждения, устойчивость древесных и кустарниковых видов, морозостойкость, жаростойкость, солеустойчивость.

Введение

Волгоградская область – малолесной регион, в котором площадь лесов от общей площади региона (113 тыс. км²) составляет всего 4,3% (К.Н. Кулик и др.) [5], и на территории Волгоградской области необходимо иметь порядка 330 тыс. га ЗЛН, из которых на данный момент имеется всего 130, 7 тыс. га [2]. На территории широко

распространены различные деградационные процессы земель. Их развитие связано как с почвенно-климатическими условиями (дефляция, засуха, суховеи, малое количество осадков, неустойчивый снежный покров, водная эрозия), так и с деятельностью человека (переуплотнение, обеднение биоты почвы, и как следствие – снижение устойчивости агроэкосистем в связи с развитием орошения, осолонцевание, вторичное засоление и т.д.). При проведении оценки деградации земель районов Волгоградской области по базовому алгоритму Е.В. Цветовым и др. [10] выявлено, что деградации подвержено более 60% земель от общей площади региона, а сам баланс имеет отрицательное значение – 46,8% [1, 3].

Для улучшения экологической обстановки, обеспечения действующей защиты почв в землях сельскохозяйственного назначения от усиливающихся процессов деградации земель необходимо иметь научно обоснованную площадь ЗЛН [2]. Но чтобы лесные полосы были наиболее эффективными, необходимо учитывать как экологический фон, генетику растений, их биологические свойства, так и экологические условия: засоленность, неоднородность рельефа, недостаток влаги. Так, вследствие климатических особенностей было отмечено усыхание лесомелиоративных насаждений с участием *Quercus robur*, *Belula pendula*, *Ulmus pumila*, *Elaeagnus angustifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Prunus domestica*, *Gleditsia triacantos* и др. В то же время *Fraxinus lanceolata*, *Ulmus minor*, *Ulmus pumila*, *Pyrus pyraster* и многие кустарниковые виды (*Caragana arborescens*, *Cotinus coggygia*, *Ribes aureum*, *Lonicera tatarica* и др.) практически не пострадали. Но помимо усохших древесных культур, были выявлены гибриды форм вязов и робинии, отличающиеся морозоустойчивостью.

Материал и методы исследований

Объект исследования – защитные лесные полосы на территории Волгоградской области с целью выяснения их устойчивости к природно-климатическим условиям аридной зоны нашего региона для проведения агролесомелиоративных мероприятий (рис. 1). Основными показательными критериями, лимитирующими рост древесно-кустарниковых видов в ЗЛН, являются их засухо-, соле-, морозоустойчивость, жаро- и зимостойкость [6]. Оценка солеустойчивости определялась при создании искусственного засоления в вегетационных сосудах [10].

Морозоустойчивость определялась путем помещения 1–2-летних потомств в холодильную установку с последующим промораживанием при разных температурах (от –9 до –21°C) в течение суток. Температура, при которой 50% растений было признано нежизнеспособными, является критической.

Зимостойкость древесно-кустарниковых видов оценивалась по следующей шкале:

VII – растение погибло; VI – полное обмерзание побегов и стволов; V – обмерзание побегов и стволов выше снежного покрова; IV – обмерзание старых побегов и однолетних; III – 5–100% длины однолетних побегов подверглось обмерзанию; II – менее 50% однолетних побегов подверглось обмерзанию; I – растение не обмерзает. Одновременно с этим шкала для определения морозоустойчивости растений выглядит следующим образом: растение не мерзнет – 0%; растение обмерзает слабо – 0,1–0,9%; растение обмерзает умеренно 1,0–7%; растение обмерзает значительно – 8,0–69%; растение вымерзает полностью 70,0–100% [4].

В вегетативных сосудах в лабораторных условиях определялась засухоустойчивость видов путем создания искусственной засухи и доведения почвенной влажности до двойной максимальной гигроскопичности.

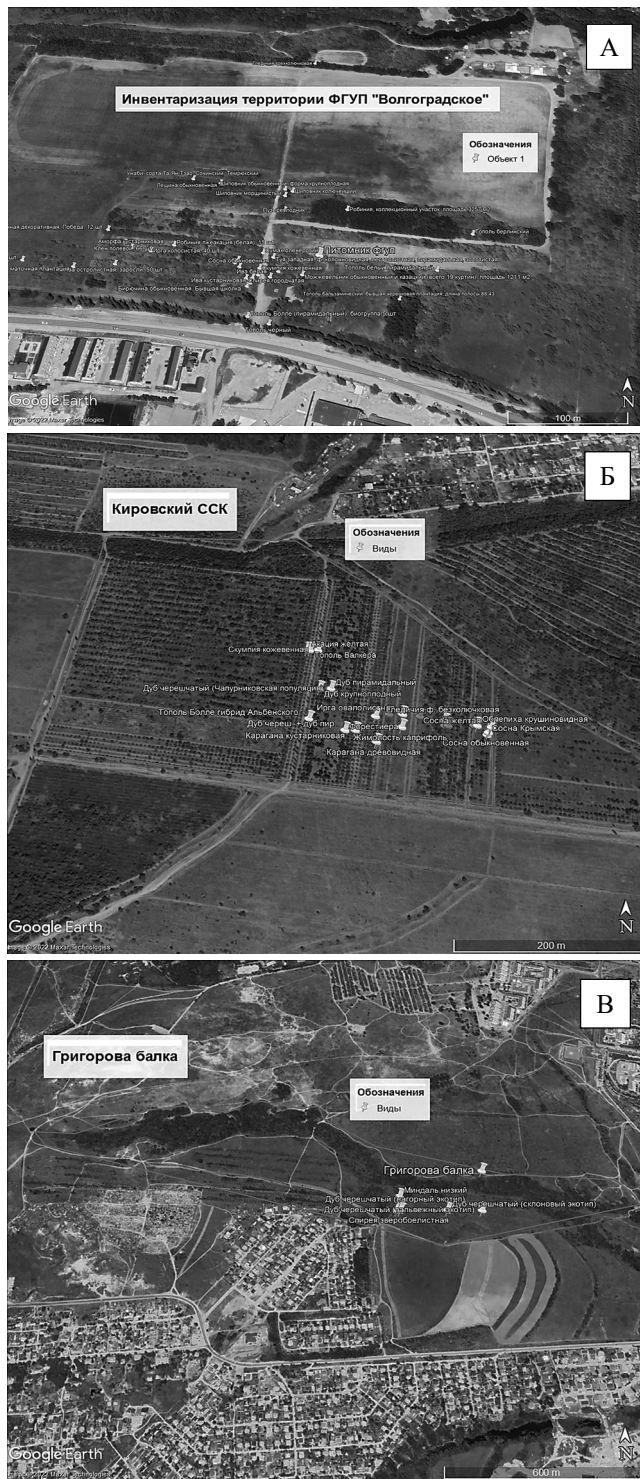


Рис. 1. Спутниковые снимки и координаты обследуемых участков:
 а – ФГУП «Волгоградское» (№ 48°37'50.37»С; Е48°37'50.37»С);
 б – Кировский ССК (№ 48°37'02.7»С; Е044°22'26.9»В);
 в – Григорова балка (№ 48°38'50.06,6»С; Е044°24'13.5»В)

Результаты и их обсуждение

Волгоградская область расположена в пределах двух крупных почвенных зон: каштановой (31,2% от общей площади области) и черноземной (31,5%). Присутствуют песчаные почвы (Арчединско-Донские пески, Приволжские пески), в которых содержание кремнезема достигает 91% [5].

Наибольший тип засоления, распространенный на территории Волгоградской области, – сульфатный и хлоридный. Для многих древесно-кустарниковых видов он может быть крайне токсичным, но кустарники с поверхностной коревой системой могут нормально расти и развиваться и при близком залегании солей [6].

Климат – континентальный, засушливый. На территории наблюдается резкий дефицит влаги, вследствие чего в летний период – суховеи, краткие интенсивные ливневые дожди, засухи, пыльные бури, лесные пожары. Так, по данным Н.А. Ткаченко [7], за весь период 1961–2016 гг. достаточной влагой были обеспечены: Волгоград – 5,4% (3 раза); Фролово – 5,4% (3 раза); Урюпинск – 8,9% (5 раз) [7]. В зимнее время наблюдаются такие опасные метеоусловия, как метели, образование ледовой корки в полях на посевах, гололед, мороз с отсутствием стабильного снежного покрова. Интенсивное сельскохозяйственное производство приводит к ухудшению агрофлоры и качества получаемой продукции. Агролесомелиорация, защитное лесоразведение – одни из основных доступных способов защиты земель от деградации и повышения урожайности выращиваемых культур. Исходя из этого, необходимо провести анализ имеющихся древесных насаждений, их семенного потомства в ЗЛН на устойчивость к жестким условиям аридной зоны Волгоградской области для дальнейшего восстановления и создания новых лесных полос.

Защитное лесоразведение является наиболее экологичным и экономически эффективным средством, предотвращающим регрессивные процессы земель. Посадка защитных лесных насаждений (ЗЛН) в регионе началась еще в XIX в., но основная масса была создана в послевоенный период (50–70-е гг. XX в.). В большинстве своем насаждения находятся в удручающем состоянии (рис. 2, 3) ввиду достижения предельного возраста, плохих лесорастительных условий и антропогенного прессинга.

Агролесомелиоративное районирование рекомендуемым ассортиментом древесных видов зависит от лесопригодности почв. Нелесопригодные почвы – это почвы, относящиеся к четвертой категории (IV) пригодности почв, имеющие соленосные выщелоченные горизонты или токсичное количество водорастворимых солей с коренепроницаемым экраном на глубине не менее 1 м. К этой категории относятся солонцы и солончаки (с преобладанием участков более 50%), светло-каштановые или бурые почвы с тяжелым гранулометрическим составом. Произрастание на таких почвах древесно-кустарниковой растительности невозможно без технологических операций, включающих в себя коренную мелиорацию.

Лесопригодными считают соответственно почвы, в которых нет признаков засоления, солонцеватости, глубина залегания коренепроницаемых экранов которых расположена ниже 2 м. Отсутствуют сильнокарбонатные горизонты, почвенные разности незэродированные или слабоэродированные – I категория. Чаще всего к этой группе относятся западины (средние или крупные), понижения, которые могут накапливать дополнительную влагу, – места, где можно создать хозяйственно-ценные древесные насаждения, устойчивые к условиям окружающей среды. Пониженная лесопригодность – II категория, присутствие в степной и лесостепной зоне средне- и сильноэродированных почвенных разностей говорит о целесообразности создавать ЗЛН из высокорослых кустарников с использованием селекционно-улучшенных устойчивых деревьев. Условная лесопригодность – III категория лесопригодности почв, когда водорастворимые соли

содержатся на глубине 2 метра, корненопроницаемые экраны – на глубине 1–2 м, содержание солонцов составляет 25%. На почвах III группы рациональнее всего использовать кустарниковые кулисы с высокой засухо- и солеустойчивостью [8, 9].



Рис. 2. Состояние защитных лесных полос в Волгоградской области



Рис. 3. Загущение ЗЛН в Волгоградской области

По категории лесопригодности почвы сухостепной зоны 1 категории составляют 21–38% от общей территории, 1/3 ее площади относится к условно лесопригодным.

С учетом глубины залегания солей в почвенном покрове необходим строгий подбор солеустойчивого древесно-кустарникового ассортимента [10]. При ранее произведенной посадке данный фактор не был учтен, что стало причиной заметного ухудшения состояния и гибели многих видов в защитных лесных и озеленительных насаждениях. Между содержанием вредных солей и их токсичностью, влияющей на состояние растений, существует прямая зависимость, которую также необходимо учитывать при посадках на всех типах лесопригодности почв с учетом влияния также и погодно-климатических условий.

При проведении многолетних исследований установлены 5 основных групп устойчивости древесно-кустарниковых растений к засолению почв (по мере возрастания). Так, наиболее солеустойчивыми являются виды *Salsola daniela* и *Haloxylon*

ammodendron, порог токсичности и сумма солей у которых превышает 1,5%. Очень слабо солевыносливыми (порог токсичности и сумма солей > 0,3%) являются хвойные: *Pinus*, *Picea*. Слабо солевыносливыми являются *Betula*, *Quercus*, *Tilia*, *Populus*, *Acer*, *Ulmus*, *Gleditsia* (> 0,4%), солевыносливыми – *Lonicera*, *Ribes aureum*, *Malus sylvestris*, *Amorpha*, *Crataegus*, *Fraxinus*, *Elaeagnus*, *Robinia*, *Caragana* (> 0,5%). А наиболее солевыносливыми являются *Artemisia*, *Camphorosma*, *Kochia*, *Ceratoides papposa*, *Tamarix ramosissima* (> 0,7%) (табл. 1). Но помимо солеустойчивости, необходимо также знать зимостойкость и морозоустойчивость древесно-кустарниковых видов.

Таблица 1

**Биоэкологическая устойчивость древесных видов
в ЗЛН Волгоградской области**

Вид	Побеги, Подмерзание, балл*	Водный дефицит, %**	Сумма солей, %***
<i>Pinus sylvestris</i>	1	12±0,1	0,4
<i>Artemisia vulgaris</i>	2	9±0,1	0,9
<i>Betula pendula</i>	1	23±0,1	0,4
<i>Camphorosma Sauvages</i>	2	16±0,1	0,1
<i>Salsola daniela</i>	2	10±0,1	1,9
<i>Kochia prostrata</i>	2	13±0,5	0,9
<i>Ulmus laevis</i>	1	9±0,1	0,3
<i>Acer platanoides</i> ,	1	14±0,2	0,4
<i>Fraxinus excelsior</i>	1	13±0,3	0,3
<i>Quercus</i> , <i>robur</i> ,	1	8±0,2	0,4
<i>Ulmus minor</i>	1	17±0,6	0,3
<i>Ulmus pumila</i>	1	15±0,5	0,4
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1	14±0,2	0,5
<i>Pinus pallasiana</i>	1	11±0,1	0,2
<i>Haloxylon ammodendron</i>	1	8±0,1	1,8
<i>Prunus domestica</i>	1	10±0,4	0,3
<i>Gleditsia triacanthos</i>	1	14±0,5	0,4
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	1	16±0,4	0,5
<i>Juniperus communis</i>	2	10±0,3	0,8
<i>Fraxinus lanceolata</i>	2	7±0,2	0,6
<i>Malus sylvestris</i>	2	12±0,4	0,6
<i>Cotinus coggygria</i>	2	11±0,7	0,7

Вид	Побеги, Подмерзание, балл*	Водный дефицит, %**	Сумма солей, %***
<i>Lonicera tatarica</i>	2	12±0,2	0,5
<i>Tamarix ramosissima</i>	2	8±0,11	0,7
<i>Amorpha fruticosa</i>	2	14±0,3	0,5
<i>Caragana arborescense</i>	2	11±0,2	0,6
<i>Picea rubra</i>	2	16±0,1	0,1
<i>Populus nigra</i>	2	15±0,5	0,4
<i>Tilia cordata</i>	2	18±0,2	0,3
<i>Ribes aureum</i>	2	10±0,3	0,6
<i>Ceratiodes paposa</i>	2	16±0,6	0,7
<i>Crataegus monogyna</i>	2	12±0,4	0,6
Минимальная t воздуха, °C	–28		
Максимальная t воздуха, °C		+43	

*1 – отличная зимостойкость; 2 – хорошая зимостойкость.

**8–12 – хорошая засухоустойчивость; 13–18 – средняя засухоустойчивость; 18 и выше – слабая засухоустойчивость.

***1,5 и выше – отличная солеустойчивость; >0,7 – наиболее солевывосливающее растение; >0,5 – солевывосливающее растение; >0,4 – слабо солевывосливающее растение; >0,3 – очень слабосолевывосливающее растение.

По убыванию наиболее морозостойкие виды включают в себя *Pinus*, *Betula*, *Ulmus*, *Acer*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Robinia*, *Gleditsia*, *Elaeagnus*, *Prunus*, *Haloxylon*.

В порядке возрастания самыми засухоустойчивыми видами являются *Pinus*, *Juniperus*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Prunus*, *Malus*, *Cotinus*, *Lonicera*, *Amorpha*, *Caragana*, *Tamarix*, *Haloxylon*.

Проведен анализ долговечности семенного поколения древесных культур в условиях сухостепной зоны по группам лесопригодности почв, результат которого изложен в таблице 2. Установлено, что наиболее подходящими культурами являются *Ulmus minor*, *Fraxinus lanceolata*, *Ulmus laevis*, среди кустарников – *Caragana arborescens*, *Tamarix ramosissima*, *Cotinus coggygia*.

Таким образом, получается, что долговечность ЗЛН в аридных условиях крайне невысокая, а отсутствие естественного качественного возобновления является причиной проведения коротких искусственных ротаций с использованием весьма ограниченного ассортимента древесно-кустарниковой растительности. В степной зоне ЗЛП состоят из малоценных главных пород (*Acer negundo*, *Ulmus pumila*, *Fraxinus excelsior*) исключая местные виды (*Quercus robur*, *Betula pendula*, *Tilia cordata* и др.). Также редко используются или не используются совсем перспективные виды: *Quercus rubra*, *Acer platanoides* и *Fraxinus excelsior*, *Pinus pallasiana* и *Pinus ponderosa*, плодовые и ягодные растения (*Pyrus*, *Corylus*, *Hippophae*, *Shepherdia*, *Aronia*, *Amelanchier*, *Sorbus*, *Viburnum* и др.).

**Долговечность древесно-кустарниковых видов
по категориям лесопригодности почв**

Вид (название)	Лесопригодность почв, номер категории		
	I	II	III
Деревья			
<i>Quercus robur</i>	40–50	25–30	-
<i>Ulmus pumila</i>	25–30	20–25	10–15
<i>Ulmus laevis</i>	25–40	20–30	20–25
<i>Ulmus minor</i>	40–45	30–35	25–30
<i>Ulmus</i> (гибриды вяза)	30–50	30–35	10–15
<i>Robinia pseudoacacia</i>	40–45	30–35	10–15
<i>Fraxinus lanceolata</i>	40–45	25–30	15–20
Кустарники			
<i>Cotinus coggygria</i>	40–50	30–40	20–25
<i>Tamarix ramosissima</i>	40–60	30–50	20–30
<i>Caragana arborescens</i>	50–70	40–50	30–40
<i>Ribes aureum</i>	20–25	20–25	10–15

В сухой степи, пустынной и полупустынной зонах стоит применять выборочные методы посадки, поскольку пестрота почвенного покрова, гидрологические условия произрастания определяют ценность посадки главных древесных и кустарниковых видов, устойчивых к засолению, морозам и засухе.

Выводы

Нижнее Поволжье, включающее в себя сухостепную, полупустынную и пустынную зоны, характеризуется неблагоприятными почвенными, гидрологическими, климатическими и антропогенными условиями. Агролесомелиоративное обустройство крайне необходимо для повышения продуктивности земель региона в неудовлетворительном состоянии. Установлено, что причинами регрессии земель являются неправильный подбор ассортимента видов без выявления их генетических свойств как исходного материала, нарушение технологий посадки защитных лесных насаждений.

Нами произведен подбор наиболее подходящих видов древесных насаждений с учетом почвенной лесопригодности. Было выявлено, что наиболее перспективными для защитного лесоразведения и озеленения являются такие роды, как *Ulmus pumila*, *Ulmus pumila x carpinifolia*, *Ulmus carpinifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Celtis occidentalis* и *Caragana arborescens*, эффективность селекции которых была доказана их оптимальным ростом, развитием и долговечностью в жестких условиях засушливого региона.

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. Воронина В.П., Шубнова М.В., Вдовенко А.В. Биогеоценотическая роль *Chaetocytisus borysthenticus* на песках Нижнего Поволжья // Известия НВ АУК. – 2020. – № 3 (59). – С. 79–91.
2. Залывская О.С., Бабич Н.А. Зимостойкость и морозоустойчивость интродуцентов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 1 (100). – С. 105–110.
3. Иозус А.П., Завьялов А.А., Крючков С.Н. Устойчивость деревьев и кустарников в лесоаграрных ландшафтах сухой степи // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 11–1. – С. 124–128.
4. Иозус А.П., Завьялов А.А., Крючков С.Н. Биоэкологическая характеристика древесных видов в условиях выращивания в сухой степи // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 10. – С. 131–134.
5. Кулик К.И., Барабанов А.Т., Манаенков А.С., Кулик А.К. Обоснование прогноза развития защитного лесоразведения в Волгоградской области // Проблемы прогнозирования. – 2017. – № 6. – С. 93–100.
6. Крючков С.Н., Стольников А.С. Стратегия сортового семеноводства для искусственного лесоразведения в экстремально засушливых условиях // Научно-агрономический журнал. – 2018. – № 2 (103). – С. 48–50.
7. Латкина Т.В., Латкин В.Н. Состояние лесозащитных полос в Волгоградской области // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 9. – С. 93–100.
8. Лесопригодные почвы // Комитет лесного хозяйства Московской области 2019. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://klh.mosreg.ru/deyatelnost/lesnaya-enciklopediya/o-lese/lesoprigrigodnye-pochvy> (дата обращения: 08.05.2021).
9. Ткаченко Н.А. Засухи и урожайность зерновых культур в Волгоградской области // Известия НВ АУК. – 2018. – № 4 (52). – С. 171–178.
10. Цветнов Е.В., Макаров О.А., Цветнова О.Б., Крючков Н.Р. Опыт совмещенной оценки нейтрального баланса деградации земель Волгоградской области и их эколого-экономического ущерба // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 1. – С. 12–15.

ANALYSIS OF THE VIABILITY OF TREE SPECIES IN THE PROTECTIVE FOREST STRIPS OF THE ARID TERRITORY OF THE VOLGOGRAD REGION

S.N. KRUYCHKOV¹, A.V. VDOVENKO², A.S. SOLOMENTSEVA¹

(¹ Federal Research Centre for Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences,

² Volgograd State Agrarian University)

To solve scientific and practical problems in the field of agroforestry of arid territories, it is particularly relevant to preserve protective forest plantations of artificial origin on agricultural lands, since they have a positive impact on the yield of agricultural crops. Increasing the resistance of tree plantations to unfavorable natural and climatic factors of the arid zone, increasing

the period of the reclamation effect on soil fertility, improving the ecological state of agrarian landscapes is a priority task in agroforestry reclamation measures. Created in the middle of the XX century, without deep analysis of soil and geological conditions, without taking into account salt resistance and proper care for a long time, forest strips began to degrade and lost their basic functionality. Intended primarily to mitigate the harsh climate of the Volgograd region, forest strips have also lost their aesthetic appeal. Taking into account the considerable experience of artificial afforestation in the arid zone and in the conditions of the dry steppe, there is still no clear scientific justification for the creation of sustainable protective forest plantations that can provide an appropriate reclamation effect aimed at reducing wind speed, improving the microclimate of fields and stabilizing water and wind erosion. In order for agroforestry in the region to have the calculated effect, an analysis of tree plantations in protective forest strips was carried out, since it is necessary to improve the range of tree and shrub plantations that are used in the creation of artificial forest plantations. The heat resistance and winter hardiness of seeds of the most common tree plantations (such as *Quercus robur*, *Ulmus pumila*, зубриды вязов, *Ulmus minor*, *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus lanceolata*, *Caragana arborescens*, *Ribes aureum*, *Tamarix ramosissima*) were studied, their salt resistance and durability of the seed generation were studied. Based on the results obtained it was concluded that the most promising for protective afforestation are such genera as: *Ulmus pumila*, *Ulmus pumila* x *carpinifolia*, *Ulmus carpinifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Celtis occidentalis* u *Caragana arborescens*, the breeding efficiency of which has been proved by the general condition of many protective forest plantations and their resistance in the arid region.

Key words: protective forest plantation, resistance of tree and shrub species, frost resistance, heat resistance, salt resistance.

References

1. Voronina V.P., Shubnova M.V., Vdovenko A.V. Biogeotsenoticheskaya rol' *Shamaecytisus borysthenticus* na peskakh Nizhnego Povolzh'ya [Biogeocenotic role of *Shamaecytisus borysthenticus* in the sands of the Lower Volga region]. *Izvestiya NV AUK*. 2020; 3 (59): 79–91. (In Rus.)
2. Zalyvskaya O.S., Babich N.A. Zimostoykost' i morozoustoychivost' introdutsentov [Winter hardiness and frost resistance of exotic plants]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik*. 2014; 1 (100): 105–110. (In Rus.)
3. Iozus A.P., Zav'yalov A.A., Kryuchkov S.N. Ustoychivost' derev'ev i kustarnikov v lesoagarnykh landshvaytkh sukhoy stepi [Stability of trees and shrubs in forest-agrarian landscapes of dry steppe]. *Mezhdunarodniy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018; 11–1: 124–128. (In Rus.)
4. Iozus A.P., Zav'yalov A.A., Kryuchkov S.N. Bioekologicheskaya kharakteristika drevesnykh vidov v usloviyakh vyrashchivaniya v sukhoy stepi [Bio-ecological characteristics of woody species under growing conditions in dry steppe]. *Mezhdunarodniy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018; 10: 131–134. (In Rus.)
5. Kulik K.N., Barabanov A.T., Manaenkov A.S., Kulik A.K. Obosnovanie prognoza razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Volgogradskoy oblasti [Rationale for the forecast of protective afforestation development in the Volgograd Region]. *Problemy prognozirovaniya*. 2017; 6: 93–100. (In Rus.)
6. Kryuchkov S.N., Stol'nov A.S. Strategiya sortovogo semenovodstva dlya iskusstvennogo lesorazvedeniya v ekstremal'no zasushlivykh usloviyakh [Strategy of variety seed production for artificial afforestation in extremely arid conditions]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal*. 2018; 2 (103): 48–50. (In Rus.)
7. Latkina T.V., Latkin V.N. Sostoyanie lesozashchitnykh polos v Volgogradskoy oblasti [State of forest shelter belts in Volgograd Region]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018; 9: 93–100. (In Rus.)

8. Lesoprigochnye pochvy [Forest soils]. Committee of Forestry of the Moscow Region 2019. [Electronic source]. URL: <https://klh.mosreg.ru/deyatelnost/lesnaya-enciklopediya/o-lese/lesoprigochnye-pochvy> (Access date: 08.05.2021) (In Rus.)

9. Tkachenko N.A. Zasukhi i urozhaynost' zernovykh kul'tur v Volgogradskoy oblasti [Droughts and grain crop yields in Volgograd region]. Izvestiya NV AUK. 2018; 4 (52): 171–178. (In Rus.)

10. Tsvetnov E.V., Makarov O.A., Tsvetnova O.B., Kryuchkov N.R. Opyt sovmeshchennoy otsenki neytral'nogo balansa degradatsii zemel' Volgogradskoy oblasti i ikh ekologo-ekonomicheskogo ushcherba [Experience of combined evaluation of neutral balance of land degradation in Volgograd Region and their ecological and economic damage]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2021; 35 (1): 12–15. (In Rus.)

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.

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-кт Университетский, 97; e-mail: kryuchkov@vfanc.ru)

Вдовенко Анастасия Васильевна, канд. с.-х. наук, зав. кафедрой (и.о.), доцент, зам. декана по учебной работе, Волгоградский государственный аграрный университет (400002, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-кт Университетский, 26; e-mail: anastasiya.vdovenko@mail.ru; тел.: (8442) 41–12–11, 46–25–77)

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

Sergei N. Kryuchkov, DSc (Ag), Chief Research Associate of the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery Production, Federal Research Centre for Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (97 Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation; E-mail: kryuchkov@vfanc.ru)

Anastasiya V. Vdovenko, PhD (Ag), Associate Professor, Acting Head of the Department, Deputy Dean for Academic Affairs, Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskiy Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation; phone: (442) 41–12–11, (442) 46–25–77; E-mail: anastasiya.vdovenko@mail.ru)

Aleksandra S. Solomentseva, PhD (Ag), Senior Research Associate of the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery Production, Federal Research Centre for Agroecology, Complex Reclamation 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)

СВЯЗЬ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ КОЛОСА С ПРОДУКТИВНОСТЬЮ
РАСТЕНИЙ ОБРАЗЦОВ $\times$ *TRITITRIGIA CZICZINII* TZVEL.О.А. ЩУКЛИНА¹, С.В. ЗАВГОРОДНИЙ¹, А.Д. АЛЕНИЧЕВА¹,
Л.П. ИВАНОВА¹, В.Е. КВИТКО¹, В.В. ПЫЛЬНЕВ², В.П. УПЕЛНИЕК¹¹ Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН;² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Меняющиеся климатические условия вызвали повышенное внимание к устойчивым методам ведения сельского хозяйства, к которым относится и создание адаптивных сортов. Межвидовая и межродовая гибридизация позволяет значительно усилить устойчивость новых сортов к абиотическому и биотическому стрессу. Трититригия ($\times$ *Trititrigia cziczinii* Tzvel., 1973) – новая зерновая культура, обладающая особенностями и хозяйственно-полезными свойствами, полученными от дикорастущих злаков. Цель исследований заключалась в том, чтобы оценить вклад элементов продуктивности колоса современных образцов трититригии в ее продуктивность. Исследования, проведенные в условиях дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв Московской области (2008–2016 гг.), подтверждают специфические особенности формирования продуктивности образцов трититригии, отличающие ее от пшеницы. Изученные образцы имели длину колоса от 7,9 до 18,3 см, максимальное количество образцов (42,2%) имело длину колоса от 12,0 до 13,9 см. Самое большое количество образцов (21,1%) имело 20,1–20,9 шт. колосков на колос; 32,4% образцов формируют 60,6–69,5 зерновок в колосе; 29 образцов, или 41,4%, в среднем формируют по 1,5–2,0 з зерна с колоса. Исследования показали, что элементы структуры колоса трититригии: длина колоса, количество зерен с колоса, количество и масса зерна с колоса – не имеют прямой положительной связи с продуктивностью. Это может быть связано с вкладом продуктивной кустистости и биологическими особенностями трититригии в виде склонности к генеративному побегообразованию в течение всей вегетации.

Ключевые слова: трититригия, селекция, сорт, пшенично-пырейные гибриды, отдаленная гибридизация.

Введение

Продовольственная безопасность в последнее время является серьезной глобальной проблемой ввиду быстрых темпов роста населения планеты, негативных изменений климата и нарастающих экологических проблем. И если в докладе департамента по экономическим и социальным вопросам Организации Объединенных Наций от 2017 г. была озвучена реальная цифра населения планеты (7,6 млрд чел.), то согласно аналитической записке, подготовленной департаментом в 2022 г., численность населения уже увеличилась почти до 8 млрд чел. Ожидается, что нынешнее население мира достигнет 8,6 млрд к 2030 году и 9,8 млрд – к 2050 году [20, 21].

Одной из наиболее распространенных зерновых культур в мире является пшеница. На долю *Triticum aestivum* L. ($2n = 6x = 42$) приходится 95% мирового

производства пшеницы, а на *T. durum* ($2n = 4x = 28$) – остальные 5% мировых посевных площадей. При этом большая часть посевов пшеницы расположена в малопродуктивных сельскохозяйственных угодьях, которые занимают большую часть глобальной суши и обеспечивают продуктами питания более 50% населения мира [22]. Возделывание на этих территориях адаптивных зерновых культур и их сортов позволит не снижать валовый сбор зерна даже в меняющихся климатических условиях [5, 18]. Наиболее эффективным инструментом увеличения устойчивости зерновых культур к абиотическим и биотическим стрессам является обогащение их генетических ресурсов методом отдаленной гибридизации [1].

Первые гибриды многолетней пшеницы были получены Н.В. Цициным в конце 30-х гг. прошлого столетия [15]. Гибриды, имеющие октоплоидный набор хромосом ($2n = 56$), были описаны им как новый вид пшеницы: многолетняя пшеница (*Triticum agropyrotriticum* Cicin, 1960). Образцы отличались от родительских видов пшеницы морфологическими особенностями, высокой способностью к регенерации (куститься и отрастать после скашивания с образованием колоса), способностью созреть сверху вниз и более высоким содержанием белка и клейковины в зерне [1]. Некоторые образцы имели склонность к многолетнему типу развития.

Исследования Н.В. Цицина послужили толчком к глубокому изучению генетической природы диких сородичей пшеницы и вовлечению их в скрещивание с культурными злаками по всему миру [6, 25].

Латинское название, предложенное Н.В. Цициным, не было принято в научной среде, хотя оно и встречается в международном определителе растений [19, 23, 26]. В зарубежных научных статьях, описывающих результаты подобных исследований, гибриды пшеницы и дикорастущих злаков ($2n = 56$), имеющие характерные признаки, описываются как «Wheat × Wheatgrass Hybrids», или «многолетняя пшеница», без специального термина и латинского названия. В 1973 г. российский ботаник Н.Н. Цвелёв описал новые гибриды *T. aestivum* × *Elytrigia intermedia* как «Пшенице-пырей» (×*Trititrigia cziczinii* Tzvelev) [14]. Это латинское название было принято за основу при регистрации первого сорта трититригии в Государственной комиссии по сортоиспытанию [12]. Поскольку трититригия – молодая в эволюционном смысле культура, ее изучение является актуальной задачей.

Целью исследований являлся анализ элементов структуры колоса образцов трититригии современной коллекции отдела отдаленной гибридизации ГБС РАН для выявления особенностей формирования ее продуктивности.

Материал и методика исследований

Исследования проводились в отделе отдаленной гибридизации ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН в 2008–2016 гг. Почва опытных участков – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая: содержание гумуса составляет 1,9–2,0%; подвижного P_2O_5 (по Кирсанову) – 12–18 мг на 100 г почвы; обменного K_2O (по Маслову) – 15–23 мг на 100 г почвы; pH солевой вытяжки – 5,9–6,1.

Объектами исследований являлись образцы трититригии (×*Trititrigia cziczinii* Tzvelev.) ($2n = 56$) из коллекции отдела отдаленной гибридизации ГБС РАН, полученные методом отдаленной гибридизации в разные годы. Всего было изучено 70 образцов. Площадь опытной делянки в коллекционном питомнике составляла 1 м², повторность 3-кратная. Закладку полевых опытов, проведение учетов и наблюдений осуществляли по общепринятым методикам для озимой пшеницы. Анализ структуры урожая проводился в пробных снопах, отобранных с центральной части делянки с площади 0,25 м² в фазу восковой спелости зерна. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного и корреляционного анализа посредством пакета программы Excel [4].

Метеорологические условия в годы проведения исследований были разными по температурному режиму и количеству выпавших осадков. Для оценки увлажнения в течение вегетационного весенне-летнего периода трититригии использовали ГТК (гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова) – комплексный условный показатель увлажнения (рис. 1).

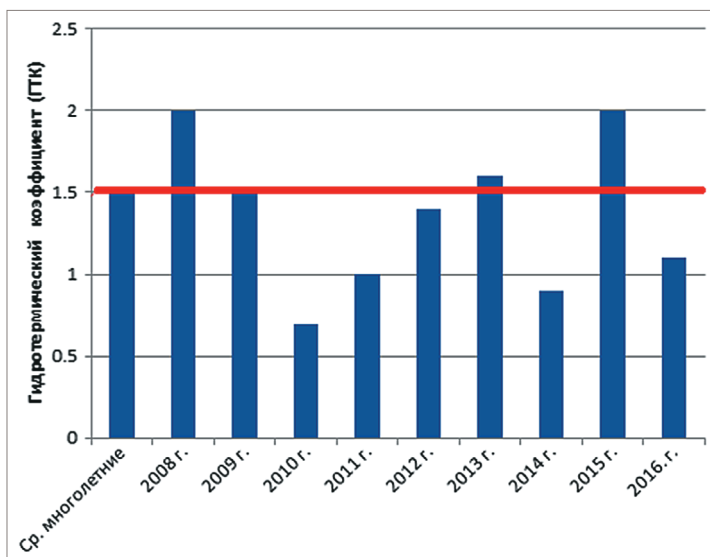


Рис. 1. Гидротермические коэффициенты вегетационных периодов трититригии за 2008–2016 гг.

При изучении коллекции трититригии отдела отдаленной гибридизации ГБС РАН в качестве стандарта был выбран сорт Отрастающая 38. Он был включен в Государственный реестр селекционных достижений как сорт зернокармликовой пшеницы [16]. Однако этот образец имеет октоплоидный набор хромосом ($2n = 56$) и является трититригией ($\times Trititrigia$).

Результаты и их обсуждение

Изучение корреляционных зависимостей продуктивности растения и различных элементов структуры урожая являются весьма важными для селекции [3, 9, 17]. Особенности строения колоса трититригии обусловлены ее пшенично-пырейным происхождением. Основным показателем выступает плотность колоса, так как трититригия унаследовала от пырея не только длину колоса, но и его рыхлость [13]. Изучаемые образцы имели длину колоса от 7,9 (№ 249) до 18,3 см (№ 1777). Коэффициент вариации (V) составил 18,1%.

По результатам измерений все образцы были разбиты на группы от 7 до 19 см с шагом 1 см. Образцы, имеющие длину колоса от 12,0 до 12,9 см и от 13,0 до 13,9 см, вошли в две самые крупные группы с равным количеством: по 15 шт., или по 21,1%. Наименьшее количество линий (по 1 образцу) характеризовалось коротким колосом до 8–9 см (№ 249, № 71). Одна линия (№ 1777) имела длину колоса 18,3 см. У сорта-стандарта Отрастающая 38 длина колоса в среднем за все годы изучения составила 13,3 см. Этот сорт входит в одну из самых крупных групп по показателю «Длина колоса».

Корреляционная зависимость между длиной колоса и урожайностью образцов трититригии не была отмечена ($r = -0,02$). При расчете средней урожайности всех линий, входящих в ту или иную группу по длине колоса, были получены результаты,

свидетельствующие о том, что при длине колоса 14,0–14,8 см формируется самая высокая средняя урожайность. Однако разница в урожайности отдельных образцов расходилась почти в два раза (1,28–3,86 т/га).

Таким образом, в формировании продуктивности зерна трититригии длина колоса не играет ключевой роли, так как колос у этой культуры, несмотря на то, что является более длинным, чем колос у большинства сортов озимой пшеницы, в то же время более рыхлый [15]. В связи с этим для оценки вклада элементов продуктивности в урожайность необходимо оценивать колос трититригии по ряду других показателей, в том числе по числу колосков, числу и массе зерна с одного колоса.

Число колосков в колосе определяет потенциально возможный уровень урожайности сорта, который будет реализован в том случае, если большая часть цветков в колоске будет оплодотворена [5]. Пределы изменчивости образцов трититригии по числу колосков в колосе составляли от 14,4–15,5 шт. (у образцов № 107 и № 4009 соответственно) до 23,6–23,9 шт. (у образцов № 1689 и № 1533 соответственно) при $V = 10\%$ (рис. 2).

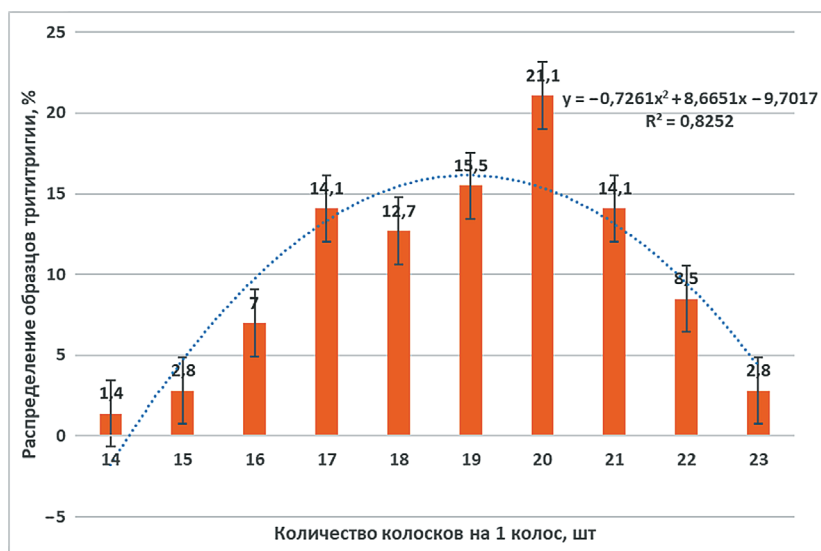


Рис. 2. Распределение образцов трититригии по числу колосков в колосе (2008–2016 гг.), %

Максимальное количество образцов трититригии (15 шт., или 21,1%) имели от 20,1 до 20,9 шт. колосков в колосе. Больше половины образцов имели среднее количество колосков – от 14 до 19 шт. на колос. Это соответствует результатам наблюдений за коллекциями озимой пшеницы в зональных НИИ [10, 11]. Коэффициент корреляции (r) между урожайностью образца и числом колосков в колосе составил $-0,04$. Наиболее урожайные образцы, № 1546 и № 1805, имели 21,2 и 17,6 колосков на колос. Сорт Отрастающая 38 формировал в среднем 19,8 колосков при урожайности ниже средних значений, а перспективный образец № 5542–17,2 колоска на колос.

Таким образом, количество колосков в колосе имеет значение при получении высокопродуктивных сортов лишь в том случае, если ему соответствуют число завязавшихся зерен в колоске и их масса. Многочисленные исследования подтверждают тот факт, что число зерен в колосе является наиболее значимым признаком, от которого зависит продуктивность новых сортов зерновых культур [7].

В исследованиях, проведенных В.И. Беловым (1982), было установлено, что по числу зерен в колосе образцы трититригии превосходят сорт озимой пшеницы – стандарт того времени Мироновскую 808. При изучении им коллекции трититригии

в 2001–2005 гг. среднее число зерен в колосе составляло от 46,0 шт. (у образца М3202) до 75,0 шт. (линия 70с). У сорта озимой пшеницы Заря, являющегося в то время стандартом, среднее число зерен в колосе находилось в пределах 31,0–47,0 шт. [1].

Наибольшее количество образцов современной коллекции – 23 шт., или 32,4%, формирует 60,6–69,5 зерновок в колосе. Вторая по величине группа составляет 20 образцов, или 28,2% от всех изучаемых в коллекции линий; они формируют в колосе 50,6–59,8 зерновок. В эту группу входят сорт Отрастающая 38 (55,4 зерен) и линия № 5542 (54,0 зерен). В коллекции отмечены образцы с числом зерновок в колосе 41–49,6 шт., а также образцы, в колосьях которых формируется свыше 80 зерновок. Это почти в два раза превышает число зерновок в перспективных сортах еще одной синтетической культуры – озимой тритикале, которая отличается крупностью колосьев и большим числом зерен с колоса [2]. Максимальное число зерен за все время испытаний было получено у образца трититригии № 1699 (97 шт.).

В исследованиях отмечена средняя отрицательная корреляционная зависимость урожайности образцов с числом зерен в колосе ($r = -0,35$). Это связано с тем, что большое число зерен в колосе обычно формируется у образцов, относящихся к пырейно-пшеничному типу, у которых этот признак отрицательно коррелирует с массой зерна с колоса, то есть чем больше зерен по числу, тем они более мелкие. Самая высокая средняя урожайность была выше у образцов, в которых формируется 60,6–69,5 зерен в колосе. В эту группу вошел и образец № 1546, имеющий самую высокую урожайность зерна (4,1 т/га); у него стабильно образуется 64 зерна в колосе. Незначительное увеличение урожайности в образцах, имеющих 90 и более зерен с колоса, связано с единичным количеством образцов, вошедших в эту группу, причем эти образцы имели среднюю для коллекции урожайность – 2,02 т/га.

Коэффициент корреляции (r) между средней длиной колоса каждого образца и числом зерен в колосе составил 0,31. Это говорит о том, что несмотря на более рыхлое строение колоса трититригии, чем у других зерновых культур, длина колоса имеет достаточно существенное значение для получения большого числа зерен в колосе. Возрастание этого показателя у трититригии при увеличении его значения подтверждается высоким коэффициентом аппроксимации ($R^2 = 0,56$). Максимальное число зерновок в колосе (более 90 шт.) было образовано при максимальной его длине (более 17 см). Образцы, имеющие длину колоса от 10 см до 14 см, формируют примерно одинаковое число зерновок – 59,5–62,0. Образцы, имеющие длину колоса 15–17 см, формируют 65,8–74,3 зерновки. Большое число зерен в колосе позволяет максимально использовать потенциал культуры для увеличения коэффициента размножения.

П.П. Лукьяненко отмечал, что выход зерна с 1 колоса является одним из ценнейших показателей высокой продуктивности сорта, и селекция перспективных сортов должна быть направлена на отбор лучших линий по этому признаку [8].

Вариабельность (V) массы зерна с колоса у изучаемых сортообразцов трититригии составила 34%. Размах варьирования наблюдался в пределах от 1,27 г у образца № 169 до 2,9 г у образца № 1748 (рис. 3).

В группу сортов с массой зерна с колоса до 1,5 г вошло наименьшее количество образцов – 4 шт. У максимального количества образцов (29 шт., или 41,4%) масса зерна с колоса за все годы исследований составила 1,5–2,0 г. Большую группу (37,1% от общего числа) составляют образцы с массой зерна с колоса 2,0–2,5 г.

Исследования показали, что образцов, стабильно формирующих свыше 2,5 г зерен в колосе, в коллекции имеется 11 шт. (15,7%). Однако эти образцы имеют низкую среднюю урожайность из всех изученных групп – 1,62 т/га. Скорее всего это связано с поздним сроком созревания ввиду высокой интенсивности роста вегетативной массы. Таким образом, для создания высокопродуктивных сортов трититригии необходимо отбирать образцы с массой зерен с колоса 2,0–2,5 г.

При изучении образцов трититригии из современной коллекции размах вариации по признаку масса 1000 зерен составил от 26,1 (образец № 6606) до 40,6 г. (образец № 8290). В среднем образцы имеют массу 1000 зерен 33,2 г. Коэффициент вариации (V) – 11% (рис. 4).

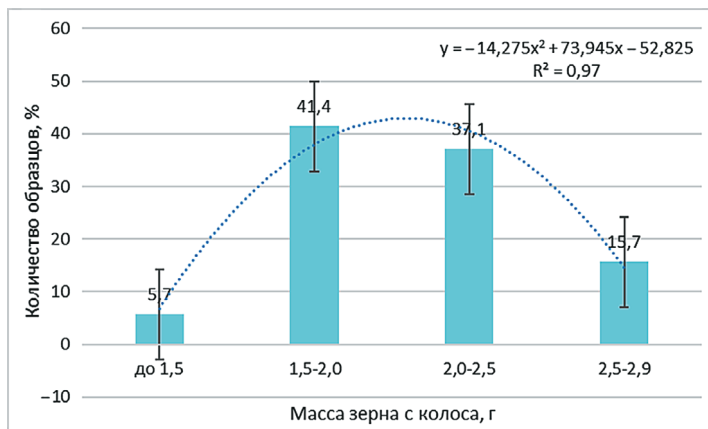


Рис. 3. Распределение образцов трититригии по массе зерна с колоса (2008–2016 гг.)

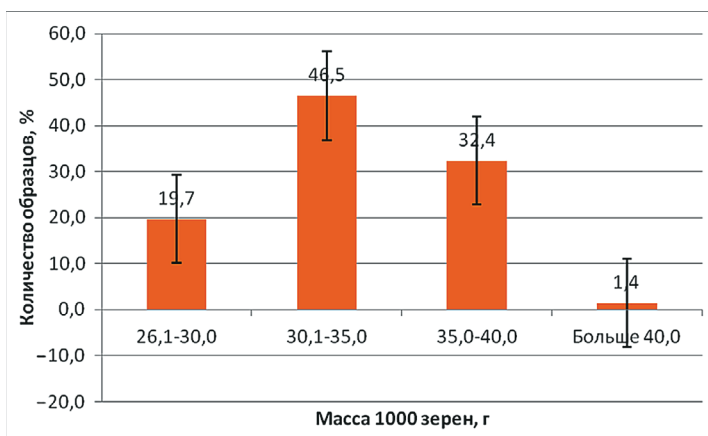


Рис. 4. Распределение образцов трититригии по массе зерна с колоса (2008–2016 гг.)

33 образца, или 46,5% от общего числа, в коллекции имеют массу 1000 зерен 30,0–35,0 г. Средняя урожайность образцов из этой группы составляет 2,11 т/га. В эту группу входит зернокарманный сорт Отрастающая 38, масса 1000 зерен которого составила 31 г. В коллекции есть образцы, имеющие массу 1000 зерен 35–40 г; их количество составляет 32,4% от общего числа образцов. Средняя урожайность образцов из этой группы составила 2,27 т/га. Перспективный образец № 5542 имеет массу 1000 зерен 35 г и входит в эту группу.

Исследования показали отсутствие корреляционной зависимости между массой 1000 зерен и урожайностью образцов ($r = 0,06$). Возможно, это связано с тем, что часть образцов имеет пырейно-пшеничный тип строения колоса, в котором формируется более мелкое зерно, чем у сортов озимой пшеницы, но при этом такие линии обладают более высокой продуктивной кустистостью, благодаря которой формируется большая биомасса [1].

Для общей оценки образцов коллекции по всем изучаемым критериям были выбраны по 5 лучших образцов: по урожайности, длине колоса, числу колосков с колоса, количеству и массе зерен с колоса. С учетом того, что некоторые образцы были лучшими

по нескольким показателям, всего получилось 16 образцов. Для сравнения их характеристик в итоговую таблицу был добавлен сорт-стандарт Отрастающая 38, а также линии № 3202, № 12 и № 26, которые проходили конкурсное сортоиспытание в разное время (табл.).

Таблица

**Характеристика лучших образцов трититригии по урожайности
и элементам структуры колоса (2008–2016 гг.)**

Образец трититригии	Длина ко- лоса, см	Число колосков в колосе, шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерен с колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Урожайность зерна, т/га
Отрастающая 38	13,3	19,8	55,4	1,72	31,0	1,83
ЗП26	12,2	16,9	53,4	1,70	31,9	2,11
3202	14	21,8	53,3	1,94	36,5	2,68
12	13,5	17,7	63,6	2,03	32,0	3,31
47	17,5	22,3	86,3	2,84	32,9	1,03
70	14,3	22,5	71,0	2,88	30,1	3,86
90	17,6	18,5	80,0	2,82	35,2	1,15
161	13,4	18,4	61,2	2,44	39,8	3,33
226	10,6	20,2	78,0	2,13	27,3	3,50
1508	15,1	21,1	74,0	2,86	38,7	2,02
1514	17,7	21,6	68,5	2,33	34,1	2,09
1546	9,6	21,1	64,0	1,72	26,9	4,10
1748	12,9	20,9	77,0	2,90	37,6	1,56
1777	18,3	20,3	90,6	2,73	30,1	2,02
1805	12,4	17,6	54,6	1,98	36,2	3,88
1877	11,9	18,8	58,0	1,66	28,7	3,00
1879	11,8	19,7	41,0	1,44	35,2	3,00
2087	13,1	19,6	65,0	2,11	32,4	3,10
5542	10,8	17,2	54,0	1,89	35,0	3,63
5787	9,5	20,1	57,0	1,86	32,6	3,63
Корреляция с урожайностью (r)	–0,71	–0,20	–0,48	–0,48	–0,27	–
Корреляция с массой 1000 зерен (r)	0,24	–0,12	–0,15	0,30	–	–0,27

Длина колоса выбранных образцов составила от 9,5 (образец № 5787) до 18,3 см (образец № 1777); число колосков с колоса – от 16,9 (образец ЗП26) до 22,5 (образец № 70); число зерен с колоса – от 41,0 (образец № 1879) до 90,6 шт. (образец № 1777); масса зерна с колоса – от 1,44 (образец № 1879) до 2,90 г (образец № 1748); масса 1000 зерен – от 26,9 (образец № 1546) до 39,8 г (образец № 161); урожайность – от 1,03 (образец № 47) до 4,10 т/га (образец № 1546).

Результаты корреляционного анализа подтверждают полученные данные. Образец № 1879 имеет минимальное число зерен в колосе (41,0 шт.) и минимальную массу зерна с колоса (1,44 г), но при этом обладает достаточно высокой массой 1000 зерен (35,2 г) и урожайностью зерна 3 т/га. Образец № 1777 имеет максимально возможную длину колоса (18,3 см), число зерен в колосе (90,6 шт.), но при этом среднее значение массы – 1000 зерен (30,1 г), в связи с чем средняя урожайность составляет 2,02 т/га. В то же время образец № 70, который показал высокие значения числа зерен в колосе (71,0 шт.) – одно из лучших значений массы зерна с колоса (2,88), имея среднюю длину колоса 14,3 см и среднюю массу 1000 зерен 30,1 г, был одним из лучших по урожайности: 3,86 т/га.

Выводы

Наиболее сильная отрицательная корреляционная зависимость ($r = -0,71$) была отмечена между длиной колоса и урожайностью. Это говорит о том, что чем колос длиннее и более рыхлый, тем ниже урожайность зерна, и показывает морфологические особенности колоса трититригии и формирования продуктивности растения. Сильные отрицательные корреляционные связи были получены между числом зерен в колосе массой 1000 зерен и урожайностью ($r = -0,48$ в обоих случаях).

Таким образом, формирование высокой урожайности зерна трититригии в разных образцах происходит за счет разных элементов продуктивности колоса. Образец № 70 формирует урожайность зерна на уровне 3,86 т/га за счет высокой массы зерен с колоса (2,88 г) и массы 1000 зерен (30,1 г); образец № 1546 (урожайность – 4,10 т/га) имеет плотный колос с 21 колоском и средние показатели структуры; образец № 1805 (урожайность – 3,88 т/га) формирует высокую массу 1000 зерен, но при этом остальные показатели структуры имеет на среднем уровне. Эти данные свидетельствуют о специфических особенностях формирования признаков продуктивности и урожайности у трититригии в отличие от наиболее распространенных видов пшеницы.

Работа выполнена в рамках ГЗ ГБС РАН «Гибридизация у растений в природе и культуре: фундаментальные и прикладные аспекты» № Госрегистрации 122042500074–5.

Библиографический список

1. Белов В.И., Иванова Л.П., Завгородний С.В., Упелниек В.П. Селекционно-генетические ресурсы отрастающих промежуточных пшенично-пырейных гибридов ($2n = 56$) // Бюллетень Главного ботанического сада. – 2013. – № 4 (199). – С. 49–55.
2. Ворончихин В.В., Пыльнев В.В., Рубец В.С., Ворончихина И.Н. Урожайность и элементы структуры урожая коллекции озимой гексаплоидной тритикале в Центральном районе Нечерноземной зоны // Известия ТСХА. – 2018. – № 1. – С. 69–81.
3. Грабовец А.И., Грабовец А.И., Фоменко М.А. Озимая пшеница. – Ростов-на-Дону: Изд-во «Юг», 2007. – 544 с.

4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М., 1985. – 352 с.
5. Завгородний С.В., Иванова Л.П., Аленичева А.Д., Щуклина О.А., Квитков В.Е., Клименкова И.Н., Соловьев А.А., Упельник В.П. Морфобиологические и хозяйственно ценные особенности образцов из современной коллекции трититригии (*×Trititrigia cziczinii* Tzvel.) ГБС РАН // Овощи России. – 2022. – № 2. – С. 10–14.
6. Крупин П.Ю., Дивашук М.Г., Карлов Г.И. Использование генетического потенциала многолетних дикорастущих злаков в селекционном улучшении пшеницы // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – № 54 (3). – С. 409–425.
7. Кудряшов И.Н., Беспалова Л.А., Васильев А.В. Экологическая пластичность и стабильность новых сортов – потомков Безостой 1 по урожайности // Безостая 1–50 лет триумфа: Материалы Международной конференции, посвященной 50-летию создания сорта озимой мягкой пшеницы Безостой 1. – Краснодар, 2005. – С. 169–177
8. Лукьяненко П.П. Селекция высокоурожайных низкостебельных сортов озимой пшеницы // Сельскохозяйственная биология. – 1969. – № 4. – С. 483–492.
9. Марченко Д.М., Костылев П.И., Гричаникова Г.А. Корреляционный анализ в селекции озимой пшеницы (обзор) // Зерновое хозяйство России. – 2013. – № 3. – С. 28–32.
10. Некрасова О.А., Костылев П.И., Некрасов Е.И. Модель сорта в селекции озимой пшеницы (обзор) // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 5 (53). – С. 29–32.
11. Самофалов А.П., Подгорный С.В. Исходный материал в селекции озимой пшеницы на продуктивность // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 5. – С. 13–16.
12. Селекционное достижение: Трититригия Памяти Любимовой: пат. № 11203, Российская Федерация: 22.07.2020. / В.И. Белов, С.В. Завгородний; Заявитель и патентообладатель – Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН; заявл. 14.01.2019; опубл. 22.07.2020.
13. Упельник В.П., Белов В.И., Иванова Л.П. и др. Наследие академика Н.В. Цицина – современное состояние и перспективы использования коллекции промежуточных пшенично-пырейных гибридов // Вавиловский журнал селекции и генетики. – 2012. – Т. 16, № 3. – С. 667–674.
14. Цвелёв Н.Н., Пробатова Н.С. Злаки России. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2019. – 646 с.
15. Цицин Н.В. Многолетняя пшеница. – М.: Наука, 1978. – 287 с.
16. Цицин Н.В., Любимова В.Ф. Сорт зернокармальной пшеницы Отрастающая 38. – М.: Главный ботанический сад, 1972. – 8 с.
17. Энзекрей Е.С., Щуклина О.А., Завгородний С.В. Влияние метеорологических условий и азотных удобрений на урожайность яровой тритикале сорта Тимирязевская 42 // Зерновое хозяйство. – 2021. – № 2 (74). – С. 88–93.
18. Cui L., Ren Y., Murray T.D., Yan W., Guo Q., Niu Y., Sun Y., Li H. Development of Perennial Wheat Through Hybridization Between Wheat and Wheatgrasses: A Review // Engineering. – 2018. – № 4 (4). – Pp. 1–7.
19. Curwen-McAdams C., Arterburn M., Murphy K., Cai X., Jones S.S. Toward a taxonomic definition of perennial wheat: a new species *×Tritipyrum aaseae* described // Genet Resour Crop Evol. – 2017. – № 64. – Pp. 1651–1659.
20. Department of Economic and Social Affairs of the United Nation // The 2017 revision of world population prospect. Report. – New York: United Nations, 2017. – Report No ESA/P/WP/248.
21. Department of Economic and Social Affairs of the United Nation // Why population growth matters for sustainable development. Report. – New York: United Nations, 2022. – UN DESA Policy Brief № 130.

22. Eswaran H., Beinroth F., Reich P. Global land resources and population-supporting capacity // American Journal of Alternative Agriculture. – 1999. – № 14 (3). – Pp. 129–36.
23. International Plant Names Index. Published on the Internet // The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens. – 2022. – 29 September. – URL: <http://www.ipni.org>.
24. Li H., Wang X. Thinopyrum ponticum and Th intermedium: the promising source of resistance to fungal and viral diseases of wheat // J. Genet. Genomics. – 2009. – № 36 (9). – Pp. 557–565.
25. World Flora Online // Published on the Internet. – 2022. – 28 Sep. – URL: <http://www.worldfloraonline.org>.

RELATIONSHIP OF ELEMENTS OF THE EAR STRUCTURE TO PLANT PRODUCTIVITY OF SAMPLES × *TRITITRIGIA CZICZINII* TZVEL.

O.A. SHCHUKLINA¹, S.V. ZAVGORODNIY¹, A.D. ALENICHEVA¹,
L.P. IVANOVA¹, V.E. KVITKO¹, V.V. PYL'NEV², V.P. UPELNIK¹

(¹N.V. Tsitsin's Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences,

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

Changing climatic conditions have led to increased focus on sustainable farming methods, which include the development of adaptive varieties. Interspecific and intergenerational hybridization makes it possible to significantly strengthen the resistance of new varieties to abiotic and biotic stress. Trititrigia (×Trititrigia cziczinii Tzvel., 1973) is a new grain crop with features and economically useful properties derived from wild cereals. The purpose of the research is to evaluate the contribution of ear productivity elements of modern trititrigia samples to its productivity. Studies conducted in the conditions of sod-podzolic heavy loamy soils of Moscow region (2008–2016) confirm the specific features of the formation of productivity of trititrigia samples that distinguish it from wheat. The studied samples had an ear length of 7.9 cm to 18.3 cm, the maximum number of samples (42.2%) had an ear length of 12.0 to 13.9 cm. The highest number of samples (21.1%) had 20.1 to 20.9 spikelets per ear, 32.4% of samples formed 60.6–69.5 grains per ear, 29 samples or 41.4% formed on average 1.5–2.0 g of grains per ear. Studies have shown that the elements of the structure of the ear of trititrigia: the length of the ear, the number of grains per ear, the number and weight of grains per do not have a direct positive relationship with productivity. This may be due to the contribution of productive bushiness and biological features of trititrigia in the form of a tendency to generative shoot formation throughout the growing season.

Key words: chemistry, selection, variety, wheat-wheatgrass hybrids, distant hybridization.

References

1. Belov V.I., Ivanova L.P., Zavgorodniy S.V., Upelnik V.P. Seleksionno-geneticheskie resursy otrastayushchikh promezhutochnykh pshenichno-pyreynykh gibridov (2n=56) [Breeding and genetic resources of regrowth intermediate wheat-rye hybrids (2n=56)]. Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada. 2013; 4 (199): 49–55. (In Rus.)
2. Voronchihin V.V., Pyl'nev V.V., Rubets V.S., Voronchihina I.N. Urozhaynost' i elementy struktury urozhaya kollektzii ozimoy geksaploidnoy tritikale v Tsentral'nom rayone Nechernozemnoy zony [Productivity and yield structure elements of a winter hexaploid triticale collection in the Central region of the Non-Chernozem zone]. Izvestiya TSKhA. 2018; 1: 69–81. (In Rus.)

3. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Ozimaya pshenitsa [Winter wheat]. Rostov-na-Donu. Izd-vo "Yug", 2007: 544. (In Rus.)
4. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experiment methodology (with basics of statistical processing of research results)]. M., 1985: 352. (In Rus.)
5. Zavgorodniy S.V., Ivanova L.P., Alenicheva A.D., Shchuklina O.A., Kvitkov V.E., Klimenkova I.N., Solov'ev A.A., Upelnik V.P. Morfobiologicheskie i khozyaystvenno tsennyye osobennosti obraztsov iz sovremennoy kolleksii trititrigii (*×Trititrigia cziczinii* Tzvel.) GBS RAN [Morphobiological and economically valuable features of specimens from the modern trititrigia collection (*×Trititrigia cziczinii* Tzvel.) of N.V. Tsitsin's Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences]. Ovoshchi Rossii. 2022; 2: 10–14. (In Rus.)
6. Krupin P.Yu., Divashuk M.G., Karlov G.I. Ispol'zovanie geneticheskogo potent-siala mnogoletnikh dikorastushchikh zlakov v selektsionnom uluchshenii pshenitsy [Using the genetic potential of perennial wild cereals in the selective improvement of wheat]. Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. 2019; 54 (3): 409–425. (In Rus.)
7. Kudryashov I.N., Bespalova L.A., Vasil'ev A.V. Ekologicheskaya plastichnost' i stabil'nost' novykh sortov – potomkov Bezostoy 1 po urozhaynosti [Ecological plasticity and stability of the new Bezosta 1 progeny varieties in terms of yield]. Bezostaya 1–50 let triumfa. Mat. mezhd. konf., posvyashchennoy 50-letiyu sozdaniya sorta ozimoy myagkoy pshenitsy Bezostoy 1. Krasnodar. 2005: 169–177. (In Rus.)
8. Luk'yanenko P.P. Seleksiya vysokourozhaynykh nizkostebel'nykh sortov ozi-moy pshenitsy [Breeding high-yielding, low-stemmed winter wheat varieties]. Sel'skokho-zyaystvennaya biologiya. 1969; 4: 483–492. (In Rus.)
9. Marchenko D.M., Kostylev P.I., Grichanikova G.A. Korrelyatsionnyy analiz v se-lektsii ozimoy pshenitsy (obzor) [Correlation analysis in winter wheat breeding (review)]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2013; 3: 28–32. (In Rus.)
10. Nekrasova O.A., Kostylev P.I., Nekrasov E.I. Model' sorta v selektsii ozi-moy pshenitsy (obzor) [Variety model in winter wheat breeding (review)]. Zernovoe kho-zyaystvo Rossii. 2017; 5 (53): 29–32. (In Rus.)
11. Samofalov A.P., Podgorniy S.V. Iskhodniy material v selektsii ozimoy pshenitsy na produktivnost' [Source material in winter wheat breeding for productivity]. Agrarniy vestnik Urala. 2014; 5: 13–16. (In Rus.)
12. Belov V.I., Zavgorodniy S.V. Seleksionnoe dostizhenie: Trititrigiya Pamyati Ly-ubimovoy: pat. 11203 Ros. Federatsiya: 22.07.2020. Zayavitel' i patentoobladatel': Glav-niy botanicheskiy sad im. N.V. TSitsina RAN; zayavl. 14.01.2019; opubl. 22.07.2020 [Bre-eding achievement: Trititrigia memoria Lyubimova: Pat. no. 11203 of the Russian Federation: 22.07.2020. Applicant and patentee is N.V. Tsitsin's Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences; appl. 14.01.2019; publ. 22.07.2020]. (In Rus.)
13. Upelnik V.P., Belov V.I., Ivanova L.P. et al. Nasledie akademika N.V. Tsitsina – sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya kolleksii promezhutochnykh pshe-nichno-pyreynykh gibridov [Legacy of Academician N.V. Tsitsin – current status and pro-spects of using the collection of intermediate wheat-grass hybrids]. Vavilovskiy zhurnal selektsii i genetiki. 2012; 16 (3): 667–674. (In Rus.)
14. Tselev N.N., Probatova N.S. Zlaki Rossii [Grains of Russia]. M. tov. nauch.izd. KMK, 2019: 646. (In Rus.)
15. Tsitsin N.V. Mnogoletnyaya pshenitsa [Perennial wheat]. M.: Nauka, 1978: 287. (In Rus.)
16. Tsitsin N.V., Lyubimova V.F. Sort zernokormovoy pshenitsy Otrastayushchaya 38 [Va-riety of feed wheat Otrastayushchaya 38]. M.: Glav. bot. sad, 1972: 8. (In Rus.)

17. Enzekrey E.S., Shchuklina O.A., Zavgorodniy S.V. Vliyanie meteorologicheskikh usloviy i azotnykh udobreniy na urozhaynost' yarovoy tritikale sorta Timiryazevskaya 42 [Effect of meteorological conditions and nitrogen fertilisers on the yield of spring triticale variety Timiryazevskaya 42]. Zernovoe khozyaystvo. 2021; 2 (74): 88–93. (In Rus.)
18. Cui L., Ren Y., Murray T.D., Yan W., Guo Q., Niu Y., Sun Y., Li H. Development of Perennial Wheat Through Hybridization Between Wheat and Wheatgrasses: A Review. Engineering. 2018; 4 (4): 1–7.
19. Curwen-McAdams C., Arterburn M., Murphy K., Cai X., Jones S.S. Toward a taxonomic definition of perennial wheat: a new species $\times$ *Tritipyrum aaseae* described. Genet Resour Grop Evol. 2017; 64: 1651–1659.
20. Department of Economic and Social Affairs of the United Nation. The 2017 revision of word population prospect. Report. New York: United Nations; 2017. Report No.: ESA/P/WP/248.
21. Department of Economic and Social Affairs of the United Nation. Why population growth matters for sustainable development. Report. New York: United Nations; 2022. UN DESA Policy Brief No. 130.
22. Eswaran H., Beinroth F., Reich P. Global land resources and population-supporting capacity. American Journal of Alternative Agriculture. 1999; 14 (3): 129–36.
23. IPNI (2022). International Plant Names Index. The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens. URL: <http://www.ipni.org> (Access date: 29.09.2022)
24. Li H., Wang X. *Thinopyrum ponticum* and *Th. intermedium*: the promising source of resistance to fungal and viral diseases of wheat. J. Genet. Genomics. 2009; 36 (9): 557–565.
25. WFO (2022): World Flora Online. Published on the Internet; URL: <http://www.worldfloraonline.org> (Access date: 28.09.2022)

Щукина Ольга Александровна, старший научный сотрудник, канд. с.-х. наук, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (127276, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: oashuklina@gmail.com; тел.: (926) 703–84–93)

Завгородний Сергей Владимирович, научный сотрудник, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (127276, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: zgbsran@yandex.ru; тел.: (499) 390–94–82)

Аленичева Анастасия Дмитриевна, младший научный сотрудник, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (127276, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: alenicheva_a@mail.ru; тел.: (968) 899–48–66)

Иванова Любовь Петровна, научный сотрудник, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (127276, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: gbsran@yandex.ru; тел.: (968) 733–83–56)

Квитко Валерия Евгеньевна, младший научный сотрудник, ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (127276, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: lera.kvitko@mail.ru; тел.: (922) 817–68–59)

Пыльнев Владимир Валентинович, профессор, д-р биол. наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Российская федерация (127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: Pyl8@yandex.ru; тел.: (915) 093–07–85)

Упелниек Владимир Петрович, директор ГБС РАН, канд. биол. наук, ФГБУН
Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (127276,
Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; e-mail: upelniek@gbsad.ru;
тел.: (903) 517-42-60)

Olga A. Shchuklina, PhD (Ag), Senior Research Associate,
N.V. Tsitsin's Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences
(4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation; phone: (926) 703-84-93;
E-mail: oashuklina@gmail.com)

Sergey V. Zavgorodniy, Research Associate, N.V. Tsitsin's Main Botanical Garden
of the Russian Academy of Sciences (4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian
Federation; phone: (499) 390-94-82; E-mail: zgbsran@yandex.ru)

Anastasia D. Alenicheva, Junior Research Associate, N.V. Tsitsin's Main Botanical
Garden of the Russian Academy of Sciences (4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276,
Russian Federation; phone: (968) 899-48-66; E-mail: alenicheva_a@mail.ru)

Lyubov' P. Ivanova, Research Associate, N.V. Tsitsin's Main Botanical Garden
of the Russian Academy of Sciences (4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian
Federation; phone: (968) 733-83-56; E-mail: gbsran@yandex.ru)

Valeriya E. Kvitko, Junior Research Associate, N.V. Tsitsin's Main Botanical
Garden of the Russian Academy of Sciences (4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276,
Russian Federation; phone: (922) 817-68-59; E-mail: lera.kvitko@mail.ru)

Vladimir V. Pyl'nev, DSc (Bio), Professor, Doctor of Biological Sciences, Russian
State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str.,
Moscow, 127434, Russian Federation, phone: (915) 093-07-85; E-mail: Pyl8@yandex.ru)

Vladimir P. Upelniek, Director of N.V. Tsitsin's Main Botanical Garden
of the Russian Academy of Sciences (4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian
Federation; phone: (903) 517-42-60; E-mail: upelniek@gbsad.ru)

О ВЛИЯНИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТА ЛИКАМЕРО

И.В. ИВАНОВ, Л.А. СОКОЛОВА, А.Р. РЫБОЧКИН, К.В. ШПАКОВ

(Калужский филиал РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Работа посвящена изучению влияния постоянного магнитного поля на прорастание семян пшеницы яровой сорта Ликамеро. В опыте изучалось воздействие северного и южного полюсов магнитов на количество и массу проростков. Индукция искусственно созданного магнитного поля в зоне расположения семян не превышала 14 мТл. Дисперсионный анализ результатов опытов показал, что с вероятностью 0,95 магнитное поле не влияет на количество проростков и не увеличивает их массу. Есть тенденция снижения массы проростков под южным полюсом магнита. В течение опыта усиление влагопоглощения при наличии магнитного поля, а также остаточная намагниченность у семян не наблюдались. Отсюда сделан вывод о нецелесообразности магнитной обработки прорастающих семян пшеницы данного сорта.

Ключевые слова: магнитное поле, магнитная индукция, проростки пшеницы яровой.

Введение

Влияние постоянного магнитного поля на живые организмы изучено слабо, поэтому в настоящее время в этой области биофизики отсутствуют общепризнанные теоретические и экспериментальные результаты [1–5].

Начиная с середины прошлого века в научной литературе периодически появляются довольно противоречивые сведения о морфологических изменениях у растений после пребывания в постоянном магнитном поле [6–13]. Одна из последних работ [14] посвящена проращиванию семян различных культур в постоянном магнитном поле. В данной работе утверждается, что увеличение биомассы культуры на пятые сутки составляет порядка 20%. Кроме того, по мнению исследователей, семена, побывавшие в магнитном поле, приобретают остаточную намагниченность, а замачивание семян в «омагниченной» воде улучшает их всхожесть. Если это действительно так, то постоянное магнитное поле может быть эффективно применено при выращивании микрорзелени, поскольку это проростки растений, содержащие максимальное количество биологически активных веществ, все шире вводимые в рацион питания человека и сельскохозяйственных животных. В связи с этим нахождение и отработка приемов, позволяющих стимулировать увеличение количества и массы проростков пищевых культур, являются актуальными [15].

В целом ткани растений являются диамагнетиками с предельно слабо выраженным диамагнетизмом: к примеру, магнитная проницаемость воды всего на 9×10^{-6} меньше единицы. Ферромагнитных частиц в растениях нет. Что же касается движущихся во внутри- и внеклеточных жидкостях ионов, то действующая на них магнитная сила (сила Лоренца) на несколько порядков меньше электрических сил, действующих на эти ионы [5]. Поэтому, на наш взгляд, влияние постоянных магнитных полей на растения в указанных источниках сильно преувеличено. Получение «омагниченной» воды тоже вызывает ряд вопросов. Поскольку молекулы воды – диполи электрические, а не магнитные (их магнитный момент предельно мал), то и упорядочивать их может только электрическое поле, причем порядок у молекул будет отнюдь

не идеальным по причине их тепловых колебаний. Магнитное поле совершенно неспособно справиться с этими колебаниями. Более того, оно вообще неспособно поворачивать диполи по причине непотенциальности: магнитное поле не меняет кинетическую энергию движущегося заряда, а для поворота диполя ее нужно поменять [5].

Некоторые авторы пытаются привлечь химические и квантовые принципы [13]: например, влияние магнитного поля на содержащиеся в клетках свободные радикалы, имеющие нескомпенсированный магнитный момент, и как следствие – на перекисное окисление фосфолипидов мембран как на один из путей их утилизации. Приведем другой пример: влияние постоянного магнитного поля на спин-селективные ферментные реакции синтеза АТФ в митохондриях с участием креатинкиназы и АТФазы, химическая реакционная способность которых определяется магнитным моментом ядер магния в этих ферментах.

Исходя из вышесказанного, мы решили проверить приведенные доводы экспериментально, взяв за основу схему опыта белорусских исследователей из БГСХА [14]. В нашу задачу входило определить влияние постоянного магнитного поля (северного и южного полюсов) на изменение количества и массы проростков пшеницы. Параметры прорастания оценивали в соответствии с рекомендациями, предложенными в работах [16, 17].

Материал и методика исследований

Для проверки влияния постоянного магнитного поля на всхожесть семян использовались семена яровой пшеницы сорта Ликамеро. Опыт закладывался трижды в трех вариантах с четырехкратной повторностью: первый вариант – контроль-проращивание семян в естественном геомагнитном поле Земли; второй вариант – обработка семян северным полюсом магнита; третий вариант – обработка семян южным полюсом магнита.

В каждую из 12 чашек Петри (90 × 15 мм) на сухую фильтровальную бумагу укладывалось 50 семян и дозированно добавлялось 6 мл воды. В контроле чашки не подвергались воздействию избыточного магнитного поля. На крышках чашек в опытных вариантах посередине устанавливались кольцевые ферритовые магниты в различной полярности: на 4 чашках – северным полюсом вниз, на оставшихся 4 чашках – южным полюсом вниз. Кольцевые ферритовые магниты (60 × 25 × 9 мм) обеспечивали распределение магнитной индукции в зоне расположения семян, как показано на диаграмме (рис. 1).

Замеры производились в физической лаборатории РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева измерителем остаточной намагниченности ИОН-7. Как следует из графика, величина искусственно созданного магнитного поля не превышает 14 мТл, хотя и достаточно высока по сравнению с геомагнитным полем, которое в наших широтах составляет порядка 40–50 мкТл.

Опыты проводились при следующих внешних физических параметрах окружающей среды. Температура и относительная влажность воздуха в лаборатории во время эксперимента составляли соответственно $24 \pm 2^\circ\text{C}$ и $50 \pm 2\%$. Освещенность поверхности столов с биологическим материалом не превышала 150 лк, искусственное досвечивание или затемнение не применялись. При этом для создания одинаковой освещенности проростков крышки чашек с контролем накрывались резиновыми кольцами с размерами как у кольцевых магнитов. Чашки не открывались, и вода в них не добавлялась.

Исследования проводились по стандартной методике с определением количества и массы проростков в каждой чашке на 5-е сутки после посева. Взвешивание производилось на точных лабораторных весах ВМ-512 с погрешностью 0,01 г. Полученные данные прошли математическую обработку (дисперсионный анализ) с расчетом основных статистических параметров опыта и выяснением достоверности выдвинутой гипотезы. Для этого использовалась программа Microsoft Excel [16].

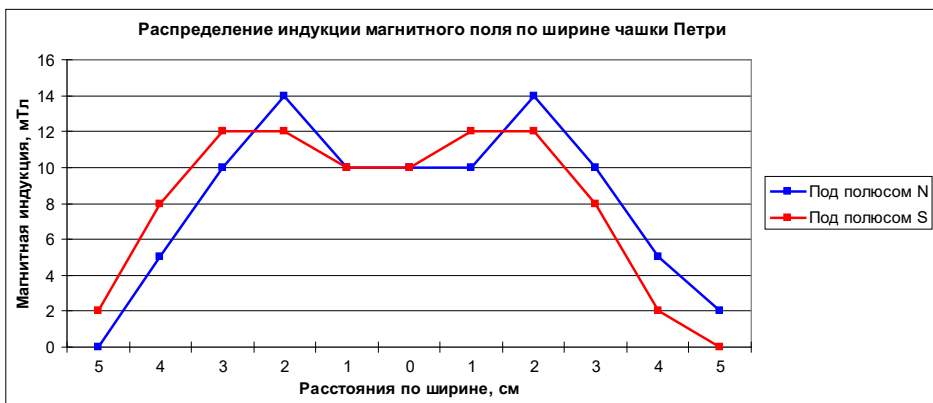


Рис. 1. Распределение магнитного поля в чашке Петри на уровне расположения семян

Результаты и их обсуждение

Результаты трех опытов (в марте-апреле, в мае и июне 2022 г.) представлены в таблице 1.

Дисперсионный анализ количества проростков во всех опытах показал несущественные различия между вариантами. Увеличение массы проростков на чашку Петри под воздействием северного полюса магнита также является несущественным, поскольку разности между средними значениями вариантов опыта меньше наименьшей существенной разности (HCP_{05}).

В двух опытах наблюдалось незначительное (менее 5%), но в рамках математической обработки существенное снижение массы проростков на чашку Петри под действием южного полюса магнита. Практически опыт с вероятностью 0,95 показал, что магнитное поле не увеличивает массу проростков пшеницы сорта Ликамеро. Есть тенденция снижения массы проростков под южным полюсом магнита.

Таблица 1

Результаты воздействия магнитного поля на проростки пшеницы яровой сорта Ликамеро (средние данные на чашку Петри)

Даты	28.03.–2.04.2022 г.		23.05.–28.05.2022 г.		8.06.–13.06.2022 г.	
Вариант/параметры проростков	Количество проростков, шт.	Масса проростков, г	Количество проростков, шт.	Масса проростков, г	Количество проростков, шт.	Масса проростков, г
1 Контроль	37,50	4,28	45,00	5,30	48,00	5,64
2 Север	37,00	4,18	44,50	5,21	47,00	5,49
3 Юг	36,50	4,12	44,25	5,04	48,00	5,42
HCP_{05}	2,61	0,26	3,19	0,24	3,11	0,20

Стоит дополнить, что ускоренного влагопоглощения при наличии магнитного поля у проростков не было: на 5-е сутки относительная влажность воздуха в каждой чашке составляла около 100%, на что указывали небольшие капли воды

на внутренней поверхности крышек. Кроме того, остаточной намагниченности у побывавших в магнитном поле семян пшеницы мы не обнаружили.

Несмотря на то, что в работе [14] проведены исследования с проращиванием семян большого разнообразия культур, на наш взгляд, недостатком является однократная повторность для каждой культуры: одна чашка Петри – контроль, вторая и третья – обработка северным и южным полюсами соответственно. Для проращивания отбиралось по 100 шт. семян, а для крупносемянных культур – по 50 шт. Для проведения достоверной статистической обработки этого явно недостаточно [16].

Выводы

Проведенный трехкратно опыт по исследованию влияния искусственного постоянного магнитного поля на прорастание семян яровой пшеницы дал отрицательный результат по сравнению с результатом белорусских исследователей. Мы проводили опыт по схеме опыта в БГСХА так, что параметры чашек Петри и магнитного поля были аналогичными [14].

Полученная на 5-е сутки биомасса проростков, а также их количество в контроле и при обработке северным полюсом постоянного магнита в наших опытах по результатам математической обработки отличались незначительно. По этой причине сделан вывод о том, что магнитное поле не увеличивает всхожесть семян и накопление массы проростков пшеницы яровой сорта Ликамеро при обработке северным полюсом, а при обработке южным полюсом прослеживается тенденция уменьшения массы проростков. Поэтому, на наш взгляд, магнитная обработка прорастающих семян пшеницы данного сорта является нецелесообразной.

Библиографический список

1. Новицкий Ю.И. Реакция биологических систем на магнитные поля. – М.: Наука, 1978. – 273 с.
2. Бинги В.Н., Савин А.В. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы // Успехи физических наук. – 2003. – Т. 173, № 3. – С. 265–300.
3. Бинги В.Н. Принципы электромагнитной биофизики. – М.: Физматлит, 2011. – 591 с.
4. Гак Е.З. Магнитные поля и водные электролиты – в природе, научных исследованиях, технологиях. – СПб.: Элмор, 2013. – 535 с.
5. Иванов И.В. Основы физики и биофизики. – СПб.: Лань, 2012. – 208 с.
6. Богатина Н.И., Литвин В.М., Травкин М.П. Влияние магнитного поля на скорость роста проростков пшеницы Мироновская-808 // Электронная обработка материалов. – 1983. – № 2. – С. 80–83.
7. Серегина М.Т., Павлова Н.А., Алимова З.И. Биологическое действие магнитного поля на рост, развитие и продуктивность растений озимых зерновых культур // Электронная обработка материалов. – 1991. – № 1. – С. 67–71.
8. Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. Влияние предпосевной обработки в магнитном поле на посевные качества семян сельскохозяйственных культур // Вестник ВИЭСХ. – 2017 – № 2. – С. 132–136.
9. Савченко В.В., Синявский А.Ю. Влияние предпосевной обработки в магнитном поле на посевные качества семян кукурузы // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 3. – С. 20–24.
10. Сидорцов И.Г. Повышение эффективности воздействия постоянного магнитного поля на семена зерновых культур при их предпосевной обработке: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Зерноград, 2008. – 19 с.

11. Шалатонин В.И., Верещако Г.Г. Влияние униполярного магнитного поля на биологические объекты // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2016. – № 7. – С. 234–238.
12. Клочков А.В., Емельяненко А.А., Федосов К.С. Параметры индукции при объемном расположении магнитов // Вестник Барановичского государственного университета. – Серия «Технические науки». – 2021. – № 1. – С. 10–18.
13. Новицкий Ю.И., Новицкая Г.В., Молоканов Д.Р., Сердюков Ю.А., Юсупова И.У. Влияние слабого постоянного магнитного поля на состав и содержание липидов в листьях салата // Известия РАН. – Серия «Биологическая». – 2015. – № 5. – С. 487–494.
14. Клочков А.В., Клочкова О.С., Соломко О.Б. Проращивание семян в магнитном поле // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С. 163–168.
15. Соколова Л.А., Васильева В.А. Влияние нормы высева и субстратов на выращивание микрозелени редьки масличной // Аграрная наука. – 2021. – № 6. – С. 65–68.
16. Кирюшин Б.Д., Усманов Р.Р., Васильев И.П. Основы научных исследований в агрономии. – М.: КолосС, 2009. – 398 с.
17. Бухаров А.Ф., Балеев Д.Н., Бухарова А.Р. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры // Известия ТСХА. – 2017. – № 2. – С. 5–19.

ON THE EFFECT OF A CONSTANT MAGNETIC FIELD ON THE GERMINATION OF SPRING WHEAT SEEDS OF THE LIKAMERO VARIETY

I.V. IVANOV, L.A. SOKOLOVA, A.R. RYBOCHKIN, K.V. SHPAKOV

(Kaluga branch of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

This work is devoted to the study of the effect of a constant magnetic field on the germination of spring wheat seeds of the Lycamero variety. In the experiment, the effect of the north and south poles of magnets on the number and mass of seedlings was studied. The induction of the artificially created magnetic field in the seed location area did not exceed 14 mT. The dispersion analysis of the experimental results showed that, with a probability of 0.95, the magnetic field does not affect the number of seedlings and does not increase their mass. There is a tendency to decrease the mass of seedlings under the south pole of the magnet. During the experiment, increased moisture absorption in the presence of a magnetic field, as well as residual magnetization in seeds was not observed. For this reason, it is concluded that magnetic treatment of germinating wheat seeds of this variety is impractical.

Key words: *magnetic field, magnetic induction, spring wheat seedlings.*

References

1. Novitskiy Yu.I. Reaktsiya biologicheskikh sistem na magnitnye polya [Response of biological systems to magnetic fields]. M.: Nauka, 1978: 273. (In Rus.)
2. Bingi V.N., Savin A.V. Fizicheskie problemy deystviya slabykh magnitnykh poley na biologicheskie sistemy [Physical problems of the action of weak magnetic fields on biological systems]. Uspekhi fizicheskikh nauk. 2003; 173 (3): 265–300. (In Rus.)
3. Bingi V.N. Printsipy elektromagnitnoi biofiziki [Principles of electromagnetic biophysics]. M.: Fizmatlit, 2011: 591. (In Rus.)

4. *Gak E.Z.* Magnitnye polya i vodnye elektrolity – v prirode, nauchnykh issledovaniyakh, tekhnologiyakh [Magnetic fields and aqueous electrolytes – in nature, scientific research, technology]. S-Pb.: Elmor, 2013: 535. (In Rus.)
5. *Ivanov I.V.* Osnovy fiziki i biofiziki [Fundamentals of Physics and Biophysics]. S-Pb.: Lan', 2012: 208. (In Rus.)
6. *Bogatina N.I., Litvin V.M., Travkin M.P.* Vliyanie magnitnogo polya na skorost' rosta prorostkov pshenitsy Mironovskaya-808 [Effect of magnetic field on growth rate of Mironovskaya-808 wheat seedlings]. *Electronnaya obrabotka materialov*. 1983; 2: 80–83. (In Rus.)
7. *Seregina M.T., Pavlova N.A., Alimova Z.I.* Biologicheskoe deystvie magnitnogo polya na rost, razvitiye i produktivnost' rasteniy ozimnykh zernovykh kul'tur [Biological effect of magnetic field on growth, development and productivity of plants of winter cereal crops]. *Electronnaya obrabotka materialov*. 1991; 1: 67–71. (In Rus.)
8. *Kozyrskiy V.V., Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu.* Vliyanie predposevnoy obrabotki v magnitnom pole na posevnye kachestva semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Effect of pre-sowing treatment in a magnetic field on the sowing qualities of the seeds of agricultural crops]. *Vestnik VIESKh*. 2017; 2: 132–136. (In Rus.)
9. *Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu.* Vliyanie predposevnoi obrabotki v magnitnom pole na posevnye kachestva semyan kukuruzy [Effect of pre-sowing treatment in a magnetic field on the seeding quality of maize seeds]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2017; 3: 20–24. (In Rus.)
10. *Sidortsov I.G.* Povyshenie effektivnosti vozdeystviya postoyannogo magnitnogo polya na semena zernovykh kul'tur pri ikh predposevnoy obrabotke. Avtoref dis. kand. tehn. nauk [Increasing the effectiveness of permanent magnetic field effect on the seeds of cereal crops during their pre-sowing treatment. PhD (Eng) thesis]. Zernograd, 2008: 19. (In Rus.)
11. *Shalatonin V.I., Vereshchako G.G.* Vliyanie unipolyarnogo magnitnogo polya na biologicheskie ob"ekty [Effect of unipolar magnetic field on biological objects]. *Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki*. 2016; 7: 234–238. (In Rus.)
12. *Klochkov A.V., Emel'yanenko A.A., Fedosov K.S.* Parametry induktsii pri ob"emnom raspolozhenii magnitov [Induction parameters in case of volumetric arrangement of magnets]. *Vestnik Baranovichskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya tekhnicheskie nauki*. 2021; 1: 10–18. (In Rus.)
13. *Novitskiy Yu.I., Novitskaya G.V., Molokanov D.R., Serdyukov Yu.A., Yusupova I.U.* Vliyanie slabogo postoyannogo magnitnogo polya na sostav i sodержanie lipidov v listyakh salata [Effect of weak constant magnetic field on the composition and content of lipids in lettuce leaves]. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya*. 2015; 5: 487–494. (In Rus.)
14. *Klochkov A.V., Klochkova O.S., Solomko O.B.* Prorashchivanie semyan v magnitnom pole [Seed germination in a magnetic field]. *Vestnik Baranovichskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2020; 3: 163–168. (In Rus.)
15. *Sokolova L.A., Vasil'yeva V.A.* Vliyanie normy vyseva i substratov na vyrashchivanie mikrozeleni red'ki maslichnoy [Effect of seeding rate and substrates on cultivation of oil radish microgreens]. *Agrarnaya nauka*. 2021; 6: 65–68. (In Rus.)
16. *Kiryushin B.D., Usmanov R.R., Vasil'ev I.P.* Osnovy nauchnykh issledovaniy v agronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. M.: Kolos S, 2009: 398. (In Rus.)
17. *Bukharov A.F., Baleev D.N., Bukharova A.R.* Kinetika prorastaniya semyan. Metody issledovaniya i parametry [Kinetics of seed germination. Research methods and parameters]. *Izvestiya TSKhA*. 2017; 2: 5–19. (In Rus.)

Иванов Игорь Владимирович, канд. физ. – мат. наук, доцент кафедры механизации сельскохозяйственного производства Калужского филиала ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (248007, Российская Федерация, г. Калуга, ул. Вишневого, 27; тел.: (4842) 72–50–22; e-mail: mcxa_iv@inbox.ru)

Соколова Лариса Александровна, канд. биол. наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров Калужского филиала ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (248007, Российская Федерация, г. Калуга, ул. Вишневого, 27; тел.: (4842) 72–50–22; e-mail: chaika12@gmail.com)

Рыбочкин Антон Русланович, студент кафедры механизации сельскохозяйственного производства Калужского филиала ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (248007, Российская Федерация, г. Калуга, ул. Вишневого, 27; e-mail: megusta300500@gmail.com)

Шпаков Кирилл Викторович, студент кафедры механизации сельскохозяйственного производства Калужского филиала ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (248007, Российская Федерация, г. Калуга, ул. Вишневого, 27; e-mail: shpakov.kirill2k2@yandex.ru)

Igor' V. Ivanov, PhD (Phys and Math), Associate Professor of the Department of Mechanization of Agricultural Production, Kaluga branch of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (27 Vishnevskogo Str., Kaluga, 248007, Russian Federation; phone: (4842) 72–50–22; E-mail: mcxa_iv@inbox.ru)

Larisa A. Sokolova, PhD (Bio), Associate Professor of the Department of Land Management and Cadastre, Kaluga branch of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (27 Vishnevskogo str., Kaluga, 248007, Russian Federation; phone: (4842) 72–50–22; E-mail: chaika12@gmail.com)

Anton R. Rybochkin, student, the Department of Mechanization of Agricultural Production, Kaluga branch of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (27 Vishnevskogo str., Kaluga, 248007, Russian Federation; E-mail: megusta300500@gmail.com)

Kirill V. Shpakov, student, the Department of Mechanization of Agricultural Production, Kaluga branch of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (27 Vishnevskogo str., Kaluga, 248007, Russian Federation; E-mail: shpakov.kirill2k2@yandex.ru)

ГЕНОТИПИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К КИЛЕ И ОЦЕНКА КОМБИНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КАПУСТЫ ПЕКИНСКОЙ

А.Д. ЗАСТАВНЮК¹, Г.Ф. МОНАХОС², А.В. ВИШНЯКОВА¹,
А.А. МИРОНОВ¹, С.Г. МОНАХОС¹

(¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева;
² ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева»)

Капуста пекинская – поливитаминная овощная культура, которая пользуется неизменным спросом благодаря своим высоким вкусовым и диетическим качествам, а также возможности получать по два урожая в год ввиду короткого вегетационного периода. В Госреестре менее 70 сортов и гибридов, и многие из них восприимчивы к киле (возбудитель *P.brassicae* Wor.), от которой гибнет до 60% урожая. В России необходимо удовлетворить потребительский спрос новыми конкурентоспособными гибридами с устойчивостью к важнейшим заболеваниям – таким, как кила. Цель исследований заключалась в оценке коллекции инбредных линий капусты пекинской с устойчивостью к киле и в отборе перспективных гибридных комбинаций для дальнейшего создания F1-гибридов культуры.

Полевые испытания были проведены в летне-осенний период 2021 г. В качестве растительного материала были использованы 25 инбредных линий капусты пекинской (*B.rapa* ssp. *pekinensis*) и 154 гибридные комбинации от скрещивания этих линий. Для достижения цели применены следующие методы: оценка комбинационной способности (ОКС и СКС) в системе скрещиваний двух групп генотипов; оценка устойчивости/восприимчивости к киле на искусственном инфекционном фоне; молекулярное генотипирование с использованием молекулярных маркеров генов устойчивости к киле. В результате полевого испытания гибридных комбинаций капусты пекинской выделены 14, превосходящих стандарты по признаку «Масса кочана» не менее чем на 20% и формирующие кочаны с закрытой вершиной. Выявлены три килоустойчивые линии: K7, K19 и П1д4 с высокими значениями ОКС по признаку «Масса кочана», рекомендованные для создания перспективных гибридных комбинаций. На основе данных молекулярного генотипирования генов устойчивости к киле CRa, CRb и CRA05 и оценки линий капусты пекинской на устойчивость на искусственном инфекционном фоне произведена дифференциация коллекции линий по генам устойчивости к киле. Это позволит использовать их в качестве доноров устойчивости при пирамидировании генов устойчивости.

Ключевые слова: капуста пекинская, *B.rapa* ssp. *pekinensis*, кила, *P.brassicae* Wor., комбинационная способность, СКС, ОКС, устойчивость, молекулярно-генетический анализ, генотипирование.

Введение

Капуста пекинская (*B.rapa* ssp. *pekinensis*) широко возделывается в КНР, на японских островах, в Корее, странах Америки и Западной Европы, а также в Австралии. Хозяйственное значение капусты пекинской для некоторых восточноазиатских регионов подобно значимости капусты белокочанной для стран Европы [1], возрастает ее популярность и в России.

Привлекательность производства капусты пекинской заключается в ежегодном спросе и высокой оптовой цене реализации, высокой урожайности (до 60 т с 1 га), а также в коротком периоде вегетации, позволяющем получать два урожая в год. Технологии

капельного орошения и кассетные технологии, в последнее время широко применяемые для выращивания культуры, позволяют значительно снизить себестоимость выращивания и получать стабильный высокий качественный урожай. Однако на сегодняшний день значительная часть капусты пекинской импортируется в Россию из других стран.

По материалам исследований АБ-Центра (2022), импорт пекинской капусты за последние два года, главным образом ввиду ситуации с коронавирусом, был сокращен примерно на 37% (почти на 8900 т). За три года поставки сократились на 31% (около 6600 т), за пять лет – на 58% (примерно 20600 т).

Для обеспечения импортозамещения в семенах и товарной продукции капусты пекинской необходимо иметь собственный отечественный сортимент конкурентоспособных гибридов. По состоянию на сентябрь 2022 г. в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включено 16 отечественных сортов и 52 гибрида F1 пекинской капусты, 46% из которых – зарубежные (для сравнения: в Японии зарегистрировано более 300 гибридов). Сорта и гибриды Госреестра не полностью отвечают современным требованиям интенсивной технологии, многие восприимчивы к наиболее опасным патогенам. Устойчивость к киле имеет 21 гибрид Госреестра (30% от общего количества), из них 12 – от зарубежных оригинаторов, и 9 гибридов (около 43% от общего количества килоустойчивых гибридов) созданы в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Кила относится к одному из трех самых вредоносных заболеваний капустных культур, приводящих к значительной потере урожая. Возбудитель килы – облигатный паразит *Plasmodiophora brassicae* Wor. Одним из самых характерных симптомов заболевания является неограниченное разрастание паренхимы корней растений семейства Brassicaceae, в результате чего на корнях формируются наросты – галлы. Постепенно происходит блокировка проводящей системы, и растение гибнет. Полевые изоляты *P. brassicae* представлены различающимися по вирулентности расами. В земле их покоящиеся споры сохраняют способность к инфицированию растений в течение 15–20 лет [15, 16]. Заболевание распространено повсеместно, где выращивают культуры *Brassica*, и приводит к частичной или полной потере урожая капустных культур.

Актуальность исследований объясняется тем, что селекция капустных растений на устойчивость к киле – это единственный экономически обоснованный метод защиты растений от патогена. Возделывание генетически устойчивых к киле гибридов позволяет дополнительно сохранить до 40% урожая. Известно, что применение химических средств для борьбы с *P. brassicae* является малоэффективным [16]. К тому же создание генетически устойчивых гибридов – самый экологичный способ защиты растения от фитопатогена, так как позволяет выращивать растения без применения пестицидов [10], и это приоритетный подход защиты культур *Brassicaceae*. При этом происходит также очищение почвы от покоящихся спор патогена, которые прорастают, но не могут развиваться на корнях устойчивых растений.

По своей природе капуста пекинская (*B. rapa pekinensis*) восприимчива к *P. brassicae*. В конце XX – начале XXI вв. удалось получить генетически устойчивые к патогену сорта и гибриды культур. Донорами устойчивости являются различные виды кормового турнепса (*B. rapa* ssp. *rapifera*) [17]. Так, в результате реализации селекционной программы по селекции капусты на устойчивость к киле произошло пополнение Госреестра 9 гибридами капусты пекинской, созданными в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязев: Ника F1, Гидра F1, Маркет F1, Мохито F1, Бирюза F1, Нежность F1, Филиппок F1, Кудесница F1 и Княжна F1. Тем не менее создание устойчивых гибридов с новыми признаками, а именно с закрытой вершиной кочана, толерантных к внутреннему некрозу, для удовлетворения требований современных технологий в условиях изменяющегося климата является весьма актуальным.

Цель исследований заключалась в изучении комбинационной способности по признаку «Масса кочана» линий удвоенных гаплоидов капусты пекинской, содержащих гены устойчивости к киле, и создании перспективных F1-гибридов, сочетающих комплекс хозяйственно-ценных признаков.

Материал и методы исследований

Растительный материал. Оценку устойчивости к киле (возб. *P.brassicae*) провели для 25 линий капусты пекинской. Линии удвоенных гаплоидов получали в 2019–2020 гг. из образцов, отобранных на провокационных фонах по устойчивости к киле и толерантности к внутреннему некрозу кочанов. В качестве стандартов устойчивости использовали отечественные гибриды капусты пекинской F1 Ника, F1 Гидра, F1 Бирюза и зарубежные гибриды F1 Bilko, F1 Orient Star и F1 Questar. В качестве восприимчивого стандарта использовали ранее охарактеризованную, высоковосприимчивую к киле линию капусты пекинской K₉. Оценку комбинационной способности, СКС и ОКС, проводили при измерении среднего проявления хозяйственно-ценных признаков 154 гибридных комбинаций, полученных в системе скрещиваний «двух групп генотипов». Выделение лучших гибридных комбинаций проводили в сравнении с лучшими стандартами F1 Ника, F1 Гидра, F1 Бирюза и зарубежными гибридами F1 Bilko, F1 Orient Star и F1 Questar.

Выращивание растений и оценка хозяйственно-ценных признаков. Растения выращивали рассадным способом с использованием кассетной технологии. Посев семян в кассеты с торфяным субстратом произвели 29 июня 2021 г., в открытый грунт в многолетний инфекционный фон по киле растения высаживали по схеме 45×35 см 20 июля с одновременным поливом. Оценку проявления хозяйственно-ценных признаков проводили с 29 сентября по 11 октября 2021 г. Для борьбы с крестоцветными блошками и капустными мухами за 3 дня до высадки в открытый грунт рассаду в кассетах поливали 0,1%-ным раствором Конфидора. Перед посадкой вносили азофоску из расчета 500 кг на 1 га.

Полевые испытания продуктивности гибридных комбинаций проведены в летне-осеннем обороте методом рандомизированных повторений по 8 растений на делянке в двухкратной повторности. Оценку продуктивности проводили взвешиванием кочана каждого растения и вычисляли среднюю массу кочана. Учет высоты, диаметра кочана и ширины жилки листа определяли измерением при помощи линейки и штангенциркуля. Вычисляли их средние значения для каждой гибридной комбинации, а также индекс кочана – отношением средних значений высоты кочана к его диаметру.

Расчет общей и специфической комбинационной способности. Эффект общей комбинационной способности (ОКС) по массе кочана определяли как положительную или отрицательную величину разницы между средним значением признака у гибридов, полученных с участием данной линии, и средней величиной признака всей группы гибридов в системе скрещиваний. Эффект специфической комбинационной способности (СКС) вычисляли по величине разницы между значением величины признака у данного гибрида и суммой эффектов общей комбинационной способности родителей и величины средней популяционной всех анализируемых гибридов [3].

Статистический анализ. Существенность различий в проявлении признаков оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа на 5%-ном уровне значимости, а эффектов ОКС и СКС – по алгоритмам В.К. Савченко [4].

Оценка устойчивости/восприимчивости к киле. Оценку устойчивости/восприимчивости к киле проводили на искусственном инфекционном фоне. Для инокуляции использовали свежеприготовленную смесь спор патогена. Приготовление суспензии спор проводили с модификациями [14]. Гомогенизировали 5 г свежих желваков пораженного

растения на терке, разводили в чистой воде; размешивали и настаивали несколько минут; фильтровали суспензию через 4-слойную марлю; определяли концентрацию спор в суспензии с помощью камеры Горяева; разведением чистой водой доводили до необходимой плотности (10^7 спор/мл). Инокуляцию капусты пекинской возбудителем заболевания *P.brassicae* проводили «пипеточным» методом по всходам. В ячейки кассет с 4–5-дневными сеянцами добавляли 5 мл рабочей суспензии инокулюма. Через 40 дней после инокуляции проводили оценку реакции устойчивости/восприимчивости по четырехбалльной шкале [6]. Растения с баллом поражения 0 принимали за устойчивые.

Выделение ДНК проводили из молодых тканей листьев по методике ЦТАБ (цетилтриметиламмония бромид) согласно протоколу [11].

Полимеразная цепная реакция (ПЦР). Амплификацию геномной ДНК проводили в 15 мкл реакционной смеси, содержащей: 1×ПЦР-буфер; 0,2 мМ dNTPs; по 5–10 пМ каждого праймера; 0,25 ед.а. Taq-полимеразы и 20 нг геномной ДНК. Амплификация проводилась в амплификаторе DNA Engine® Peltier Thermal Cyclers (BIO-Rad). ПЦР была выполнена при следующих условиях: начальная денатурация при 94°C 3 мин; 35 циклов – денатурация при 94°C 30 с; отжиг при 60°C 30 с, элонгация при 72°C 1 мин; завершающая элонгация при 72°C 5 мин. Хранение – при температуре 10°C.

Генотипирование устойчивости к киле проводили с использованием маркера Tau_cBrCR404 гена CRA05 (F: TCATCGATCCAATCCGTAA, R: CACTCAACGAGTAG-GAAACAAAGA) [2]; маркера B0902 гена CRb (F: AGCCTTGCGTAAAAGCAACTAC, R: GTTTGGAATCCGACAAATACATCCAT) [9]; маркера GC3060 гена CRa (F: TTGCGGT-GATTAATAATACAATCTATATTTC, R: TTTGGGTTTCCASAAAACAGATTACTTTA) [13].

Электрофорез, визуализация и документация. Продукты амплификации окрашивали флуоресцентным красителем GelRed (Biotium, США) и разделяли в 1%-ном агарозном геле в однократном Трис-боратном-ЭДТА-буфере при напряженности 4 Вт/см в течение 60 мин. Визуализацию и документацию электрофореграмм проводили с использованием УФ-трансиллюминатора.

Результаты и их обсуждение

Общая и специфическая комбинационная способность. В системе скрещиваний двух групп линий капусты пекинской, 14 шт. в качестве отцовских и 11 шт. в качестве материнских, были произведены 154 гибридные комбинации (табл. 1).

Размах вариации в проявлении признака «Масса кочана» оцениваемых гибридных комбинаций составил 780 г, 14 гибридных комбинаций были с максимальным проявлением признака свыше 1000 г, 10 из них превысили 6 стандартов по продуктивности. Под комбинационной способностью понимают способность родительских форм к проявлению гетерозисного эффекта при скрещиваниях с другими генотипами. Это наследуемый признак [5]. Различают общую и специфическую комбинационные способности (ОКС и СКС).

По массе кочана для каждой линии установлены эффекты ОКС (табл. 1). Эффекты ОКС изучаемых 11 материнских линий имели широкий размах варьирования: от 94,2 г (у линии K_3) до 108,1 г (у линии K_7). Материнские линии по величине эффектов ОКС были подразделены на 3 группы. Группа 1, линии с самыми высокими эффектами ОКС (выше 100 г), – линии K_7 и K_{19} . Группа 2 – линии K_8 , K_{10} , K_{12} со средними положительными эффектами ОКС (от 0 до 100 г). Линии занимают промежуточное положение и обеспечивают высокий гетерозисный эффект в отдельных комбинациях скрещивания. Группа 3, линии, эффекты ОКС которых имеют низкое значение (ниже 0), – линии K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , K_5 . Использовать эти линии для создания высокоурожайных гибридов малоперспективно (от скрещивания с ними получается мелкий кочан).

Таблица 1

**Средняя масса кочана гибридных комбинаций
и ОКС родительских линий капусты пекинской, г**

О ₃ Н ₀	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₇	K ₈	K ₁₀	K ₁₉	K ₁₂	Чи ₁ мс	m _{ср.}	ОКС ♂
П ₁ Д ₁	731	590	1064	638	796	612	772	745	776	765	743	748	–17,3
П ₁ Д ₂	582	709	721	800	827	1012	887	1097	895	810	452	799	33,6
П ₁ Д ₄	797	647	662	965	888	1082	945	862	772	877	1091	872	106,1
П ₁ Д ₅	650	737	598	937	582	1089	769	727	659	899	759	764	–1,5
П ₁ Д ₇	1010	547	651	789	925	830	841	870	955	835	811	824	58,5
П ₁ Д ₈	850	872	575	793	794	1031	1081	685	766	837	815	827	61,7
П ₁ Д ₉	698	769	707	672	723	815	772	691	1040	791	863	776	10,7
П ₁ Д ₁₈	638	735	487	553	701	697	918	732	1083	749	724	729	–36,8
П ₁ Д ₃₀	545	837	469	672	668	722	748	564	894	1101	721	722	–43,8
П ₂ Д ₁	682	652	743	761	858	776	537	761	1054	781	750	759	–6,2
П ₂ Д ₂	710	791	724	676	595	795	693	866	760	754	732	736	–29,7
П ₂ Д ₄	808	826	752	338	643	878	915	760	897	776	752	759	–7,0
П ₂ Д ₉	655	735	750	657	685	1118	595	766	900	784	757	764	–1,8
П ₆ Д ₂	639	506	498	612	627	775	844	628	694	777	424	639	–126,4
m _{ср.}	714	711	671	705	737	874	808	768	868	824	742	766	
ОКС ♀	–51,7	–54,6	–94,2	–61,1	–29,1	108,1	42,8	2,5	101,9	58,4	–23,3		

Примечание. НСР₀₅ масса кочана = 219,4 г. Средняя масса кочана 6 стандартов: Orient Star F1 (609 г), Questar F1 (820 г), Ника F1 (600 г), Гидра F1 (755 г), Bilko F1 (697 г) и Бирюза F1 (1064 г). Зеленым цветом выделены гибридные комбинации с массой кочана выше 1000 г.

ОКС материнской линии Чи₁мс также имеет отрицательное значение. Стоит отметить перспективную комбинацию Чи₁мс×П₁Д₄, масса кочана которой превышает все стандарты, кроме F1 Бирюза. Причина высокого значения признака у этой гибридной комбинации обусловлена высокой специфической комбинационной способностью.

Среди отцовских линий значения ОКС варьировали от 128 г (у линии П₆Д₂) до 106 г (у линии П₁Д₄). По величине эффектов ОКС отцовские линии подразделены на 4 группы. В группе I – линия с самым высоким эффектом ОКС > 100 г: П₁Д₄. Линии II группы: П₁Д₂; П₁Д₇; П₁Д₈ и П₁Д₉ – имеют среднее положительное значение ОКС до 100 г. В группу III вошли гибриды с эффектами ОКС незначительно ниже нуля (до 10 г): П₁Д₅, П₂Д₁, П₂Д₉. При скрещиваниях линий этой группы с материнскими линиями формируются гибриды с максимальными значениями массы кочана свыше 1000 г, кроме линии

П₂Д₄, малоперспективной для получения продуктивных гибридов. В группу IV отнесены линии с очень низкой ОКС, со значениями ниже –10 г: П₆Д₂, П₁Д₁, П₁Д₁₈ и П₁Д₃₀. Для линий П₁Д₁ и П₁Д₁₈ одна удачная комбинация с линиями К₃ и К₁₉ соответственно объясняется высокими эффектами специфической КС. Для линии П₁Д₃₀ в одной комбинации с материнской линией из группы II со средним положительным эффектом ОКС до 100 г выявлена гибридная комбинация К₁₂×П₁Д₃₀, превышающая коммерческие гибриды по массе кочана.

Общая комбинационная способность (ОКС) линий – это среднее значение признака, которое определенная инбредная линия обеспечивает для гибридов, полученных с ее участием [3]. Поскольку эффект ОКС рассчитывается относительно средней популяционной, то селекционная ценность этого показателя выше, чем гетерозисный эффект, рассчитываемый относительно скрещиваемых линий. ОКС определяется аддитивными наследственными факторами, и частично – доминированием, а в основе СКС лежат сверхдоминирование и эпистаз [7, 12].

По эффекту СКС значения варьировали от –359,9 г (у гибрида К₄×П₂Д₄) до 410,2 г (у гибрида К₃×П₁Д₁) (табл. 2). Были выделены 10 перспективных гибридных комбинаций по значению СКС свыше 200 г, из них 3 гибрида имели эффекты СКС со значениями около или более 300 г.

Таблица 2

Эффекты СКС гибридных комбинаций линий капусты пекинской по средней массе кочана, г

ОС	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	К ₅	К ₇	К ₈	К ₁₀	К ₁₉	К ₁₂	Чи,мс
П ₁ Д ₁	34,7	–103,4	410,2	–48,9	77,1	–244,1	–18,8	–5,5	–74,0	–41,4	18,3
П ₁ Д ₂	–165,3	–35,4	16,2	62,1	57,1	104,9	45,2	295,5	–6,0	–47,4	–323,8
П ₁ Д ₄	–23,3	–170,4	–115,8	154,1	45,1	101,9	30,2	–12,5	–202,0	–53,4	242,3
П ₁ Д ₅	–62,3	27,6	–71,8	234,1	–152,9	216,9	–37,8	–39,5	–207,0	76,6	18,3
П ₁ Д ₇	237,7	–222,4	–78,8	26,1	130,1	–102,1	–25,8	43,5	29,1	–47,4	10,3
П ₁ Д ₈	74,7	99,6	–157,8	27,1	–3,9	95,9	211,2	–144,5	–163,0	–48,4	11,3
П ₁ Д ₉	–26,3	47,6	25,2	–42,9	–23,9	–69,1	–46,8	–87,5	162,1	–43,4	110,3
П ₁ Д ₁₈	–39,3	60,6	–147,8	–114,9	1,1	–140,1	146,2	0,5	252,1	–38,4	18,3
П ₁ Д ₃₀	–125,2	169,6	–158,8	11,1	–24,9	–108,1	–16,8	–160,5	70,1	320,6	22,3
П ₂ Д ₁	–25,7	–52,4	78,2	63,1	128,1	–91,1	–264,8	–0,5	193,1	–36,4	14,3
П ₂ Д ₂	25,5	109,6	82,2	1,1	–111,9	–49,1	–85,8	127,5	–78,0	–40,4	19,3
П ₂ Д ₄	101,0	121,6	87,2	–359,9	–86,9	10,9	113,2	–1,5	36,1	–41,4	16,3
П ₂ Д ₉	–56,9	25,6	80,2	–45,9	–49,9	245,9	–211,8	–0,5	34,1	–38,4	16,3
П ₆ Д ₂	52,2	–77,4	–45,8	35,1	18,1	28,9	163,2	–12,5	–46,0	80,6	–190,8

Примечание. Зеленым цветом выделены значения СКС свыше 200 г, синим цветом – значения СКС ниже 0 г.

Эффект специфической комбинационной способности (СКС) является характеристикой конкретной комбинации скрещивания. Это способность пары родительских линий в данной комбинации скрещивания давать дополнительный эффект проявления признака. Данный эффект может быть как больше, так и меньше того, который ожидали на основе суммарного действия эффектов общей комбинационной способности обоих родителей.

Анализ сочетания эффектов ОКС и СКС, лучших по массе кочана гибридных комбинаций, показал, что:

$K_3 \times \Pi_{1d_1}$ обладает средней массой кочана 1064 г, сочетает самый высокий эффект СКС выше 410,2 г с очень низкими ОКС материнской и отцовской линий;

$K_{10} \times \Pi_{1d_2}$, средняя масса кочана 1097 г, сочетает высокий эффект СКС 295,5 г со средними положительными значениями ОКС до 100 г материнской и отцовской линий;

$K_{12} \times \Pi_{1d_{30}}$, средняя масса кочана 1101 г, сочетает высокий эффект СКС 320,6 г с положительным значением ОКС материнской линии до 100 г и значениями ОКС ниже нуля отцовской линии;

$K_7 \times \Pi_{2d_9}$, масса кочана 1118 г, сочетает высокий эффект СКС 245,9 г с ОКС материнской линии выше 100 г и положительным ОКС отцовской линии.

Эти сведения свидетельствуют о решающем вкладе в генетическом контроле в средней массе кочана лучших гибридов эффектов, обуславливающих специфическую комбинационную способность. В настоящее время для выявления специфической комбинационной способности существует только один способ: гибридизация родительских форм и полевая оценка потомства.

Фенотипический анализ устойчивости к киле. В результате оценки генетической коллекции линий капусты пекинской на устойчивость к киле (возбудитель *P.brassicae*) на искусственном инфекционном фоне установлено, что из 25 линий капусты пекинской 23 линии проявили полную устойчивость к киле, полевому изоляту *P.brassicae* (0 баллов по шкале Buczacki S. [6] – R) (табл. 3); 3 линии (Π_{2d_4} , K_4 и K_9 – контроль восприимчивости) проявили восприимчивость с максимальным баллом поражения (3 балла – S) (табл. 3).

Молекулярное генотипирование. Проведено молекулярное генотипирование части линий капусты пекинской с использованием ДНК-маркеров генов устойчивости *CRA*, *CRb* и *CRA05* (рис. 1).

Размер ожидаемого амплифицируемого фрагмента для маркера Tau_cBrCR404 –404 п.н.; маркера B0902–241 п.н. (для рецессивного аллеля восприимчивости) и 160 п.н. (для доминантного аллеля устойчивости); маркера GC3060–500 п.н. (для рецессивного аллеля восприимчивости) и 320 п.н. (для доминантного аллеля устойчивости).

В соответствии с рисунком 1А в результате молекулярного генотипирования с использованием маркера B0902 гена *CRb* наблюдаются целевые фрагменты, ассоциированные с аллелем устойчивости, размером 160 п.н. у всех устойчивых линий, кроме устойчивой $\text{Chi}_{1\text{мс}}$ и восприимчивой линии K_9 .

При амплификации маркера Tau_cBrCR404 гена *CRA05* целевой фрагмент размером около 400 п.н. отсутствует у всех устойчивых и восприимчивых образцов, что не позволяет с его использованием различить образцы данной генетической коллекции (рис. 1В).

Маркер GC3060 гена устойчивости к киле *CRA*, ожидаемый ДНК-фрагмент, ассоциированный с доминантным аллелем устойчивости размером 320 п.н., обнаруживается у всех устойчивых линий, кроме устойчивой $\text{Chi}_{1\text{мс}}$ и восприимчивой линии K_9 (рис. 1С).

Сопоставление данных молекулярно-генетического и фенотипического анализов для образцов линий капусты пекинской приведено в таблице 4.

Таблица 3

**Оценка устойчивости/восприимчивости к киле (возбудитель *P.brassicae*)
коллекции образцов капусты пекинской на искусственном инфекционном фоне**

№	Наименование образца	Реакция	№	Наименование образца	Реакция
		R/S			R/S
1	K ₁	S	17	П ₁ Д ₈	R
2	K ₂	R	18	П ₁ Д ₉	R
3	K ₃	R	19	П ₁ Д ₁₈	R
4	K ₄	S	20	П ₁ Д ₃₀	R
5	K ₅	R	21	П ₂ Д ₁	R
6	K ₇	R	22	П ₂ Д ₂	R
7	K ₈	R	23	П ₂ Д ₄	S
8	K ₉	S	24	П ₂ Д ₉	R
9	K ₁₀	R	25	П ₆ Д ₂	R
10	K ₁₂	R	26	Чи ₁ мс	R
11	K ₁₉	R	27	Ника F1	R
12	П ₁ Д ₁	R	28	Гидра F1	R
13	П ₁ Д ₂	R	29	Бирюза F1	R
14	П ₁ Д ₄	R	30	Bilko F1	R
15	П ₁ Д ₅	R	31	Questar F1	R
16	П ₁ Д ₇	R	32	Orient Star F1	R

Примечание. R – устойчивый, S – восприимчивый.

В результате генотипирования линий капусты пекинской с использованием маркеров генов устойчивости к киле установлено, что все устойчивые линии капусты пекинской, кроме Чи₁мс, имеют маркеры двух генов устойчивости – *CRA* и *CRb*. Это может свидетельствовать о присутствии в генотипах исследуемой коллекции устойчивых линий двух локусов устойчивости, расположенных в тесном сцеплении на группе сцепления АЗ (табл. 4). Ранее было показано, что первоначально независимо идентифицированные гены *CRb* [9] и *Cra* [13] представляют собой один и тот же ген устойчивости к киле [8]. В последнее время исследователи, ссылаясь на гены *CRb* и *Cra*, объединяют их и относят к одному гену *Cra* [18]. Устойчивая линия Чи₁мс содержит другой ген устойчивости, отличный от *Cra* и *CRA05*, и для его идентификации необходимы другие ДНК-маркеры.

Таким образом, с помощью генотипирования проведена дифференциация линий, содержащих разные гены устойчивости к киле. Они могут быть использованы в качестве доноров для пирамидирования генов устойчивости для придания надежной устойчивости к киле у гибридов F1.

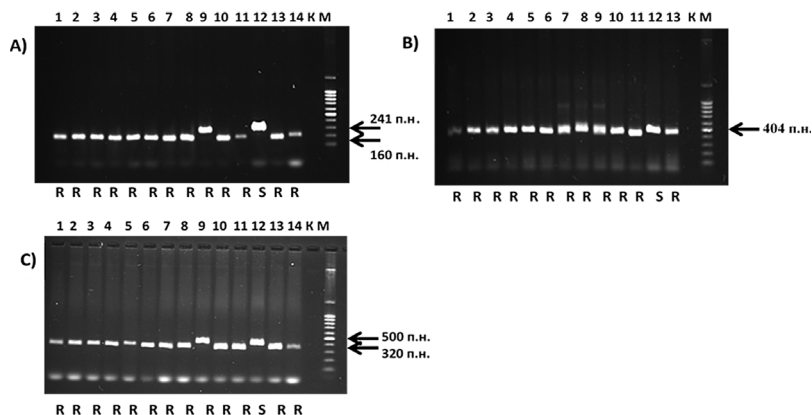


Рис. 1. Электрофореграмма маркеров генов устойчивости к киле:
 А) маркер B0902 гена *CRb*; В) маркер Tau_cBrCR404 гена *CRA05*; С) маркер GC3060 гена *Cra*;
 М – маркер размера ДНК (100 bp); R – устойчивый образец; S – восприимчивый образец.
 Стрелками обозначены ожидаемые целевые фрагменты.
 Наименование образцов: 1 – К₁₉; 2 – П_{2Д9}-2; 3 – П_{1Д7}-1; 4 – К₅; 5 – П_{1Д8}; 6 – П_{1Д18}-2;
 7 – К₇; 8 – К₃; 9 – Чи_{1мс}; 10 – П_{1Д4}-1; 11 – П_{1Д30}; 12 – К₉; 13 – П_{6Д2}-1; 14 – П_{1Д5}-1

Таблица 4

**Данные молекулярного генотипирования
и фенотипирования устойчивости линий капусты пекинской**

№ образца	Генотипы	Реакция на инокуляцию	Наличие маркера гена CRA05	Наличие маркера гена CRA	Наличие маркера гена CRb
1	К ₁₉	R	–	+	+
2	П _{2Д9} -2	R	–	+	+
3	П _{1Д7} -1	R	–	+	+
4	К ₅	R	–	+	+
5	П _{1Д8}	R	–	+	+
6	П _{1Д18} -2	R	–	+	+
7	К ₇	R	–	+	+
8	К ₃	R	–	+	+
9	Чи _{1мс}	R	–	–	–
10	П _{1Д4} -1	R	–	+	+
11	П _{1Д30}	R	–	+	+
12	К ₉	S	–	–	–
13	П _{6Д2} -1	R	–	+	+
14	П _{1Д5} -1	R		+	+

Примечание. R – устойчивый к киле генотип; S – восприимчивый к киле генотип;
 «+» – наличие маркера; «–» – отсутствие маркера.

Лучшие по массе кочана гибридные комбинации капусты пекинской. Изучаемые средние значения массы кочанов гибридов сравнивали со значениями признака стандартов, коммерческих гибридов отечественной и зарубежной селекции: F1 Ника, F1 Гидра, F1 Бирюза, F1 Bilko, F1 Orient Star и F1 Questar. Разброс средних значений признака «Масса кочана» варьировался от 338 г (у генотипа $K_4 \times P_{2d_4}$) до 1118 г (у генотипа $K_7 \times P_{2d_9}$) (табл. 1). По результатам оценки, в сравнении со стандартами, выявлены 11 лучших по продуктивности гибридных комбинаций: $K_{12} \times P_{1d_{30}}$, $K_8 \times P_{1d_8}$, $K_{10} \times P_{1d_2}$, $K_{19} \times P_{2d_1}$, $K_{19} \times P_{1d_9}$, $K_{19} \times P_{1d_{18}}$, $K_7 \times P_{2d_9}$, $K_7 \times P_{1d_5}$, $K_7 \times P_{1d_4}$, $Чи_{1мс} \times P_{1d_4}$ и $K_3 \times P_{1d}$ (рис. 2). Они превосходили 5 из 6 стандартных гибридов, но ни один из них существенно не превосшел по массе кочана F1 Бирюза ($m_{cp} = 1064$ г). Однако следует отметить, что у гибрида Бирюза формируются кочаны с открытой вершиной. Этот признак делает неприемлемым возделывание его в товарном овощеводстве.

Выделенные в этом исследовании перспективные гибриды формируют кочаны с закрытой вершиной. Кроме того, 3 гибрида ($K_1 \times P_{1d_7}$, $K_7 \times P_{1d_8}$ и $K_7 \times P_{1d_2}$), имеющие при полевом испытании массу кочана выше 1000 г, существенно превосходили по этому признаку 4 из 6 стандартов и могут рассматриваться как перспективные.

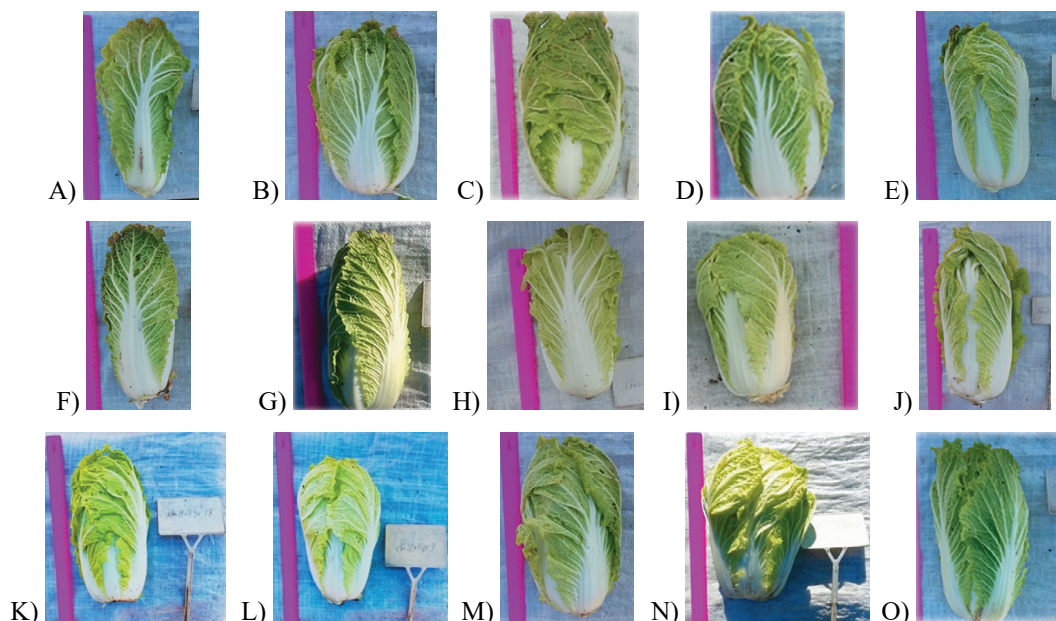


Рис. 2. Капуста пекинская, кочаны гибридных комбинаций с наибольшим проявлением признака «Масса кочана» и кочаны коммерческих гибридов.

Образцы: А – $K_{19} \times P_{1d_9}$; В – $K_7 \times P_{2d_9}$; С – $K_8 \times P_{1d_8}$; D – $K_{19} \times P_{1d_{18}}$; Е – $K_{12} \times P_{1d_{30}}$; F – $K_{19} \times P_{2d_1}$; G – $K_3 \times P_{1d_1}$; H – $K_{10} \times P_{1d_2}$; I – $Чи_{1мс} \times P_{1d_4}$; J – $K_7 \times P_{1d_5}$; K – $K_7 \times P_{1d_4}$; L – Questar F1; M – Orient Star F1; N – Гидра F1; O – Ника F1

Проявление иных хозяйственно-ценных признаков. Изучены проявление признаков «Высота кочана», «Диаметр кочана» и «Ширина жилки листа». Средние значения высоты кочана оцениваемых гибридных комбинаций варьируются от 16,3 см (у гибрида $K_3 \times P_{1d_1}$) до 25,8 см (у гибрида $Чи_{1мс} \times P_{1d_9}$); диаметра кочана – от 6,4 см (у гибрида $Чи_{1мс} \times P_{6d_2}$) до 11,6 см (у гибрида $K_7 \times P_{1d_2}$). Индекс формы кочана у изучаемых 154 гибридов изменяется от 1,8 до 3,9. При этом отмечено, что у 66% от общего числа гибридов индекс кочана находится в диапазоне от 2 до 2,4.

Для 14 гибридов с наибольшей продуктивностью (массой кочана) данные индекса формы кочана представлены в таблице 5.

Индекс кочана у перспективных гибридов капусты пекинской

Генотип	Индекс формы кочана	Генотип	Индекс формы кочана
$K_{19} \times P_{1D_{18}}$	2,4	$K_7 \times P_{2D_9}$	2,0
$K_7 \times P_{1D_5}$	2,0	$Чи_{1мс} \times P_{1D_4}$	2,8
$K_{12} \times P_{1D_{30}}$	2,3	$K_3 \times P_{1D_1}$	1,9
$K_{19} \times P_{2D_1}$	1,9	$K_{19} \times P_{1D_9}$	2,3
$K_7 \times P_{1D_4}$	2,5	$K_8 \times P_{1D_8}$	2,4
$K_{10} \times P_{1D_2}$	2,7	$K_1 \times P_{1D_7}$	2,1
$K_7 \times P_{1D_8}$	2,1	$K_7 \times P_{1D_2}$	2,0

С точки зрения товарности и внешней привлекательности при сопоставлении со стандартами индекс формы кочана у гибридов $K_{19} \times P_{1D_{18}}$, $K_{12} \times P_{1D_{30}}$, $K_8 \times P_{1D_8}$, $K_7 \times P_{1D_4}$ и $K_{19} \times P_{1D_9}$ является схожим со стандартами Orient Star F1 и Quistar F1, а индекс кочана гибридов $K_{10} \times P_{1D_2}$ и $Чи_{1мс} \times P_{1D_4}$ близок к стандарту Ника F1.

Для изучаемой коллекции гибридных комбинаций (154 шт. образца) установлено варьирование признака «Ширина жилки листа» от min 3 см (у гибрида $Чи_{1мс} \times P_{1D_2}$) до max 5,7 см (у гибрида $K_7 \times P_{1D_2}$). У 14 выделенных гибридов с наибольшей массой кочана ширина жилки листа варьируется практически в том же диапазоне: от 3,8 см (у гибрида $Кви_3 \times P_{1D_{г1}}$) до 5,7 см (у гибрида $K_7 \times P_{1D_2}$). Данный признак практически не коррелировал с признаком «Масса кочана» для данной группы генотипов (коэффициент корреляции $r = 0,54$), но примечательно, что у гибрида $K_7 \times P_{2D_9}$ с самым высоким значением массы кочана величина ширины жилки листа близка к максимальному значению (5,5 см).

Выводы

В результате полевого испытания 154 устойчивых к киле гибридных комбинаций капусты пекинской выделены 14 наиболее перспективных ($K_{12} \times P_{1D_{30}}$, $K_8 \times P_{1D_8}$, $K_{10} \times P_{1D_2}$, $K_{19} \times P_{2D_1}$, $K_{19} \times P_{1D_9}$, $K_{19} \times P_{1D_{18}}$, $K_7 \times P_{2D_9}$, $K_7 \times P_{1D_5}$, $K_7 \times P_{1D_4}$, $Чи_{1мс} \times P_{1D_4}$, $K_3 \times P_{1D_1}$, $K_1 \times P_{1D_7}$ и $K_7 \times P_{1D_8}$, $K_7 \times P_{1D_2}$), превосходящих 5 стандартов (кроме Бирюза F1) не менее чем на 20% по массе кочана. В большинстве комбинаций конкурсный гетерозис обусловлен высокой специфической комбинационной способностью. Лучший показатель по продуктивности, выявленный у гибрида $K_7 \times P_{2D_9}$ (1118 г), объясняется удачным сочетанием высоких ОКС и СКС.

В результате оценки устойчивости к киле на искусственном инфекционном фоне линий капусты пекинской выявлена реакция устойчивости 23 из 25 тестируемых линий при инокуляции покоящимися спорами полевого изолята *P.brassicae*. 3 линии, включая контроль восприимчивости K_9 , проявили восприимчивость с максимальным баллом поражения (3 балла).

Молекулярное генотипирование с использованием молекулярного маркера GC3060 гена устойчивости к киле *Cra*, маркера B0902 гена устойчивости *CRb* и маркера Тау_cBrCR404 гена устойчивости *CRA05* позволило произвести дифференциацию

исследуемых линий по генам устойчивости к киле. Молекулярно-генетический анализ выявил, что большинство устойчивых линий содержит два гена устойчивости к киле, *Cra* и *CRb*, что, вероятно, объясняется расположением этих генов в тесном сцеплении на хромосоме A03 генома *B.rapa*. Это позволит использовать их в качестве доноров устойчивости для пирамидирования генов устойчивости.

Выделенные лучшие по проявлению признака «Масса кочана» 14 гибридных комбинаций капусты пекинской рекомендованы для расширенного испытания и отбора перспективных гибридов с комплексом хозяйственно-ценных признаков, включая устойчивость к киле, для передачи на Государственное сортоиспытание. Три килеустойчивые инбредные линии К₇, К₁₉ и П_{1д4} с высоким значением ОКС по массе кочана рекомендованы к использованию в скрещиваниях с другими линиями в других селекционных программах и поиску «удачных» гибридных комбинаций.

Библиографический список

1. Монахос Г.Ф., Монахос С.Г. Капуста пекинская *Brassica rapa* L.Em. Metzg. Ssp. *Pekinensis* (Lour.) Hanelt. Биологические особенности, генетика, селекция и семеноводство: Монография. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2009. – 182 с.
2. Нгуен М.Л., Монахос Г.Ф., Комахин Р.А., Монахос С.Г. Новый локус устойчивости к киле в хромосоме A05 капусты пекинской (*Brassica rapa* L.) // Генетика-2018. – Т. 54, № 3. – С. 306–315.
3. Производство гибридных семян овощных культур: Учебное пособие / М.С. Бунин, Г.Ф. Монахос, В.И. Терехова. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. – 182 с.
4. Савченко В.К. Метод оценки комбинационной способности генетически разнокачественных наборов родительских форм // Методики генетико-селекционного и генетического эксперимента. – Минск, 1973. – С. 48–77.
5. Турбин Н.В., Хотылева Л.В., Тарутина Л.А. Диаллельный анализ в селекции растений. – Минск: Наука и техника, 1974. – С. 5–20.
6. Buczacki S., Toxopeus H., Mattusch P., Johnston T., Dixon G. & Hobolth L. Study of physiologic specialization in *Plasmodiophora brassicae*: proposals for attempted rationalization through an international approach // Trans. Br. mycol. Soc. – 1975. – P. 295–303.
7. Griffing B.A. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems // Australian J. Biol. Sci. – 1956 – Vol. 9. – P. 463–493.
8. Hatakeyama K., Niwa T., Kato T., Ohara T., Kakizaki T. & Matsumoto S. (2017). The tandem repeated organization of NB-LRR genes in the clubroot-resistant *CRb* locus in *Brassica rapa* L. // Molecular genetics and genomics. – 2017. – № 292 (2). Pp. 397–405.
9. Kato T., Hatakeyama K., Fukino N. & Matsumoto S. Identification of a clubroot resistance locus conferring resistance to a *Plasmodiophora brassicae* classified into pathotype group 3 in Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.) // Breed. Sci. – 2012. – № 62. Pp. 282–287.
10. Kuginuki Y., Ajisaka H., Yui M. et al. RAPD markers linked to a clubroot resistance locus in *Brassica rapa* L. // Euphytica. – 1997. – Pp. 149–154.
11. Murray M.G. and Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA // Nucl. Acid. Res. – 1980. – № 8. – Pp. 4321–4325.
12. Sprague G.F., Tatum L.A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn // Jour. Amer. Soc. Agr. – 1942. – Vol. 34. – Pp. 923–932.
13. Ueno H. et al. Molecular characterization of the *Cra* gene conferring clubroot resistance in *Brassica rapa* // Plant molecular biology. – 2012. – № 80. Pp. 621–629.
14. Voorrips R.E. and Visser D.L. Examination of resistance to clubroot in accessions of *Brassica oleracea* using a glasshouse seeding test. // Neth. J. Pl. Pathol. – 1993. – № 99. – Pp. 269–276.

15. Wallenhammar A.C. Prevalence of *Plasmodiophora brassicae* in spring oil-seed rape growing area in Central Sweden and factors influencing soil infestation levels // *Plant Pathol.* – 1996. – № 45. – Pp. 710–719.

16. Wenjing R., Zhiyuan L., Fengqing H., Bin Z., Xing L., Zhiyuan F., Limei Y., Mu Z., Honghao L., Yumei L., Yong W., Hailong Z. Yangyong Utilization of Ogura CMS germplasm with the clubroot resistance Y. gene by fertility restoration and cytoplasm replacement in *Brassica oleracea* L. // *Hortic Res.* – 2020. – № 7. – P. 61. PMC7193625. Doi: 10.1038/s41438-020-0282-8.

17. Yoshikawa H. Studies on breeding of clubroot resistance in cole crops // *Bull Natl Res Inst Veg Ornament Plants Tea Jpn Ser A.* – 1993. – № 7. – Pp. 1–165.

18. Zhu M., Yang L., Zhang Y., Zhuang M., Ji J., Hou X., Li Z., Han F., Lv H. & Wang Y. Introgression of clubroot resistant gene into *Brassica oleracea* L. from *Brassica rapa* based on homoeologous exchange // *Horticulture Research.* – 2022. – № 9.

CHINESE CABBAGE CLUBROOT RESISTANCE GENOTYPING AND EVALUATION OF COMBINING ABILITY

A.D. ZASTAVNYUK¹, G.F. MONAKHOS², A.V. VISHNYAKOVA¹,
A.A. MIRONOV¹, S.G. MONAKHOS¹

(¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,

² LTD Breeding Station named after N.N. Timofeev)

*Chinese cabbage is a multivitamin vegetable crop and it is in constant demand due to its taste and dietary qualities, as well as the ability to harvest this crop twice a year due to the short growing season. There are less than 70 cultivars and hybrids in the State Register of Russia, many of them are susceptible to clubroot caused by soil pathogen *P.brassicae* Wor. In Russia, consumer demand needs to be met with new competitive hybrids that are resistant to major diseases such as clubroot. The aim of the study to evaluate the collection of inbred Chinese cabbage lines with clubroot resistance and to select promising hybrid combinations for further creation of F1 hybrids of the crop.*

*Field trials were carried out in the summer-autumn period of the year 2021. Twenty five Chinese cabbage inbred lines (*B.rapa* ssp. *pekinensis*) and 154 hybrid combinations from crossing these lines were used as plant material. To achieve the goal, the following methods were applied: evaluation of combining ability (GCA and SCA) in the system of crossings of two groups of genotypes; clubroot disease test; molecular genotyping using molecular markers of clubroot resistance genes. As a result of a Chinese cabbage hybrids field trials, 14 were identified that exceed the standards in terms of “mass of head” by at least 20%. Three CR inbred lines K7, K19 and P1d4 with high values of GCA were identified, which are recommended for development of a new hybrid combinations. Based on the data of molecular genotyping of the clubroot resistance genes CRa, CRb, and CRA05 and the disease resistance of Chinese cabbage lines, the genetic collection of lines was differentiated by clubroot resistance genes. This will make it possible to use them as resistance donors when pyramiding resistance genes.*

Key words: Chinese cabbage, *B.rapa* ssp. *pekinensis*, clubroot, *P.brassicae*, combining ability, SCA, GCA, resistance, molecular analysis, DNA genotyping.

References

1. Monakhos G.F., Monakhos S.G. Kapusta pekinskaya *Brassica rapa* L.Em. Metzg. ssp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt. Biologicheskie osobennosti, genetika, selektsiya i semenovodstvo. Monografiya [Chinese cabbage *Brassica rapa* L.Em. Metzg. ssp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt. Biological characteristics, genetics, breeding and seed production. Monograph]. M.: Izd-vo RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 2009: 182. (In Rus.)

2. *Nguyen M.L., Monakhos G.F., Komakhin R.A., Monakhos S.G.* Noviy lokus us-toychivosti k kile v khromosome A05 kapusty pekinskoy (*Brassica rapa* L.) [A new locus of clubroot resistance in chromosome A05 of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.)]. *Genetika*. 2018; 54 (3): 306–315. DOI: 10.7868/s0016675818030037 (In Rus.)
3. *Bunin M.S., Monakhos G.F., Terekhova V.I.* Proizvodstvo gibridnykh semyan ovoshchnykh kul'tur: Uchebnoe posobie [Hybrid Vegetable Seed Production: textbook]. M.: Izd-vo RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 2011: 182. (In Rus.)
4. *Savchenko V.K.* Metod otsenki kombinatsionnoy sposobnosti geneticheski raz-nokachestvennykh naborov roditel'skikh form [Method for evaluating the combining abili-ty of genetically diverse sets of parental forms]. *Metodiki genetiko-selektсионного i gene-ticheskogo eksperimenta*. Minsk. 1973: 48–77. (In Rus.)
5. *Turbin N.V., Khotyleva L.V., Tarutina L.A.* Diallel'niy analiz v selektsii raste-niy [Diallel analysis in plant breeding]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1974: 5–20. (In Rus.)
6. *Buczacki S., Toxopeus H., Mattusch P., Johnston T., Dixon G., Hobolth L.* Study of physiologic specialization in *Plasmodiophora brassicae*: proposals for attempted ratio-nalization through an international approach. *Trans. Br.mycol. Soc.* 1975: 295–303. DOI: 10.1016/S0007–1536(75)80013–1
7. *Griffing B.A.* Concept of general and specific combining ability in relation to dial-lel crossing systems. *Australian J. Biol. Sci.* 1956; 9: 463–493. DOI: 10.1071/B19560463
8. *Hatakeyama K., Niwa T., Kato T., Ohara T., Kakizaki T., Matsumoto S.* The tandem re-peated organization of NB-LRR genes in the clubroot-resistant CRb locus in *Brassica rapa* L. *Mo-lecular genetics and genomics*. 2017; 292 (2): 397–405. DOI: 10.1007/s00438–016–1281–1
9. *Kato T., Hatakeyama K., Fukino N., Matsumoto S.* Identificaiton of a clubroot re-sistance locus conferring resistance to a *Plasmodiophora brassicae* classified into pathoty-pe group 3 in Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.). *Breed. Sci.* 2012; 62: 282–287. DOI: 10.1270/jsbbs.62.282
10. *Kuginuki Y., Ajisaka H., Yui M. et al.* RAPD markers linked to a clubroot-resistan-ce locus in *Brassica rapa* L. *Euphytica*. 1997: 149–154. DOI: 10.1023/A:1003147815692
11. *Murray M.G., Thompson W.F.* Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucl. Acid. Res.* 1980; 8: 4321–4325. DOI: 10.1093/nar/8.19.4321
12. *Sprague G.F., Tatum L.A.* General vs. specific combining ability in single cros-ses of corn. *Jour. Amer. Soc. Agr.* 1942; 34: 923–932.
13. *Ueno H. et al.* Molecular characterization of the CRa gene conferring club-root resistance in *Brassica rapa*. *Plant molecular biology*. 2012; 80: 621–629. DOI: 10.1007/s11103–012–9971–5.
14. *Voorips R.E., Visser D.L.* Examination of resistance to clubroot in accessions of *Brassica oleracea* using a glasshouse seeding test. *Neth. J.PI. Pathol.* 1993; 99: 269–276. DOI: 10.1007/BF01974308
15. *Wallenhammar A.C.* Prevalence of *Plasmodiophora brassicae* in spring oil-seed rape growing area in Central Sweden and factors influencing soil infestation levels. *Plant Pathol.* 1996; 45: 710–719. DOI: 10.1046/j.1365–3059.1996.d01–173.x
16. *Wenjing R., Zhiyuan L., Fengqing H., Bin Z., Xing L., Zhiyuan F., Limei Y., Mu Z., Honghao L., Yumei L., Yong W., Hailong Y., Yangyong Z.* Utilization of Ogura CMS germplasm with the clubroot resistance gene by fertility restoration and cytoplasm replacement in *Bras-sica oleracea* L. *Hortic Res.* 2020; 7: 61. PMC7193625. DOI: 10.1038/s41438–020–0282–8
17. *Yoshikawa H.* Studies on breeding of clubroot resistance in cole crops. *Bull Natl Res Inst Veg Ornam Plants Tea Jpn Ser A*. 1993; 7: 1–165. DOI: 10.1007/s00344–009–9100–0
18. *Zhu M., Yang L., Zhang Y., Zhuang M., Ji J., Hou X., Li Z., Han F., Lv H., Wang Y.* Introgression of clubroot resistant gene into *Brassica oleracea* L. from *Brassica rapa* based on homoeologous exchange. *Horticulture Research*. 2022; 9. DOI: 10.1093/hr/uhac195

Заставнюк Анастасия Дмитриевна, аспирант кафедры ботаники селекции и семеноводства садовых растений, младший научный сотрудник селекционно-семеноводческого центра овощных культур, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (910) 409–67–83; e-mail: a.zastavnuk@rgau-msha.ru), <http://orcid.org/0000-0003-4115-0606>, ResearcherID: ADP-6159–2022

Монахос Григорий Федорович, канд. с.-х. наук, генеральный директор ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Пасечная, 5; тел.: (499) 977–11–74; e-mail: breedst@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0002-6603-6933>

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), <http://orcid.org/0000-0002-9160-1164>, Researcher ID: AAX-8791–2021, Scopus Author ID: 57302370100

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), <http://orcid.org/0000-0002-0297-500X>, Researcher ID: AAD-1773–2022, Scopus Author ID: 57214231613

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), <http://orcid.org/0000-0001-9404-8862>, Researcher ID: L-5962–2013, Scopus Author ID: 56052882900

Anastasiya D. Zastavnyuk, post-graduate student, Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Junior Research Associate of Vegetable Crops Breeding and Seed Technology Center, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (910) 409–67–83; E-mail: a.zastavnuk@rgau-msha.ru)

Grigoriy F. Monakhos, PhD (Ag), Chief Executive Officer of Breeding Station named after N.N. Timofeev (5 Pasechnaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 977–11–74; E-mail: breedst@mail.ru)

Anastasiya V. Vishnyakova, Ph.D (Ag), Associate Professor of the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–41–71; E-mail: a.vishnyakova@rgau-msha.ru)

Aleksey A. Mironov, Ph.D (Ag), Associate Professor of the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–41–71; E-mail: a.mironov@rgau-msha.ru)

Sokrat G. Monakhos, DSc (Ag), Professor, Head of the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–41–71; E-mail: s.monakhos@rgau-msha.ru)

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ СОИ К БАКТЕРИАЛЬНЫМ БОЛЕЗНЯМ
НА ИСКУССТВЕННОМ ИНФЕКЦИОННОМ ФОНЕ

Р.И. ТАРАКАНОВ

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

Бактериальный ожог (*P. savastanoi* pv. *glycinea* (Psg)) является одним из основных бактериальных заболеваний, снижающих рентабельность выращивания сои. Другой болезнью сои, недавно обнаруженной в России, является ржаво-бурая бактериальная пятнистость (и увядание) (*C. flaccitfaciens* pv. *flaccitfaciens*). Вред, наносимый этими болезнями, появление устойчивых к антибиотикам штаммов бактериальных фитопатогенов и несовершенство имеющихся мер защиты диктуют необходимость поиска альтернативных стратегий. Одним из них является использование устойчивых или малопоражаемых сортов. В работе определен оптимальный метод искусственного заражения растений и проведен скрининг 47 сортов сои, выращиваемых в стране, на восприимчивость к различным штаммам двух патогенов. Показано, что оптимальным способом заражения является срез ножницами, смоченными в суспензии бактерии с концентрацией 10^8 КОЕ/мл. Это позволяет получать типичные симптомы болезни с максимальной площадью поражения через 10 дней после инокуляции. Наименее поражаемым был сортобразец Соер 4, а наиболее восприимчивыми – сорта Нордика и Осмонь. Отмечена нетипичная реакция сверхчувствительности в виде абортации тройчатого листа с черешком при инокуляции Psg у сортов Нордика и Опус, а также сорта Максус, после инокуляции Psg и Cff.

Ключевые слова: бактериальный ожог, ржаво-бурая пятнистость, вилт, *Pseudomonas*, *Curtobacterium*, иммунитет, устойчивость, искусственное заражение, бактериоз сои.

Введение

Соя (*Glycine max* Willd) является основной зернобобовой культурой во всем мире. Выращивание сои имеет большое значение для продовольственной безопасности ввиду того, что данная культура является важным источником белка для питания людей и часто используется в кормлении сельскохозяйственных животных. За 2020 г. в мире было собрано 353,5 млн т с площади 126,9 млн га при средней урожайности 27,8 ц/га [1]. Недобор урожайности и снижение качества сои могут происходить по причине целого ряда факторов, однако наиболее существенными являются сорные растения, вредители и болезни [2–4].

Среди болезней этой культуры бактериальной этиологии бактериальный ожог считается наиболее разрушительным, способствуя снижению урожайности до 40% [5]. Грамотрицательная бактерия *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* (Coerper, 1919; Gardan et al., 1992) syn -*Pseudomonas syringae* pv. *glycinea* (Coerper, 1919; Young et al., 1978) (далее – Psg) является возбудителем бактериального ожога сои [5]. Возбудитель был обнаружен в 41 стране во всех климатических зонах производства сои. Psg поражает все надземные части сои, но характерные симптомы обычно наблюдаются на листьях среднего и верхнего ярусов и на стручках.

Другими болезнями сои бактериальной этиологии являются ржаво-бурая бактериальная пятнистость и увядание, вызванные грамположительной бактерией *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* (Hedges, 1922) (далее – Cff). Данная бактерия поражает сосудистую систему растения, вызывает пятна на листьях, ожоги, увядание и гибель растений зернобобовых культур (фасоли, сои, гороха, кормовых бобов и др.) [6]. Зараженные растения растут медленно, их листья опадают, побеги отмирают, а основной стебель увядает и ломается. Несмотря на то, что главным растением-хозяином является фасоль (*Phaseolus vulgaris* L.), патоген может вызывать эпифитотии и на сое [7]. Вредоносность патогена заключается в снижении урожайности [8] и качества семян [9].

В настоящее время меры защиты сои от бактериозов носят комплексный характер и включают в себя несколько методов, основными из которых на профилактике болезней являются, в частности, сертификация семян и недопущение попадания зараженных семян в поле [10–12]. К другим мерам борьбы относятся соблюдение севооборота, использование устойчивых сортов и обработка химическими и биологическими агентами, причем наиболее простым и надежным методом защиты является использование устойчивых сортов. К достоинствам данного метода относятся снижение затрат на применение средств защиты растений, и как следствие – меньшее загрязнение продукции пестицидами.

Успех селекции на устойчивость во многом определяется наличием эффективных методов создания искусственного инфекционного фона и сведениями о вирулентности штаммов фитопатогенов. Данное направление в защите зернобобовых от бактериозов развивается в других странах [13, 14], но в России отсутствует информация об устойчивости к бактериозам используемых на производстве сортов сои.

В задачи исследований входили сравнение различных способов создания искусственного инфекционного фона и скрининг коллекции сортов сои, выращиваемых на территории РФ, на устойчивость к Psg и Cff.

Материал и методика исследований

Бактериальные штаммы. В работе использовали по 3 штамма Psg и Cff (табл. 1) из коллекции CFBP (Французская коллекция фитопатогенных бактерий, Beaucouzé, Франция), № 2214 и № 3418, и штаммы, выделенные и описанные нами в предыдущих публикациях [15, 16]. Данные штаммы обладали патогенностью по отношению к растениям сои сорта Касатка при искусственном заражении. Штаммы Psg положительно реагировали с помощью ПЦР-анализа на ген, кодирующий синтез коронофакат лигазы *cfl* [17]; нуклеотидные последовательности фрагментов гена цинтарсинтазы *cts* [18] с высокой степенью гомологии (< 98%) были идентичны сиквенсам штаммов данного вида в генетической базе данных Genbank. Штаммы Cff были охарактеризованы с использованием родоспецифичных [19] и видоспецифичных [20] праймеров.

Сравнение способов создания инфекционного фона. Штаммы бактерий CFBP № 2214 и № 3418, являющихся типовыми для Psg и Cff, выращивали на среде King B при $20 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ в течение 72 ч. Бактериальные суспензии получали путем добавления 10 мл стерильной дистиллированной воды в каждую чашку Петри и доведения концентрации до $1-7 \times 10^8$ КОЕ/мл, измеренной при помощи спектрофотометра Nanodrop One. Для лучшего контакта с листом в суспензию добавляли смачивающий агент Silwet Gold (Chemtura, Филадельфия, Пенсильвания, США) до концентрации 0,01%.

Перед заражением растения сорта Касатка (оригинатор ФНАЦ ВИМ) выращивали в торфо-перлитовом субстрате в пластиковых лотках до фазы V3. Растения культивировали в теплице при $28/22^\circ\text{C}$ (в течение 14 ч днем/10 ч ночью) с естественным освещением и поливали по мере необходимости. Сравнивали несколько методов искусственного заражения растений.

Характеристика штаммов, использованных в исследованиях

Вид бактерии	Штамм	Культура, сорт	Орган изоляции	Место и год изоляции	Ссылка
<i>Pseudomonas savastanoi</i> pv. <i>glycinea</i>	CFBP 2214	<i>Glycine max</i>	Листья	Новая Зеландия, 1968	[21]
	G2	<i>Glycine max</i> , Касатка	Семена	РФ, Амурская область, 2019	[15]
	G17	<i>Glycine max</i> , Касатка		РФ, Хабаровский край, 2021	
<i>Curtobacterium flaccumfaciens</i> pv. <i>flaccumfaciens</i>	CFBP 3418	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Листья	Венгрия, 1957	[21]
	F-125–1	<i>Glycine max</i> , Касатка	Семена	РФ, Рязанская область 2021	[16]
	F-30–1	<i>Glycine max</i> , Даурия		РФ, Амурская область 2021	

В первом варианте проводили инфильтрацию суспензии в мезофилл листа при помощи медицинского инъекционного шприца [22]. Данный метод обычно применяется для проверки патогенности бактерий, поражающих лист.

Во втором варианте ножницы замачивали в суспензии бактерий и срезали ими лист перпендикулярно жилкам на глубину 1 см от края, как в случае проверки патогенности *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum* [23].

В третьем варианте стерильный пинцет и вату опускали в колбу с суспензией, вату накручивали на оба рычага и сжимали лист сверху и снизу в нескольких местах для создания ранений и возможности суспензии проникнуть в лист.

В четвертом варианте суспензию при помощи шприца вводили в черешок пары примордиальных листьев [6].

В пятом варианте проводили инфильтрацию бактерий при помощи аэрографа 1113 AirControl (JAS, Нинбо, Китай), описанную для инокуляции *Pseudomonas syringae* [24] с модификациями. Для этого тройчатые листья растений заражали на стадии V2, прижимая лист к плоской поверхности (чашка Петри), чтобы избежать повреждения давлением от распыления аэрографа. Все листья были инокулированы из расчета 5 мл суспензии с концентрацией 10^9 КОЕ/мл на растение.

Отрицательный контроль опрыскивали эквивалентным количеством воды с использованием смачивающего агента. За два дня до инокуляции и через 24 ч после нее относительную влажность в теплице поддерживали на уровне ~95% при температуре 28/22°C.

Оценку развития заболевания на взрослых растениях проводили на 12-й день после заражения, используя приложение LeafDoctor, установленный на iPhone SE2. Все листья со всех растений были индивидуально сфотографированы и проанализированы путем перемещения ползунка порога до тех пор, пока только симптоматические ткани не были преобразованы в синий оттенок. Вычисления процента пораженных тканей проведены в соответствии с рекомендациями разработчика. Анализировали 3 повторности по 2 растения в каждой.

Для заражения коллекции сортов использовали метод, обеспечивший наибольшую площадь поражения листа при наименьших затратах рабочего времени.

Условия инокуляции и коллекция сортов. Сбор коллекции семян сои различных сортов проводили в 2020–2021 гг. с посевов 1–2 репродукций коммерческих фирм в Орловской

и Рязанской областях, Ставропольском и Хабаровском краях. Информация о характеристиках сортов получена с сайта Госсорткомиссии (Государственный реестр селекционных достижений). После сбора семена хранили в бумажных пакетах без доступа света и влаги при +4°C.

Полная характеристика сортов, использованных в исследованиях, представлена в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика сортов сои, использованных в исследованиях

№ п/п	Сорт	Группа спелости	Оригинатор (страна)	Регион допуска*
1	Асука	ранний	Semences Prograin Inc. (Канада)	5, 6, 12
2	Опус	ранний		5
3	Кофу	ранний		5
4	Сибيريا	ранний		5
5	Хана	ранний		5, 6, 12
6	Нордика	ранний		12
7	Максус	ранний		5
8	Аляска	ранний		5
9	Киото	среднеранний		5
10	Соер 4	ранний	ФАНЦ Юго-Востока (Россия)	5, 7, 8, 9, 12
11	Самер 1	ранний		7
12	Чера	ранний	ФАНЦ Северо-Востока Россия)	4, 7
13	Мк-100	ранний	ВНИИ Сои (Россия)	12
14	Даурия	ранний		12
15	Грация	ранний		12
16	Китросса	ранний		12
17	Дш 863	ранний	Sevita Genetics (Канада)	12
18	Бара	очень ранний	Соевый Комплекс (Россия)	5
19	Аванта	очень ранний		5, 7, 8
20	Эльта	ранний		5, 6
21	Дока	ранний		5, 6, 9, 10
22	Арлета	ранний		5, 6, 8
23	Фарта	ранний		5, 6, 8

№ п/п	Сорт	Группа спелости	Оригинатор (страна)	Регион допуска*
24	Аргента	ранний	ЭкоНива-Семена (Россия)	5
25	Султана	очень ранний	Societe Ragt 2n S.A.S. (Франция)	6
26	Протина	ранний		5
27	Ржт Шуна	ранний		6
28	Мезенка	очень ранний		5
29	Свапа	ранний	ФАНЦ Зернобобовых и Крупяных культур (Россия)	5
30	Осмонь	ранний		5
31	Зуша	среднеранний		5
32	Белгород- ская 7	очень ранний	Белгородский ГАУ (Россия)	5
33	Белгород- ская 48	среднеранний		5
34	ЕС Ко- мандор	среднеранний	Lidea France (Франция)	5, 6
35	Фавор	среднеранний		5, 6, 12
36	Волма	очень ранний	Соя-Север КО (Белоруссия)	3, 5, 7, 9, 12
37	Припять	ранний		2, 3, 5
38	Билявка	очень ранний	Русская Генетика (Россия)	5
39	Аннушка	ранний		5
40	Сибириада	ранний	ФГБНУ Омский АНЦ (Россия)	3, 10, 11
41	Пруденс	очень ранний	Huron Commodities Inc. (Канада)	5
42	Малага	очень ранний	Saatbau Linz Egen (Австрия)	5
43	Лиссабон	среднеранний		5, 12
44	Альтона	среднеранний		5
45	Скульптор	ранний	Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke Kg (Германия)	3, 5, 7
46	Амадеа	ранний	Saatzucht Donau (Австрия)	6
47	Касатка	ранний	ФНАЦ ВИМ (Россия)	3, 4

*2 – Северо-Западный; 3 – Центральный; 4 – Волго-Вятский; 5 – Центрально-Черноземный; 6 – Северо-Кавказский; 7 – Средневолжский; 8 – Нижневолжский; 9 – Уральский; 10 – Западно-Сибирский; 11 – Восточно-Сибирский; 12 – Дальневосточный.

Инокуляцию коллекции сортов и опыты по оценке устойчивости проводили в мае-августе 2021–2022 гг. в экспериментальных теплицах лаборатории защиты растений РГАУ-МСХА.

Коллекцию выращивали в дерново-перлитовом субстрате в пластиковых лотках до фазы V3. Растения культивировали в теплице при температуре 28/22°C (в течение 14 ч днем/10 ч ночью) с естественным освещением и поливали по мере необходимости. Для заражения использовали метод разрезания листа ножницами, смоченными в суспензии бактерии, показавшей хорошие результаты на этапе выбора способа инокуляции. Суспензию бактерии готовили аналогично методике, указанной ранее. За два дня до инокуляции и через 24 ч после нее относительную влажность поддерживали на уровне ~95% при температуре 28/22°C. Проводили заражение всех листьев. Опыт повторяли дважды (в июне и в августе), заражая все листья 4-х растений каждого сорта. Учет проводили на 12-е сутки после инокуляции, измеряя ширину зоны листа с симптомами при помощи штангенциркуля.

Статистический анализ. Данные рассматривали с применением метода дисперсионного анализа, используя программу Statistica 12.0 (StatSoft, США), сравнение средних значений по критерию Дункана. Значения $P < 0,05$ считались значимыми. Данные, выраженные в процентах, перед обработкой были преобразованы в арксинусы. Графики были созданы с помощью GraphPad Prism 9.2.0.

Результаты и их обсуждение

Симптомы, полученные в ходе инокуляции, соответствовали описанию фенотипических проявлений реакции растения на патогены (рис. 2 А-Б). При заражении листьев Psg появлялся желтоватого цвета хлороз, к моменту учета переходящий в некроз коричневатого цвета с изъязвлениями листовой пластинки. При заражении Cff наблюдали соломенного цвета хлороз, постепенно переходящий в такой же окраски некроз листовой пластинки.

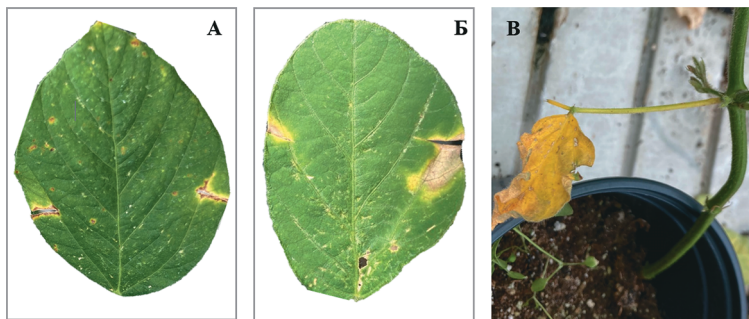


Рис. 1. Реакция сортов сои на инокуляцию бактериозами сои методом разрезания листа ножницами, смоченными в суспензии бактерии: А – инокуляция Psg; Б – инокуляция Cff; В – абортация тройчатого листа и черешка после инокуляции сорта Нордика штаммом Psg CFBP 2214 на 21-й день)

На рисунке 2 представлены данные о площади поражения листьев и затратах рабочего времени при инокуляции листьев различными методами. Максимальная площадь поражения как Psg, так и Cff листьев сои, была получена при инокуляции с использованием аэрографа (15,6 и 12,7% соответственно). Наименьшие значения получены при инокуляции листьев методом инфильтрации суспензии в мезофилл листа (1,54 и 1,67% соответственно). Способ II также показал максимальные значения зоны поражения листа (9,7 и 8,1% соответственно), причем при способах I и III

некроз был получен и в контрольном варианте, что связано с механическим давлением шприца и пинцета, приводящими к отмиранию тканей вокруг места инокуляции. Способ IV не привел к появлению симптомов, что может быть связано с различиями проводящей системы сои и фасоли, в отношении которой этот метод применяется для скрининга сортов на устойчивость к Cff [4].

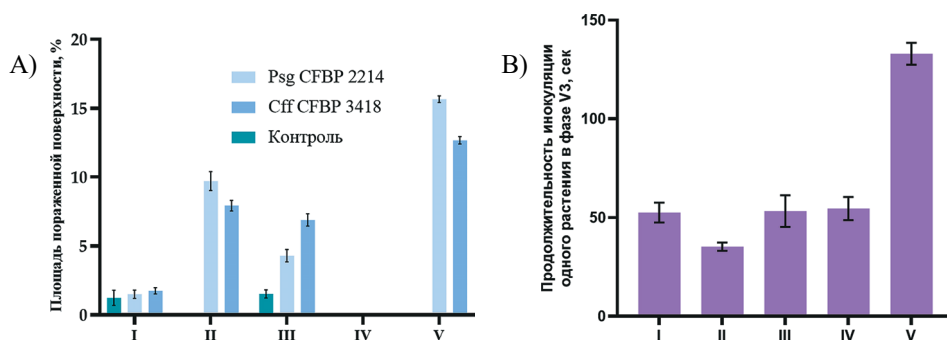


Рис. 2. Сравнение различных способов создания инфекционного фона Psg и Cff на листьях сои. Площадь поражения поверхности листьев сои при искусственном заражении различными методами (А).

Затраты времени для инокуляции листьев сои разными методами (В):

- I – инфильтрация суспензии в мезофилл листа;
- II – срез листа ножницами, смоченными в суспензии;
- III – инокуляция пинцетом и ватой, смоченными в суспензии;
- IV – введение суспензии в черешок пары примордиальных листьев;
- V – инфильтрация при помощи аэрографа

По продолжительности времени, необходимого для заражения растения, наименьший показатель демонстрировал вариант II (срез листа ножницами, смоченными в суспензии, 36,5 с), наибольший – вариант V (инфильтрация при помощи аэрографа, 133,4 с). V вариант инокуляции, хотя и является трудозатратным по сравнению с другими, но позволяет создавать стабильный инфекционный фон с высокой степенью поражения листьев у обеих бактерий.

Таким образом, в дальнейшем для оценки устойчивости коллекции сортов сои к бактериозам использовали способ II, показавший хорошие результаты как по площади поражения, так и по затратам времени на инокуляцию растения.

Результаты искусственного заражения коллекции сортов 3 штаммами Psg и 3 штаммами Cff представлены на рисунке 3 и в таблице 2. В результате учета поражаемости сортов сои выяснили, что все сорта поражаются всеми штаммами бактерий, однако существуют значительные различия в размере зоны поражения растения каждого конкретного сорта.

Сорта были подразделены на 4 группы по поражаемости каждым патогеном (табл. 3). По отношению к Psg первая, наименее поражаемая группа (обозначение 1 в таблице 3), была наибольшей по численности, и в нее вошли 23 сорта, во вторую группу вошли 9 сортов, в третью – 10, в четвертую – 3 сорта соответственно. У Cff картина распределения групп по поражаемости была следующей: первая группа – 22 сорта, вторая – 9, третья – 11, четвертая – 3 сорта соответственно.

Наименее поражаемым Psg были растения сорта Соер 4, показавшие минимальный размер зоны поражения (в среднем 0,61 мм по всем трем штаммам). Самым восприимчивым оказался сорт Осмонь (в среднем 6,88 мм по всем трем штаммам). В случае Cff наименее поражаемым был также сорт Соер 4 (в среднем 0,46 мм). Больше всего поражался сорт Нордика (в среднем ширина зоны с симптомами составила 6,23 мм).

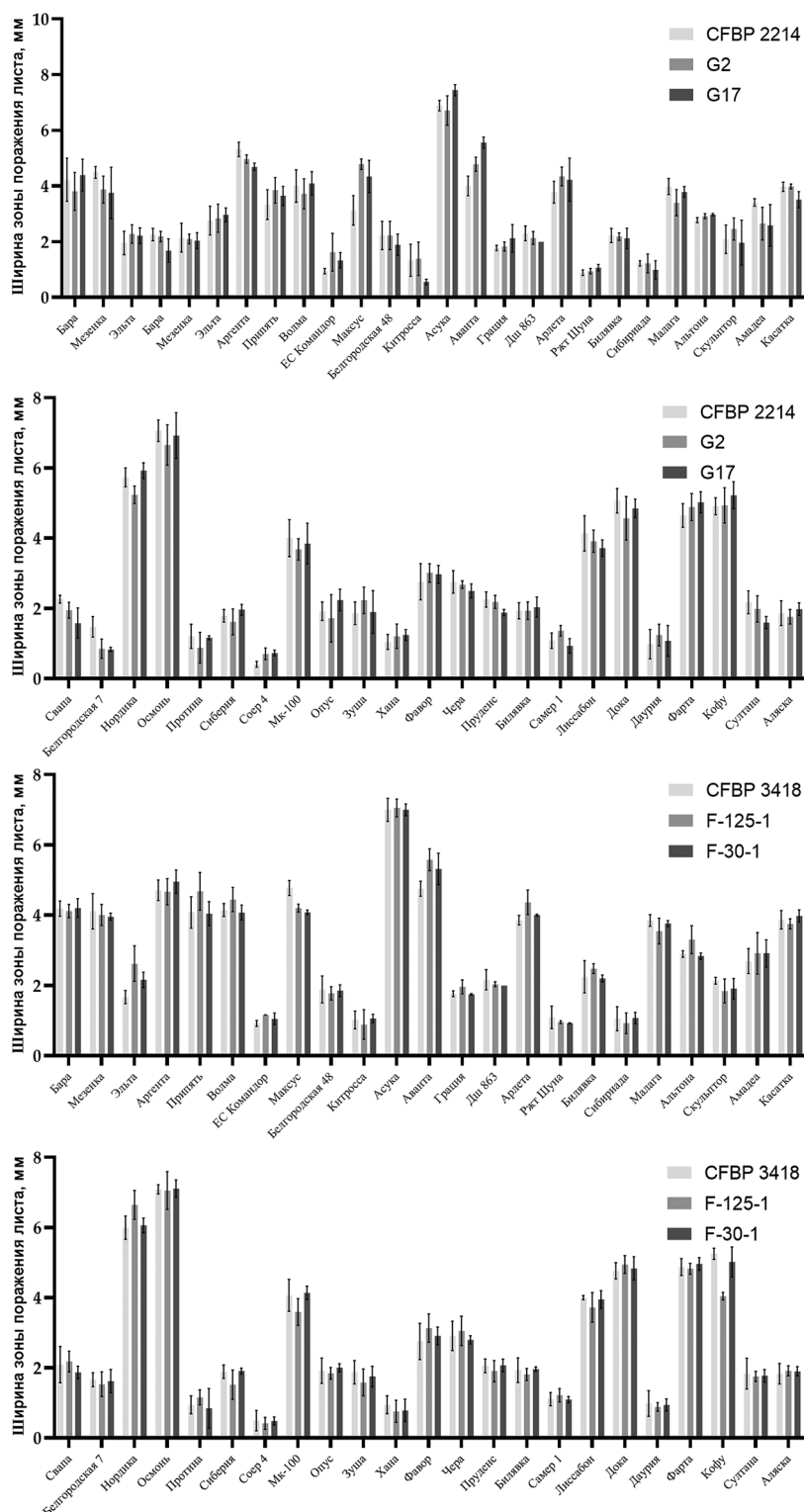


Рис. 3. Значения ширины зоны поражения листа сортов сои при инокуляции ножницами, смоченными в суспензии разных штаммов Psg (А) и Cff (Б)

Таблица 3

**Степень поражаемости сортов сои возбудителями бактериального ожога (Psg)
и ржаво-бурой бактериальной пятнистости (Cff)**

Сорт	Psg		Cff	
	Буквенное обозначение статистической группы*	Группа поражаемости**	Буквенное обозначение статистической группы*	Группа поражаемости**
Аванта	h	3	dfg	3
Альтона	d	2	fgh	2
Аляска	c	1	mnp	1
Амадеа	d	2	kl	2
Аргента	h	3	op	3
Арлета	g	3	bc	3
Асука	j	4	s	4
Бара	c	2	lmno	3
Белгородская 48	c	1	bc	1
Белгородская 7	b	1	d	1
Биливка	c	1	c	2
Биливка	c	1	bc	1
Волма	efg	3	bc	3
Грация	c	1	ghi	1
Даурия	b	1	q	3
Дока	h	3	bc	3
Дш 863	c	1	lmnop	1
ЕС Командор	b	1	p	1
Зуша	c	1	b	1
Касатка	efg	2	fgh	2
Китросса	b	1	u	1
Кофу	h	3	dfg	3
Лиссабон	efg	3	q	2

Сорт	Psg		Cff	
	Буквенное обозначение статистической группы*	Группа поражаемости**	Буквенное обозначение статистической группы*	Группа поражаемости**
Максус	fg	3	dfg	3
Малага	ef	2	j	2
Мезенка	c	2	hi	3
Мк-100	efg	3	klmn	2
Нордика	i	4	t	4
Опус	c	1	df	1
Осмонь	j	4	u	4
Припять	e	2	nop	3
Протина	b	1	bc	1
Пруденс	c	1	dfgh	1
Ржт Шуна	b	1	i	1
Самер 1	b	1	klm	1
Свапа	c	1	fghi	1
Сибيريا	c	1	dfg	1
Сибириада	b	1	k	1
Скульптор	c	1	j	1
Соер 4	a	1	a	1
Султана	c	1	dfgh	1
Фавор	d	2	j	2
Фарта	h	3	q	3
Хана	b	1	j	1
Чера	d	2	fgh	2
Эльта	d	1	q	1

*Значения в строках, отмеченных разными буквами, указывают на значительную разницу при использовании критерия Дункана при $p = 0,05$.

**Группа поражаемости по распределению ширины зоны листа с симптомами (1 – слабопоражаемая, 2 – среднепоражаемая, 3 – сильнопоражаемая, 4 – очень сильнопоражаемая).

Таким образом сорт Соер 4, наименее поражаемый, рекомендуется для дальнейшего изучения и включения в селекционные программы по сое как источник генов устойчивости к бактериальному ожогу и ржаво-бурому бактериальному ожогу. Сильнопоражаемые сорта Нордика и Осмонь рекомендуется использовать как наиболее восприимчивые при оценке вирулентности штаммов патогенов и на этапе проведения теста на патогенность при диагностике семян на наличие возбудителей бактериозов [10, 28].

Отмечено, что все штаммы в пределах вида патогена давали почти одинаковые размеры зоны поражения листа. Это может указывать на однородность популяции патогена в России, как в случае с *Xanthomonas campestris* pv. *vitians* на салате [25]. Однако в некоторых парах «Штамм-сорт» размер зоны поражения статистически отличался от двух других штаммов того же патогена. Например, отличаются штаммы Psg: CFBP 2214 на сорте Соер 4, G17 на сорте Китросса, все штаммы на сорте Аванта, а у Cff – штаммы F-125–1 на сорте Кофу, CFBP 3418 на сортах Эльта и Максус. Данный факт может быть связан с наличием штаммоспецифичной реакции сорта на инокуляцию тем или иным штаммом.

Стоит отметить, что сорта Нордика и Опус после инокуляции Psg и сорт Максус после инокуляции Psg и Cff через 10 дней после учета симптомов (на 21-й день после инокуляции) показали реакцию абортации зараженных тройчатых листьев (рис. 1 В). Данная системная реакция может косвенно указывать на наличие реакции сверхчувствительности, описанной, к примеру, для *Pseudomonas syringae* pv. *maculicola* [26, 27]. Механизм этого процесса заключается в том, что при несовместимом взаимодействии белок *Avr* распознается продуктом гена резистентности *R*, который запускает реакцию гиперчувствительности и приводит к прерыванию заболевания. Возможно, данный механизм и приводит к абортации и прерыванию заболевания, вызванного Psg и Cff. Очевидно, что в дальнейшем необходимо провести подробное исследование, описывающее истинный механизм данного феномена.

Безусловно, данное исследование по скринингу поражаемости российских сортов сои бактериозами является первичным, поэтому в дальнейшем планируется провести оценку той же линейки сортов, но уже с большим количеством штаммов, выделенных из разных почвенно-климатических зон страны. Это даст более четкую картину как популяции патогенов, так и, возможно, наличия специфического взаимодействия «Ген-ген».

Что касается физиологических рас, то у Psg известно 10 рас [29], и наиболее распространенной в мире является раса 4 [31]. У Cff на данный момент расовая дифференциация на сое неизвестна – известной она является только на фасоли [30]. При этом данные о расовом составе этих патогенов, как и об их генетическом разнообразии в России, отсутствуют. Выявление расового состава Psg в нашей стране позволило бы в дальнейшем при селекции на устойчивость к бактериозам использовать не только полевой, но и вертикальный (расоспецифический) типы устойчивости.

Выводы

1. Показано, что оптимальным способом инокуляции при скрининге селекционного материала сои на устойчивость к бактериальному ожогу и ржаво-бурой бактериальной пятнистости является срез листа ножницами, смоченными в бактериальной суспензии с концентрацией 10^8 КОЕ/мл. Данный метод позволяет проводить быструю инокуляцию (36,5 с/растение) и получать максимальный размер зоны поражения возбудителями.

2. Все проанализированные сортообразцы поражались всеми испытанными штаммами бактерий, однако имелись сильные различия в сортовой устойчивости.

Соер 4 рекомендован для включения в селекционные программы и дальнейшего изучения как перспективный сортообразец с минимальной степенью поражения штаммами российской популяции бактериального ожога и ржаво-бурой бактериальной пятнистости (и увядания) сои. Сорта Нордика и Осмонь рекомендуется использовать как наиболее восприимчивые при оценке вирулентности штаммов патогенов и на этапе проведения теста на патогенность при диагностике семян на наличие возбудителей бактериозов.

3. Сортообразцы Нордика, Опус и Максус, показавшие на 21-й день после инокуляции реакцию абортации зараженных тройчатых листьев, рекомендуются к дальнейшему изучению как перспективные доноры признака.

Работа выполнена за счет средств Программы развития Университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-203».

Автор выражает искреннюю благодарность доктору биологических наук, профессору Агробиотехнологического департамента ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» Александру Николаевичу Игнатову за помощь в планировании и статистической обработке результатов экспериментов.

Библиографический список

1. FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook. FAO: Rome, Italy, 2021.
2. Allen T.W., Bradley C.A., Sisson A.J., Byamukama E., Chilvers M.I. Coker C.M., Collins A.A., Damicone J.P., Dorrance A.E., Dufault N.S. Soybean Yield Loss Estimates Due to Diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2010 to 2014 // Plant Health Progress. – 2017; 18:19–27.
3. Abudulai M., Salifu A.B., Opare-Atakora D., Haruna M., Denwar N.N., Baba I.I.Y. Yield Loss at the Different Growth Stages in Soybean Due to Insect Pests in Ghana // Archives of Phytopathology and Plant Protection. – 2012; 45:1796–1809.
4. Soltani N., Dille J., Burke I., Everman W., VanGessel M., Davis V., Sikkema P. Perspectives on Potential Soybean Yield Losses from Weeds in North America // Weed Technology. – 2017; 31:148–154.
5. Zhang J., Wang X., Lu Y., Bhusal S.J., Song Q., Cregan P.B., Yen Y., Brown M., Jiang G.L. Genome-Wide Scan for Seed Composition Provides Insights into Soybean Quality Improvement and the Impacts of Domestication and Breeding // Mol. Plant. – 2018; 11:460–472.
6. Huang H. – C., Hsieh T. – F., Mündel H. – H., Scott R. A Rapid Indoor Technique for Screening Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) for Resistance to Bacterial Wilt [*Curtobacterium Flaccumfaciens* Pv. *Flaccumfaciens* (Hedges) Collins and Jones] // Revista Mexicana de FITOPATOLOGIA. – 2003; 3:364–369.
7. Soares R.M., Fantinato G.G.P., Darben L.M., Marcelino-Guimarães F.C., Seixas C.D.S., Carneiro G.E. de S. First Report of *Curtobacterium Flaccumfaciens* Pv. *Flaccumfaciens* on Soybean in Brazil // Trop. plant pathol. – 2013; 38:452–454.
8. Huang H. – C., Ndel H. – H., Erickson R., Chelle C., Balasubramanian P., Kiehn F., Huang H., Ndel M., Erickson H. – H., Balasubramanian C. Bacterial Resistance of Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Cultivars and Germplasm Lines to the Purple Variant of Bacterial Wilt (*Curtobacterium Flaccumfaciens* Pv. *Flaccumfaciens*) // Plant Pathol Bull. – 2007; 16:91–95.
9. Camara R.C., Vigo S.C., Maringoni A.C. Plant to seed transmission of *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* in a dry bean cultivar // Journal of Plant Pathology. – 2009; 91:549–554.

10. *Shepherd L.M., Block C.C.* Chapter 13: Detection of *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* in Soybean Seeds. In *Detection of Plant-Pathogenic Bacteria in Seed and Other Planting Material*, 2nd ed. // The American Phytopathological Society: St. Paul, MN, USA. – 2017.
11. *Hsieh T.F., Huang H.C., Erickson R.S.* Bacterial wilt of common bean: Effect of seedborne inoculum on disease incidence and seedling vigour // *Seed Science and Technology*. – 2006; 34:57–67.
12. *Huang H., Erickson R., Balasubramanian P., Hsieh T.* Resurgence of Bacterial Wilt of Common Bean in North America // *Canadian Journal of Plant Pathology*. – 2009; 31:290–300.
13. *Monteil C.L., Yahara K., Studholme D.J., Mageiros L., Méric G., Swingle B., Morris C.E., Vinatzer B.A., Sheppard S.K.* Population-Genomic Insights into Emergence, Crop Adaptation and Dissemination of *Pseudomonas Syringae* Pathogens // *Microb. Genom.* – 2016; 2: e000089.
14. *Fernandes da Silva Júnior T., Maringoni A., Negrão D.* Survival of *Curtobacterium Flaccumfaciens* Pv. *Flaccumfaciens* in Soil and Bean Crop Debris // *Journal of Plant Pathology*. – 2012; 94.
15. *Tarakanov R.I., Lukianova A.A., Evseev P.V., Toshchakov S.V., Kulikov E.E., Ignatov A.N., Miroshnikov K.A., Dzhililov F.S.* – U. Bacteriophage Control of *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* in Soybean // *Plants*. – 2022; 11:938.
16. *Tarakanov R., Lukianova A., Pilik R., Evseev P., Miroshnikov K., Dzhililov F., Ignatov A.* First report of *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* causing a bacterial tan spot of soybean in Russia // *Plant Disease*. – 2022 (in press).
17. *Ignjatov M., Milošević M., Nikolić Z., Vujaković M., Petrović D.* Characterization of *Pseudomonas Savastanoi* Pv. *Glycinea* Isolates from Vojvodina // *Phytopathol. Pol.* – 2007; 45:43–54.
18. *Sarkar S.F., Guttman D.S.* Evolution of the Core Genome of *Pseudomonas Syringae*, a Highly Clonal, Endemic Plant Pathogen. *Appl. Environ // Microbiol.* – 2004; 70:1999–2012.
19. *Evseev P., Lukianova A., Tarakanov R., Tokmakova A., Shneider M., Ignatov A., Miroshnikov K.* *Curtobacterium* Spp. and *Curtobacterium Flaccumfaciens*: Phylogeny, Genomics-Based Taxonomy, Pathogenicity and Diagnostics // *Current Issues in Molecular Biology*. 2022; 44:889–927.
20. *Tegli S., Sereni A., Surico G.* PCR-Based Assay for the Detection of *Curtobacterium Flaccumfaciens* Pv. *Flaccumfaciens* in Bean Seeds // *Lett Appl Microbiol.* – 2002; 35:331–337.
21. CIRM–CFBP. International Centre of Microbial Resource (CIRM) – French Collection for Plant-associated Bacteria. – INRAE. – URL: <https://cirm-cfbp.fr/> (last update: 02.09.2022).
22. *Chincinska I.A.* Leaf Infiltration in Plant Science: Old Method, New Possibilities // *Plant Methods*. – 2021; 17:83.
23. *Salah Eddin K., Marimuthu T., Ladhalakshmi D., Rabindran R., Velazhahan R.* A Simple Inoculation Technique for Evaluation of Cotton Genotypes for Resistance to Bacterial Blight Caused by *Xanthomonas Axonopodis* Pv. *Malvacearum* // *Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. – 2005; 112:321–328.
24. *Shine M.B., Fu D. – Q., Kachroo A.* Airbrush Infiltration Method for *Pseudomonas Syringae* Infection Assays in Soybean // *Bio-protocol*. – 2015; 5: e1427.
25. *Barak J.D., Gilbertson R.L.* Genetic Diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, the Causal Agent of Bacterial Leafspot of Lettuce // *Phytopathology*. – 2003; 93 (5):596–603.

26. *Mansfield J.W.* From bacterial avirulence genes to effector functions via the hrp delivery system: an overview of 25 years of progress in our understanding of plant innate immunity // *Mol Plant Pathol.* – 2009; 10 (6):721–734.

27. *Álvarez-Mejía C., Rodríguez-Ríos D., Hernández-Guzmán G., López-Ramírez V., Valenzuela-Soto H., Marsch R.* Characterization of the HrpZ Gene from *Pseudomonas Syringae* Pv. *Maculicola* M2. Braz // *J. Microbiol.* – 2015; 46:929–936.

28. EPPO. *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*. Bull. OEPP. – 2011; 41:320–328.

29. *Prom L.K., Venette J.R.* Races of *Pseudomonas Syringae* Pv. *Glycinea* on Commercial Soybean in Eastern North Dakota // *Plant Dis.* – 1997; 81:541–544.

30. *Valdo S.C., Wendland A., Araújo L.G., Melo L.C., Pereira H.S., Melo P.G., Faria L.C.* Differential interactions between *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* and common bean // *Genet Mol Res.* – 2016; 15 (4).

31. *Abo-Moch F., Mavridis A., Rudolph K.* Determination of Races of *Pseudomonas Syringae* Pv. *Glycinea* Occurring in Europe // *J. Phytopathol.* – 1995; 143:1–5.

EVALUATION OF THE RESISTANCE OF SOYBEAN CULTIVARS TO BACTERIAL DISEASES ON AN ARTIFICIAL INOCULATION BACKGROUND

R.I. TARAKANOV

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

Bacterial blight (P. savastanoi pv. glycinea (Psg)) is one of the main bacterial diseases reducing the profitability of soybean cultivation. Another soybean disease recently discovered in Russia is rusty-brown bacterial spot (and wilting) (C. flaccumfaciens pv. flaccumfaciens). The harm caused by these diseases, the emergence of antibiotic-resistant strains of bacterial phytopathogens and the imperfection of available protection necessitate the search for alternative strategies, one of which is the use of resistant or low-struck cultivars. In this work, the optimal method of artificial inoculation of plants was determined and 47 domestic soybean cultivars were screened for susceptibility to different strains of the two pathogens. It is shown that the optimal method of inoculation is cutting with scissors soaked in a suspension of bacteria with a concentration of 10⁸ CFU/mL, which produces typical disease symptoms with a maximum damage area in 10 days after inoculation. The least affected cultivar was Soer 4, and the most susceptible cultivars were Nordica and Osmon. An atypical hypersensitivity reaction was noted in the form of abortion of a triple leaf with a petiole during Psg inoculation in cultivars Nordica and Opus and cultivar Maxus after Psg and Cff inoculation.

Key words: bacterial blight, rusty-brown spot, wilt, *Pseudomonas*, *Curtobacterium*, immunity, resistance, artificial inoculation, soybean bacteriosis.

References

1. FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook; FAO: Rome, Italy, 2021.
2. *Allen T.W., Bradley C.A., Sisson A.J., Byamukama E., Chilvers M.I. Coker C.M., Collins A.A., Damicone J.P., Dorrance A.E., Dufault N.S.* Soybean Yield Loss Estimates Due to Diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2010 to 2014. *Plant Health Progress.* 2017; 18: 19–27.
3. *Abudulai M., Salifu A.B., Opare-Atakora D., Haruna M., Denwar N.N., Baba I.I.Y.* Yield Loss at the Different Growth Stages in Soybean Due to Insect Pests in Ghana. *Archives of Phytopathology and Plant Protection.* 2012; 45: 1796–1809.

4. Soltani N., Dille J., Burke I., Everman W., VanGessel M., Davis V., Sikkema P. Perspectives on Potential Soybean Yield Losses from Weeds in North America. *Weed Technology*. 2017; 31: 148–154.
5. Zhang J., Wang X., Lu Y., Bhusal S.J., Song Q., Cregan P.B., Yen Y., Brown M., Jiang G.L. Genome-Wide Scan for Seed Composition Provides Insights into Soybean Quality Improvement and the Impacts of Domestication and Breeding. *Mol. Plant*. 2018; 11: 460–472.
6. Huang H. – C., Hsieh T. – F., Mündel H. – H., Scott R. A Rapid Indoor Technique for Screening Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) for Resistance to Bacterial Wilt [*Curtobacterium Flaccumfaciens* Pv. *Flaccumfaciens* (Hedges) Collins and Jones]. *Revista Mexicana de FITOPATOLOGIA*. 2003; 3: 364–369.
7. Soares R.M., Fantinato G.G.P., Darben L.M., Marcelino-Guimarães F.C., Seixas C.D.S., Carneiro G.E. de S. First Report of *Curtobacterium Flaccumfaciens* Pv. *Flaccumfaciens* on Soybean in Brazil. *Trop. plant pathol.* 2013; 38: 452–454.
8. Huang H. – C., Ndel H. – H., Erickson R., Chelle C., Balasubramanian P., Kiehn F., Huang H., Ndel M., Erickson H. – H., Balasubramanian C. Bacterial Resistance of Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Cultivars and Germplasm Lines to the Purple Variant of Bacterial Wilt (*Curtobacterium Flaccumfaciens* Pv. *Flaccumfaciens*). *Plant Pathol Bull.* 2007; 16: 91–95.
9. Camara R.C., Vigo S.C., Maringoni A.C. Plant to seed transmission of *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* in a dry bean cultivar. *Journal of Plant Pathology*. 2009; 91: 549–554.
10. Shepherd L.M., Block C.C. Chapter 13: Detection of *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* in Soybean Seeds. In *Detection of Plant-Pathogenic Bacteria in Seed and Other Planting Material*, 2nd ed.; The American Phytopathological Society: St. Paul, MN, USA; 2017. ISBN978-0-89054-539-3
11. Hsieh T.F., Huang H.C., Erickson R.S. Bacterial wilt of common bean: Effect of seedborne inoculum on disease incidence and seedling vigour. *Seed Science and Technology*. 2006; 34: 57–67.
12. Huang H., Erickson R., Balasubramanian P., Hsieh T. Resurgence of Bacterial Wilt of Common Bean in North America. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2009; 31: 290–300.
13. Monteil C.L., Yahara K., Studholme D.J., Mageiros L., Méric G., Swingle B., Morris C.E., Vinatzer B.A., Sheppard S.K. Population-Genomic Insights into Emergence, Crop Adaptation and Dissemination of *Pseudomonas Syringae* Pathogens. *Microb. Genom.* 2016; 2: e000089.
14. Fernandes da Silva Júnior T., Maringoni A., Negrão D. Survival of *Curtobacterium Flaccumfaciens* Pv. *Flaccumfaciens* in Soil and Bean Crop Debris. *Journal of Plant Pathology*. 2012; 94.
15. Tarakanov R.I., Lukianova A.A., Evseev P.V.; Toshchakov S.V., Kulikov E.E.; Ignatov A.N.; Miroshnikov K.A.; Dzhililov F.S. – U. Bacteriophage Control of *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* in Soybean. *Plants*. 2022; 11: 938.
16. Tarakanov R., Lukianova A., Pilik R., Evseev P., Miroshnikov K., Dzhililov F., Ignatov A. First report of *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* causing a bacterial tan spot of soybean in Russia. *Plant Disease*. 2022. (in press)
17. Ignjatov M., Milošević M., Nikolić Z., Vujaković M., Petrović D. Characterization of *Pseudomonas Savastanoi* Pv. *Glycinea* Isolates from Vojvodina. *Phytopathol. Pol.* 2007; 45: 43–54.
18. Sarkar S.F., Guttman D.S. Evolution of the Core Genome of *Pseudomonas Syringae*, a Highly Clonal, Endemic Plant Pathogen. *Appl. Environ. Microbiol.* 2004; 70: 1999–2012.

19. Evseev P., Lukianova A., Tarakanov R., Tokmakova A., Shneider M., Ignatov A., Miroshnikov K. *Curtobacterium* Spp. and *Curtobacterium Flaccumfaciens*: Phylogeny, Genomics-Based Taxonomy, Pathogenicity, and Diagnostics. *Current Issues in Molecular Biology*. 2022; 44: 889–927.
20. Tegli S., Sereni A., Surico G. PCR-Based Assay for the Detection of *Curtobacterium Flaccumfaciens* Pv. *Flaccumfaciens* in Bean Seeds. *Lett Appl Microbiol*. 2002; 35: 331–337.
21. CIRM–CFBP. International Centre of Microbial Resource (CIRM) – French Collection for Plant-associated Bacteria. INRAE. (last update: 02.09.2022). URL: <https://cirm-cfbp.fr/>
22. Chincinska I.A. Leaf Infiltration in Plant Science: Old Method, New Possibilities. *Plant Methods*. 2021; 17: 83.
23. Salah Eddin K., Marimuthu T., Ladhalakshmi D., Rabindran R., Velazhahan R. A Simple Inoculation Technique for Evaluation of Cotton Genotypes for Resistance to Bacterial Blight Caused by *Xanthomonas Axonopodis* Pv. *Malvacearum*. *Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. 2005; 112: 321–328.
24. Shine M.B., Fu D. – Q., Kachroo A. Airbrush Infiltration Method for *Pseudomonas Syringae* Infection Assays in Soybean. *Bio-protocol*. 2015; 5: e1427.
25. Barak J.D., Gilbertson R.L. Genetic Diversity of *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, the Causal Agent of Bacterial Leafspot of Lettuce. *Phytopathology*. 2003; 93 (5): 596–603.
26. Mansfield J.W. From bacterial avirulence genes to effector functions via the hrp delivery system: an overview of 25 years of progress in our understanding of plant innate immunity. *Mol Plant Pathol*. 2009; 10 (6): 721–734.
27. Álvarez-Mejía C., Rodríguez-Ríos D., Hernández-Guzmán G., López-Ramírez V., Valenzuela-Soto H., Marsch R. Characterization of the HrpZ Gene from *Pseudomonas Syringae* Pv. *Maculicola* M2. *Braz. J. Microbiol*. 2015; 46: 929–936.
28. EPPO. *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*. *Bull. OEPP*. 2011; 41: 320–328.
29. Prom L.K., Venette J.R. Races of *Pseudomonas Syringae* Pv. *Glycinea* on Commercial Soybean in Eastern North Dakota. *Plant Dis*. 1997; 81: 541–544.
30. Valdo S.C., Wendland A., Araújo L.G., Melo L.C., Pereira H.S., Melo P.G., Faria L.C. Differential interactions between *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* and common bean. *Genet Mol Res*. 2016; 15 (4).
31. Abo-Moch F., Mavridis A., Rudolph K. Determination of Races of *Pseudomonas Syringae* Pv. *Glycinea* Occurring in Europe. *J. Phytopathol*. 1995; 143: 1–5.

Тараканов Рашит Ислямович, аспирант, ассистент кафедры защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (977) 403–54–40; e-mail: tarakanov.rashit@mail.ru)

Rashit I. Tarakanov, post-graduate student, Assistant Professor of the Plant Protection Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (977) 403–54–40; E-mail: tarakanov.rashit@mail.ru)

ХАРАКТЕРИСТИКА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ МОЛОКА КОЗ МОЛОЧНОГО И КОМБИНИРОВАННОГО НАПРАВЛЕНИЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

В.И. ТРУХАЧЕВ¹, М.И. СЕЛИОНОВА¹, А.М.М. АЙБАЗОВ¹,
М.Ю. ГЛАДКИХ¹, И.А. ЛАШНЕВА², Д.Д. СИДОРЕНКО¹

(¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева);

² ФГБНУ ФИЦ животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста)

Молочное козоводство динамично развивается как в мире, так и в России. Для научно-го обоснования стратегии селекции с козами разного направления продуктивности необходимо расширение информации о составе козьего молока и характере корреляционных связей между его компонентами. В сравнительном аспекте рассмотрен состав молока коз молочного и комбинированного направлений продуктивности, представлены коэффициенты корреляции между показателями, исследованными ИК-спектроскопией и проточной цитометрией с использованием автоматического анализатора CombiFoss 7 DC. Установлено, что молочно-мясные, мясо-молочные козы достоверно превосходили молочных коз по массовой доле жира, белка, уровню насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, лактозы и мочевины в молоке. При этом в молоке коз был достоверно меньше уровень дифференциальных клеток. Характер связи между МДЖ и другими компонентами молока у коз с разной выраженностью молочной продуктивности был одинаковым как по силе, так и по направлению. Высокая положительная связь ($r = 0,65 \dots 0,99$) выявлена между МЖД и содержанием жирных кислот – как насыщенных (НЖК, ДЦЖК, СЦЖК), так и ненасыщенных (МНЖК, ПНЖК, КЦЖК). Установлены различия в характере связи между содержанием казеина и лактозы, казеина и ДКСК. Для молока коз комбинированного направления продуктивности она была низкой отрицательной ($r = -0,27$ и $-0,31$), для молока молочных коз – низкой положительной ($r = 0,29$ и $0,28$). Также различия выявлены между МДБ и жирными кислотами, МДБ и уровнем соматических клеток. МДБ в молоке молочных коз слабо отрицательно коррелировала с ДЦЖК, КЦЖК, КСК и ДКСК ($r = -0,16 \dots -0,32$), в молоке молочно-мясных и мясо-молочных коз эта связь была слабо положительной ($r = 0,14 \dots 0,26$).

Ключевые слова: козы, молоко, ИК-спектры, соматические клетки, корреляция.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта № 21–76–20008.

Введение

Разведением коз в настоящее время занимаются более чем в 160 странах мира во всех зоогеографических регионах. При этом большинство поголовья (около 80%) из более чем 750 млн гол. относится к козам комбинированного направления продуктивности. Козоводство как отрасль животноводства интенсивно развивается, о чем свидетельствует мировой ежегодный прирост поголовья коз на 5 млн гол., в основном молочного и мясного направлений.

Динамичное развитие молочного козоводства определяет не только производство молока, но и его глубокая переработка [1]. Во Франции, Греции, Италии, Испании и Голландии доля потребления козьего молока (с учетом сыров) составляет не менее 15–20% в общем объеме потребления молока [2]. Интерес к козьему молоку обусловлен и тем фактом, что оно характеризуется высокой биологической ценностью, повышенной усвояемостью и гипоаллергенностью [3]. Кроме того, в последние годы наблюдается повышение спроса на экологически чистую и натуральную продукцию, и козье молоко занимает определенную нишу, поскольку разведение коз в малых фермерских хозяйствах является популярным во всем мире [4].

Козье молоко имеет ряд существенных отличий от молока других видов животных (в частности, коровьего молока), которые определяют его использование и технологические процессы при промышленной переработке. Большая дисперсия жировых шариков козьего молока обеспечивает доступность для липолитических ферментов, что обуславливает его высокую переваримость [5, 6]. Также в молоке коз на 54,6–80,2% содержится больше ненасыщенных короткоцепочечных жирных кислот. Помимо этого, козье молоко отличается структурой мицелл казеина, высоким содержанием β -казеина, ничтожно малым количеством альфа-1s-казеина (который вызывает аллергические реакции на коровье молоко) и практически полным отсутствием моносахаридов [7]. Вышеперечисленные свойства определяют интерес к нему как источнику сырья для производства детского питания и широкого спектра молочных продуктов с заданными реологическими характеристиками и высокой биологической, а в отдельных случаях – терапевтической ценностью.

В ряде исследований установлено, что состав молока коз варьирует в зависимости от их породной принадлежности [8, 9]. Однако остается малоизученным вопрос о связи между качественными компонентами молока у коз разного направления продуктивности. Недостаточно информации о количестве соматических клеток и их дифференциальных форм, а также о характере корреляционной связи этих характеристик с показателями козьего молока в общем, и в связи с направлением продуктивности коз – в частности. Вышеизложенное определило актуальность исследований.

Цель исследований заключалась в сравнительной оценке компонентов молока и установлении характера связи между ними у коз молочного и комбинированного направлений продуктивности.

Материал и методика исследований

Объектом исследований явились молочные козы пород зааненская ($n = 134$, ООО «Экоферма «Климовское», Калужская область) и альпийская ($n = 126$, КФХ «Былинкино», Московская область), молочно-мясные – нубийская ($n = 122$, КФХ «Тексель-Фарм»; КФХ «Ляшенко С.Н.», Московская область) и мясо-молочные – карачаевские козы ($n = 131$, КФХ «Пятигорский», Ставропольский край; КФХ «Майский», ЛПХ аул. Кызыл-Кала, ЛПХ аул. Учкулан, Карачаево-Черкесская республика). Технология производства молока коз зааненской, альпийской и нубийской пород предполагала их доение два раза в день с использованием доильного оборудования DeLaval (Германия). Получение молока от карачаевских коз проводилось как с использованием доильного аппарата Melasty Mini (Турция), так и ручной дойкой.

Пробы молока отбирались индивидуально и консервировались с использованием таблеток Microtabs (США) в период проведения контрольных доений в течение трех месяцев: май-июль 2021 г. – у зааненских коз; июнь-август 2022 г.а – у альпийских; июнь-август 2021–2022 гг. – у нубийских и карачаевских коз). Анализ компонентов молока проводился в ФИЦ животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста на базе ОНИС БиоТехЖ с использованием автоматического анализатора CombiFoss

7 DC («FOSS», Дания), который включает в себя MilkoScan (ближняя инфракрасная спектроскопия) и Fossomatic 7 DC (проточная цитометрия). Определялись следующие показатели: массовая доля жира (МДЖ), белка истинного и общего (сырого) (МДБ), лактоза (МДЛ), сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО), сухое вещество (СВ), бета-гидроксibuтират (БГБ); жирные кислоты (ЖК): миристиновая (C14:0), пальмитиновая (C16:0), стеариновая (C18:0), олеиновая (C18:1); длинно-, средне- и короткоцепочечные (ДЦЖК, СЦЖК, КЦЖК), моно- и полиненасыщенные (МНЖК, ПНЖК), насыщенные (НЖК), трансизомеры (ТЖК); количество соматических клеток (КСК), дифференциальное количество соматических клеток (ДКСК, или дифференциация на полиморфноядерные нейтрофилы).

Расчет описательной статистики производился в программе Microsoft Excel 2013. В таблицах представлены средние (М), их стандартные ошибки ($\pm m$), коэффициенты вариации (Cv), коэффициенты корреляции (r). Выявленные различия для компонентов молока считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$, для коэффициентов корреляции – при $p \leq 0,05$, $|r| \geq 0,12$. Кластерный анализ проводился в программе Statistica 10, 2021.

Результаты и их обсуждение

Использование метода инфракрасной спектроскопии и проточной цитометрии позволяет значительно расширить исследования компонентного состава молока коз и содержания в нем соматических клеток, при этом дифференцировать уровень полиморфноядерных нейтрофилов, что ценно для мониторинга состояния здоровья молочной железы. Кроме того, автоматизация процесса исследования позволяет с небольшими временными и трудовыми затратами создавать большие массивы данных качественных показателей молока, что важно для получения расширенных породных и популяционных характеристик для использования их в селекции.

Анализ данных компонентного состава молока коз разного направления продуктивности позволил установить, что по большинству показателей молока молочно-мясные, мясо-молочные козы достоверно превосходили молочных коз (табл. 1). Так, разность по содержанию массовой доли жира составила 60,9% ($p < 0,001$), что в свою очередь определило превосходство и по общему уровню насыщенных жирных кислот соответственно на 79,7% ($p < 0,001$), а также по содержанию миристиновой и пальмитиновой кислот соответственно на 67,8 ($p < 0,001$) и 78,8% ($p < 0,001$).

С точки зрения функционального питания человека молоко коз представляет интерес в первую очередь как источник ненасыщенных короткоцепочечных жирных кислот. Следует отметить, что в молоке коз разного направления продуктивности их содержание было высоким и составило 0,56 г/100 г и 0,93 г/100 г, что на 16,9 и 94,1% ($p < 0,001$) выше в сравнении с молоком коров, в котором его уровень, по данным А.А. Сермягина и соав. [10], составляет 0,479 г/100 г. Сопоставление этого параметра в молоке молочных, молочно-мясных и мясо-молочных коз показывает, что уровень мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот был выше на 49,4 ($p < 0,001$) и 46,1% ($p < 0,001$) у коз комбинированного направления продуктивности по сравнению с их содержанием в молоке молочных коз. Особенно выраженным было их превосходство по уровню ненасыщенных жирных кислот – пальмитиновой и олеиновой, составив соответственно 78,8 ($p < 0,001$) и 150,0% ($p < 0,001$).

Козье молоко также представляет ценность как гипоаллергенный продукт за счет меньшего в сравнении с коровьим молоком содержания лактозы [11]. С этой точки зрения молоко коз комбинированного направления продуктивности также выгодно отличалось от молока коз молочного направления продуктивности. Разность по уровню лактозы в их пользу составила 6,6% ($p < 0,001$).

Таблица 1

Компонентный состав молока коз молочного и комбинированного направлений продуктивности

Показатель	Молоко молочных коз		Молоко молочно-мясных и мясо-молочных коз		t _d	p
	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %		
МДЖ, %	3,46±0,04	30,76	5,57±0,10	33,30	19,50	*
МДБ (истинный), %	3,42±0,01	12,74	4,19±0,06	26,64	11,32	*
МДБ (общий), %	3,81±0,02	14,38	4,54±0,07	30,51	10,02	*
МДЛ, %	4,27±0,01	12,74	3,99±0,04	19,40	6,83	*
СОМО, %	7,88±0,02	6,64	9,23±0,07	13,26	18,49	*
СВ, %	11,34±0,06	12,65	14,46±0,13	17,82	6,89	*
Казеин, %	2,26±0,01	13,58	3,42±0,05	25,76	22,75	*
Ацетон, ммоль/л	0,07±0,00	150,67	0,03±0,01	828,82	3,33	*
БГБ, ммоль/л	0,01±0,00	318,36	0,02±0,01	1241,60	0,98	НД
Мочевина, мг×100 мл ⁻¹	60,35±0,38	17,34	67,92±0,82	22,30	8,32	*
Миристиновая, г/100 г	0,31±0,00	36,18	0,52±0,01	38,68	17,50	*
Пальмитиновая, г/100 г	0,71±0,01	36,53	1,27±0,02	35,81	25,40	*
Стеариновая, г/100 г	0,24±0,00	47,20	0,41±0,01	40,42	14,17	*
Олеиновая, г/100 г	0,94±0,01	36,23	1,41±0,03	39,82	14,69	*
ДЦЖК, г/100 г	1,24±0,02	39,23	1,79±0,04	42,03	12,22	*
СЦЖК, г/100 г	1,14±0,01	35,62	2,10±0,04	32,69	23,41	*
КЦЖК, г/100 г	0,56±0,01	35,96	0,93±0,02	41,96	16,82	*
МНЖК, г/100 г	0,89±0,01	35,45	1,33±0,03	38,57	13,75	*
ПНЖК, г/100 г	0,13±0,00	27,31	0,19±0,00	35,87	13,33	*
НЖК, г/100 г	2,12±0,03	37,28	3,81±0,07	34,77	22,24	*
ТЖК, г/100 г	0,08±0,001	49,68	0,10±0,001	94,28	3,92	*
КСК, тыс. ед/мл	1341,23±75,20	154,67	1328,6±95,00	132,42	0,10	НД
ДКСК, %	82,35±0,38	12,87	75,41±0,74	18,08	8,34	*

Примечание. НД – разность недостоверна.

*При p≤0,001.

Сопоставление молока коз по содержанию истинного и общего белка и казеина выявило также преимущество молочно-мясных и мясо-молочных коз на 48,5% ($p < 0,001$) по сравнению с молочными козами.

Установленное более высокое содержание жира и белка в молоке коз комбинированного направления продуктивности обусловлено их биологической особенностью. Эта особенность заключается в высокой энергии роста молодняка в первые месяцы жизни, которая обеспечивается высоким содержанием жира (энергетического компонента молока) и белка – компонента, необходимого для синтеза собственных клеток тела растущего организма. В то же время необходимо отметить, что особенности технологии содержания коз комбинированного направления продуктивности, в первую очередь мясо-молочного, накладывают некоторые ограничения на объемы получаемого от них молока. Несмотря на то, что по многим параметрам компонентного состава оно имеет ряд существенных преимуществ, его производство является более затратным. Тем не менее многие фермерские хозяйства, имеющие собственные сыроварни для изготовления определенных сортов сыра как исключительно из молока коз, так и в смеси с молоком коров, практикуют содержание коз комбинированного направления продуктивности.

Как отмечено выше, развитие приборной базы способствовало возможности для проведения мониторинга состояния молочной железы продуктивных животных не только по числу соматических клеток, но и по их дифференциации на лимфоциты, макрофаги и полиморфноядерные нейтрофилы, поскольку именно эти клетки в большей степени связаны с воспалительным процессом [12, 13].

Для молока молочных коз тема числа соматических клеток, которое считается нормой и которое может быть связано с заболеванием молочной железы, остается до настоящего времени дискуссионной. ГОСТ 32940–2014 «Молоко козье сырое. Технические условия» предусматривает не более 1000,0 тыс. ед/мл соматических клеток. Это в 2,5 раза выше, чем для молока коров (ГОСТ 31449–2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия» допускает не более 400,0 тыс. ед/мл). Такое соотношение в определенной степени отражает особенности продуцирования молока на 1 кг живой массы для сравниваемых видов животных. Так, живая масса коз примерно в 10 раз меньше, чем коров. При этом на 1 кг массы тела они продуцируют в 1,5–2,0 раза больше молока, что, по-видимому, определяет большую интенсивность его прохождения через выводящие пути и большее число соматических клеток.

Полученные данные свидетельствуют о том, что число соматических клеток в молоке молочных, молочно-мясных и мясо-молочных коз было выше, чем предусмотрено действующим ГОСТом, несмотря на указанные выше различия в их доении и то, что в исследованиях были использованы животные, не имевшие клинических отклонений и каких-либо проявлений мастита.

Анализ полученных результатов позволил отметить еще одну особенность: если практически по всем изученным показателям компонентного состава молока коз разного направления продуктивности установлены достоверные различия, то по общему числу соматических клеток таких различий нет. При этом можно отметить, что уровень дифференциальных соматических клеток в молоке коз комбинированного направления был на 8,42% меньше.

На рисунке 1 представлена визуализация кластерного анализа для показателей молока коз разного направления продуктивности, проведенного взвешенным центроидным методом. Для молока молочных коз было выделено 4 кластера: 1 – пары ацетон-БГБ, ПЖК-ТЖК и стеариновая и миристиновая кислоты; 2 – пары КЦЖК-пальмитиновая кислота, МЖК-олеиновая кислота, а также отдельно стоящие СЦЖК и ДЦЖК; 3 – пара МДБ (истинный)-казеин, а также отдельно стоящие НЖК, МДЖ и лактоза; кластер 4 включал в себя мочевины и ДКСК. Отдельно были вынесены СОМО (между 3 и 4 кластерами) и КСК (в отдалении от всех 4 кластеров).

Кластеризация показателей молока коз комбинированной продуктивности была аналогичной, за исключением того, что СЦЖК и ДЦЖК образовывали отдельно стоящий кластер (рис. 1б).

Знание корреляционных связей между показателями молока коз разных направлений продуктивности является важным для планирования селекционной работы.

Расчет коэффициентов корреляции выявил, что характер связи между МДЖ и другими компонентами молока у коз с разной выраженностью молочной продуктивности был одинаковым как по силе, так и по направлению. Особенно близкими были значения (высокие, положительные, $r = 0,65 \dots 0,99$) коэффициентов корреляции между МЖД и содержанием жирных кислот – как насыщенных (НЖК, ДЦЖК, СЦЖК), так и ненасыщенных (МНЖК, ПНЖК, КЦЖК). Также для молочных коз и коз комбинированного направления продуктивности была определена аналогичная (отрицательная, средняя) связь между уровнем ацетона и БГБ, а между МДЖ и числом соматических клеток и их дифференциальными формами – отсутствие связи (табл. 2).

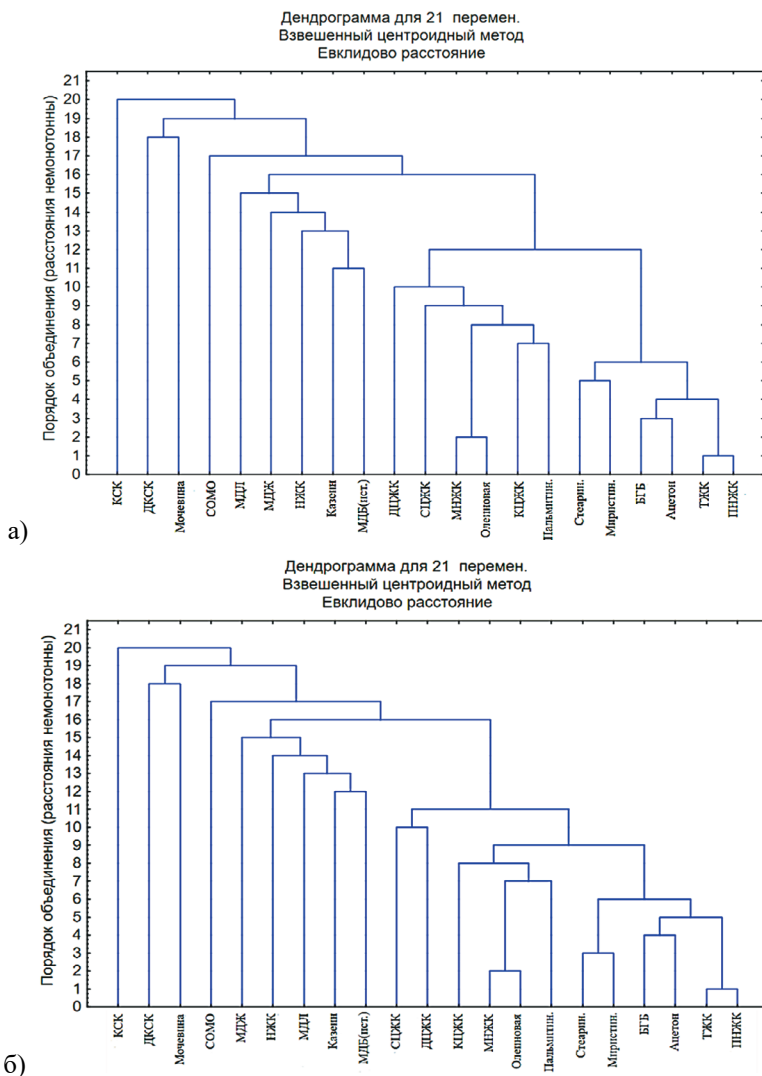


Рис. 1. Дендрограмма показателей молока коз:
а) молочной продуктивности; б) комбинированной продуктивности

**Коэффициенты корреляции между компонентами молока коз молочного (под диагональю)
и комбинированного (над диагональю) направлений продуктивности**

Показатель	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
МДЖ (1)		0,17	0,14	0,20	0,18	-0,38	-0,25	0,50	0,87	0,81	0,73	0,78	0,76	0,84	0,78	0,75	0,89	0,84	0,65	-	-
МДБ (2)	0,24		-0,38	0,78	0,99	-	-	0,16	0,28	0,28	-	-0,17	-0,23	0,31	-	-	-	-0,16	-0,15	-	-0,32
МДЛ (3)	0,24	0,19		0,27	-0,27	-0,41	-0,56	0,17	-	-0,16	0,26	0,44	0,52	-	0,35	0,26	-	0,43	0,17	-0,37	0,32
СОМО (4)	0,34	0,85	0,64		0,85	-0,38	-0,40	0,29	0,35	0,21	0,13	0,15	0,14	0,30	0,18	0,21	0,20	0,14	-	-0,15	-0,12
Казеин (5)	0,36	0,95	0,29	0,92		-0,19	-	0,25	0,38	0,33	-	-	-	0,38	-	0,12	0,19	-	-	-	-0,31
Ацетон (6)	-0,47	-0,14	-0,12	-0,20	-0,25		0,65	-0,37	-0,42	-0,24	-0,29	-0,41	-0,44	-0,37	-0,36	-0,38	-0,39	-0,49	-0,22	0,20	-
БГБ (7)	-0,35	-0,30	-	-0,27	-0,34	0,83		-0,31	-0,30	-0,15	-0,34	-0,45	-0,48	-0,25	-0,41	-0,35	-0,31	-0,45	-0,21	-	-0,23
Мочевина (8)	0,35	0,20	0,09	0,18	0,20	-0,21	-0,23		0,47	0,31	0,42	0,50	0,51	0,39	0,43	0,61	0,48	0,56	0,52	-0,16	-
Миристиновая (9)	0,90	0,20	0,24	0,31	0,34	-0,52	-0,30	0,31		0,92	0,67	0,69	0,64	0,97	0,72	0,73	0,96	0,84	0,57	-0,16	-
Пальмитиновая (10)	0,90	0,10	0,18	0,19	0,22	-0,43	-0,20	0,31	0,95		0,69	0,64	0,54	0,97	0,70	0,60	0,91	0,68	0,45	-	-
Стеариновая (11)	0,82	0,13	0,22	0,28	0,27	-0,37	-0,28	-	0,63	0,65		0,92	0,89	0,68	0,94	0,83	0,80	0,75	0,71	-	-
Олеиновая (12)	0,88	0,22	0,24	0,35	0,35	-0,40	-0,32	0,12	0,68	0,69	0,96		0,98	0,66	0,99	0,84	0,83	0,87	0,67	-0,15	0,14
ДЦЖК (13)	0,84	0,17	0,23	0,31	0,30	-0,37	-0,29	0,08	0,64	0,64	0,97	0,99		0,59	0,94	0,82	0,78	0,87	0,69	-0,18	0,15
СЦЖК (14)	0,91	0,26	0,17	0,32	0,38	-0,51	-0,30	0,34	0,98	0,97	0,64	0,70	0,65		0,71	0,62	0,95	0,76	0,45	-	-
МНЖК (15)	0,86	0,20	0,24	0,33	0,33	-0,37	-0,30	-	0,66	0,68	0,96	0,99	0,98	0,67		0,82	0,85	0,83	0,64	-	0,12

Показатель	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
ПНЖК (16)	0,85	0,12	0,26	0,28	0,27	-0,47	-0,38	0,19	0,70	0,68	0,89	0,91	0,89	0,67	0,91		0,79	0,83	0,88	-0,15	-
НЖК (17)	0,96	0,19	0,24	0,31	0,33	-0,50	-0,30	0,30	0,97	0,96	0,77	0,81	0,77	0,97	0,80	0,81		0,90	0,62	-0,15	-
КЦЖК (18)	0,93	0,14	0,24	0,27	0,29	-0,51	-0,31	0,31	0,95	0,91	0,72	0,77	0,73	0,93	0,75	0,82	0,98		0,69	-0,25	-
ТЖК (19)	0,54	-0,15	0,16	-	-	-0,42	-0,29	-	0,45	0,41	0,72	0,65	0,67	0,39	0,68	0,78	0,53	0,52		-	-
КСК (20)	-	0,29	-0,16	0,16	0,27	-	-0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,20
ДКСК (21)	-	0,26	-	0,23	0,28	-	-0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	

Примечание. Уровень достоверности корреляции – $p \leq 0,05$; $r = \pm 0,12$.

Для коз обоих направлений продуктивности в большинстве случаев отмечена однонаправленная связь между содержанием казеина и другими компонентами молока. При этом высокая положительная, близкая к единице ($r = 0,99$ и $0,95$), то есть функциональная связь, установлена между содержанием казеина и МДБ.

В характере связи между содержанием казеина и лактозы, казеина и ДКСК в молоке коз разного направления продуктивности выявлены различия (табл. 2). Так, для молока коз комбинированного направления продуктивности она была низкой отрицательной ($r = -0,27$ и $-0,31$), тогда как для молока молочных коз – низкой положительной ($r = 0,29$ и $0,28$). Еще большие различия установлены для МДБ. Если для молочных коз показатель МДБ слабо отрицательно коррелировал с ДЦЖК, КЦЖК, КСК и ДКСК ($r = -0,16 \dots -0,32$), то для молочно-мясных и мясо-молочных коз эта связь была слабо положительной ($r = 0,14 \dots 0,26$).

Выводы

1. Козы молочно-мясных, мясо-молочных направлений продуктивности достоверно превосходили молочных коз по массовой доле жира, белка, уровню насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, лактозы и мочевины в молоке.

2. Не установлены достоверные различия по общему содержанию соматических клеток у коз разных направлений продуктивности. Уровень дифференциальных клеток в молоке коз комбинированной продуктивности был достоверно ниже.

3. Характер связи между МДЖ и другими компонентами молока у коз с разной выраженностью молочной продуктивности был одинаковым как по силе, так и по направлению. Высокая положительная связь ($r = 0,65 \dots 0,99$) выявлена между МЖД и содержанием жирных кислот – как насыщенных (НЖК, ДЦЖК, СЦЖК), так и ненасыщенных (МНЖК, ПНЖК, КЦЖК).

4. В характере связи между содержанием казеина и лактозы, казеина и ДКСК в молоке коз разных направлений

продуктивности выявлены различия. Для коз комбинированного направления продуктивности она была низкой отрицательной ($r = -0,27$ и $-0,31$), для молочных коз – низкой положительной ($r = 0,29$ и $0,28$).

5. Установлены различия в направлении связи между МДБ и жирными кислотами, МДБ и уровнем соматических клеток в молоке молочных и коз комбинированного направления продуктивности. МДБ в молоке молочных коз слабо отрицательно коррелировала с ДЦЖК, КЦЖК, КСК и ДКСК ($r = -0,16 \dots -0,32$), у молочно-мясных и мясо-молочных коз эта связь была слабо положительной ($r = 0,14 \dots 0,26$).

Библиографический список

1. *Вобликова Т.В.* Исследование аминокислотного профиля козьего молока и влияние процесса ферментации на содержание свободных аминокислот // Современная наука и инновации. – 2019. – № 2 (26). – С. 101–107. DOI:10.33236/2307–910X-2019–2–26–101–107.

2. *Гаврилова Н.Б., Чернопольская Н.Л., Агибаева А.Ж.* Творожный продукт специального питания на основе козьего молока // Молочная промышленность. – 2022. – № 8. – С. 40–41. DOI:10.31515/1019–8946–2022–08–40–41.

3. *Гаврилова Н.Б., Чернопольская Н.Л., Щетинина Е.М.* Технологический потенциал козьего молока // Молочная промышленность. – 2021. – № 10. – С. 56–58. DOI:10.31515/1019–8946–2021–10–56–58.

4. *Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А.* Динамика поголовья коз и производства козьего молока и мяса в мире и в России // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – № 4. – С. 22–25. DOI:10.26897/2074–0840–2020–4–22–25.

5. *Жижин Н.А.* Оценка жирнокислотного состава коровьего и козьего молока с точки зрения функционального воздействия на организм человека // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. – 2020. – Т. 1, № 1. – С. 181–186. DOI: 10.37442/978–5–6043854–1–8–2020–1–181–186.

6. *Садовой В.В., Вобликова Т.В., Пермиков А.В.* Жирнокислотный состав козьего и овечьего молока и его трансформация в процессе производства йогурта // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 4. – С. 555–562. DOI:10.21603/2074–9414–2019–4–555–562.

7. *Сермягин А.А., Лашнева И.А., Косицин А.А., Игнатьева Л.П., Артемьева О.А., Sölkner J., Зиновьева Н.А.* Морфологический состав соматических клеток в молоке коров как критерий оценки здоровья молочной железы в связи с продуктивностью и компонентами молока // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56, № 6. – С. 1183–1198. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1183rus.

8. *Шувариков А.С., Пастух О.Н.* Влияние породы коз на состав и технологические свойства молока // Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию первого выпуска технологов сельскохозяйственного производства. – 2018. – С. 227–231.

9. *Шувариков А.С., Канина К.А., Робкова Т.О., Юрова Е.А.* Состав и свойства овечьего, козьего и коровьего молока // Фермер. Черноземье. – 2019. – № 6 (27). – С. 46–47.

10. *Щетинина Е.М., Ходырева З.Р.* Исследования состава и свойств молока, полученного от разных пород коз // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4 (114). – С. 159–163.

11. *Miller B.A., Lu C.D.* Current status of global dairy goat production: an overview // Asian-Australas J Anim Sci. – 2019. – № 32. – Pp. 1219–1232.

12. Oviedo-Boyso J., Valdez-Alarcón J.J., Cajero-Juárez M., Ochoa-Zarzosa A., López-Meza J.E., Bravo-Patiño A., Baizabal-Aguirre V.M. Innate immune response of bovine mammary gland to pathogenic bacteria responsible for mastitis // Journal of Infection. – 2007. – № 54 (4). – Pp. 399–409. DOI: 10.1016/j.jinf.2006.06.010.

13. Sordillo L.M., Shafer-Weaver K., DeRosa D. Immunobiology of the mammary gland // Journal of Dairy Science. – 1997. – № 80 (8). – Pp. 1851–1865. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(97)76121-6.

CHARACTERISTICS OF THE CORRELATIONS BETWEEN MILK COMPONENTS OF DAIRY GOATS, MEAT-DAIRY GOATS AND DAIRY-MEAT ONES

V.I. TRUKHACHEV¹, M.I. SELIONOVA¹, A.M.M. AYBAZOV¹,
M.YU. GLADKIKH¹, I.A. LASHNEVA², D.D. SIDORENKO¹

(¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

² Federal Science Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst)

Dairy goat breeding is developing dynamically in the world and in Russia. To scientifically substantiate the breeding strategy of dairy goats, meat-dairy goats and dairy-meat ones, it is necessary to expand information about the composition of goat milk and the nature of correlations between its components. In the article, the composition of goat milk of dairy goats, meat-dairy goats and dairy-meat ones is considered in the comparative aspect. The correlation coefficients between the indicators studied by infrared spectroscopy and flow cytometry using automatic CombiFoss 7 DC analyzer are presented. It was found that milk of dairy-meat and meat-dairy goats significantly exceeded milk of dairy goats in terms of the mass fraction of fat, protein, levels of saturated and unsaturated fatty acids, lactose and urea. At the same time, the level of differential cells was significantly lower. The nature of the relationship between mass fraction of fat and other components of milk in goats with different severity of milk productivity was the same both in strength and in orientation. A high positive relationship ($r = 0.65 \dots 0.99$) was revealed between the mass fraction of fat and the content of fatty acids, both saturated (SFA, LCFA, MCFA) and unsaturated (MUFA, PUFA, SCFA). Differences in the nature of the relationship between the content of casein and lactose, casein and DSCC were established. For milk of dairy-meat and meat-dairy goats, it was low negative ($r = -0.27$ and -0.31), for milk of dairy goats – low positive ($r = 0.29$ and 0.28). Differences were also found between mass fraction of true protein and fatty acids, MDB and the level of somatic cells. Mass fraction of true protein in milk of dairy goats was weakly negatively correlated with LCFA, SCFA, KSK and DSCC ($r = -0.16 \dots -0.32$), in milk of dairy-meat and meat-dairy goats this relationship was weakly positive ($r = 0.14 \dots 0.26$).

Key words: goats, milk, IR-spectra, somatic cells, correlation.

The research was carried out with the financial support of the RSF within the framework of project No. 21-76-20008.

References

1. Voblikova T.V. Issledovanie aminokislotnogo profilya koz'ego moloka i vliyaniye processa fermentatsii na sodержaniye svobodnykh aminokislot [Study of the amino acid profile of goat milk and the effect of the fermentation process on the free amino acid content]. Sovremennaya nauka i innovatsii. 2019; 2 (26): 101–107. DOI: 10.33236/2307-910X-2019-2-26-101-107 (In Rus.)

2. *Gavrilova N.B., Chernopol'skaya N.L., Agibaeva A.Zh.* Tvorozhniy produkt spetsial'nogo pitaniya na osnove koz'ego moloka [Goat milk-based speciality curd product]. *Molochnaya promyshlennost'*. 2022; 8: 40–41. DOI:10.31515/1019–8946–2022–08–40–41 (In Rus.)

3. *Gavrilova N.B., Chernopol'skaya N.L., Shchetinina E.M.* Tekhnologicheskiy potentsial koz'ego moloka [Technological potential of goat milk]. *Molochnaya promyshlennost'*. 2021; 10: 56–58. DOI:10.31515/1019–8946–2021–10–56–58 (In Rus.)

4. *Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A.* Dinamika pogolov'ya koz i proizvodstva koz'ego moloka i myasa v mire i v Rossii [Dynamics of goat populations and goat milk and meat production worldwide and in Russia]. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo*. 2020; 4: 22–25. DOI:10.26897/2074–0840–2020–4–22–25 (In Rus.)

5. *Zhizhin N.A.* Otsenka zhirnokislотного состава коров'его i koz'ego moloka s tochki zreniya funktsional'nogo vozdeystviya na organizm cheloveka [Assessment of the fatty acid composition of cow's and goat's milk in terms of functional impact on the human body]. *Aktual'nye voprosy molochnoy promyshlennosti, mezhotraslevye tekhnologii i sistemy upravleniya kachestvom*. 2020; 1 (1): 181–186. DOI:10.37442/978–5–6043854–1–8–2020–1–181–186 (In Rus.)

6. *Sadovoy V.V., Voblikova T.V., Permyakov A.V.* Zhirnokislотный состав koz'ego i ovech'ego moloka i ego transformatsiya v protsesse proizvodstva yogurt [Fatty acid composition of goat and sheep milk and its transformation in yoghurt production]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2019; 49 (4): 555–562. DOI: 10.21603/2074–9414–2019–4–555–562 (In Rus.)

7. *Sermyagin A.A., Lashneva I.A., Kositsin A.A., Ignat'eva L.P., Artem'eva O.A., Sölkner J., Zinov'eva N.A.* Morfologicheskiy sostav somaticheskikh kletok v moloche korov kak kriteriy otsenki zdorov'ya molochnoy zhelezy v svyazi s produktivnost'yu i komponentami moloka [Morphological composition of somatic cells in cow milk as a criterion for assessing mammary gland health in relation to productivity and milk components]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2021; 56 (6): 1183–1198. DOI: 10.15389/agrobiol.2021.6.1183rus (In Rus.)

8. *Shuvarikov A.S., Pastukh O.N.* Vliyaniye porody koz na sostav i tekhnologicheskie svoystva moloka [Effect of goat breed on milk composition and processing properties]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 20-letiyu pervogo vypuska tekhnologov sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva*. 2018: 227–231. (In Rus.)

9. *Shuvarikov A.S., Kanina K.A., Robkova T.O., Yurova E.A.* Sostav i svoystva ovech'ego, koz'ego i korov'ego moloka [Composition and properties of sheep, goat and cow milk]. *Fermer. Chernozem'e*. 2019; 6 (27): 46–47. (In Rus.)

10. *Shchetinina E.M., Khodyreva Z.R.* Issledovaniya sostava i svoystv moloka, poluchennogo ot raznykh porod koz [Studies on the composition and properties of milk from different goat breeds]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014; 4 (114): 159–163. (In Rus.)

11. *Miller B.A., Lu C.D.* Current status of global dairy goat production: an overview. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2019; 32: 1219–1232.

12. *Oviedo-Boyso J., Valdez-Alarcón J.J., Cajero-Juárez M., Ochoa-Zarzosa A., López-Meza J.E., Bravo-Patiño A., Baizabal-Aguirre V.M.* Innate immune response of bovine mammary gland to pathogenic bacteria responsible for mastitis. *Journal of Infection*. 2007; 54 (4): 399–409. DOI: 10.1016/j.jinf.2006.06.010

13. *Sordillo L.M., Shafer-Weaver K., DeRosa D.* Immunobiology of the mammary gland. *Journal of Dairy Science*. 1997; 80 (8): 1851–1865. DOI:10.3168/jds.S0022–0302(97)76121–6

Трухачев Владимир Иванович, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, ректор, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: rector@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–12–96)

Селионова Марина Ивановна, д-р биол. наук, профессор РАН, заведующий кафедрой разведения, генетики и биотехнологии животных, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 52; e-mail: selionova@rgau-msha.ru; тел.: (968) 266–33–03)

Айбазов Али-Магомет Муссаевич, д-р с.-х. наук, профессор, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 52; e-mail: velikii-1@yandex.ru; тел.: (938) 351–01–02)

Гладких Марианна Юрьевна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры разведения, генетики и биотехнологии животных, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; ул. Тимирязевская, 52; e-mail: marianna@timacad.ru; тел.: (919) 970–72–97)

Лашнева Ирина Алексеевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории анализа и моделирования селекционных процессов в животноводстве, ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста (142132, Московская область, городской округ Подольск, пос. Дубровицы, 60; e-mail: lashnevair@gmail.com; тел.: (926) 413–41–78)

Сидоренко Дарья Дмитриевна, магистрант кафедры разведения, генетики и биотехнологии животных, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 52; e-mail: sidorenkodaria2000@mail.ru; тел.: (999) 836–79–07)

Vladimir I. Trukhachev, DSc (Ag), Professor, DSc (Ec), Professor, RAS Academician (Full Member), Rector of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–12–96; E-mail: rector@rgau-msha.ru)

Marina I. Selionova, DSc (Bio), RAS Professor, Head of the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (968) 266–33–03; E-mail: selionova@rgau-msha.ru)

Ali-Magomet M. Aybazov, DSc (Ag), Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (938) 351–01–02; E-mail: velikii-1@yandex.ru)

Marianne Yu. Gladkikh, PhD (Ag), Associate Professor of the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (919) 970–72–97; E-mail: marianna@timacad.ru)

Irina A. Lashneva, post-graduate student, Junior Research Associate of the Laboratory of Analysis and Modeling of Breeding Processes in Animal Husbandry, Federal Science Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst (60 Dubrovitsy v., Podolsk City District, Moscow Region, 142132, Russian Federation; phone: (926) 413–41–78; E-mail: lashnevair@gmail.com)

Dar'ya D. Sidorenko, Master's Degree Student of the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (999) 836–79–07; E-mail: sidorenkodaria2000@mail.ru)

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ КОРМЛЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ БЫЧКОВ СИММЕНТАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ

В.В. КУЛИНЦЕВ, А.Ф. ШЕВХУЖЕВ, Н.А. ДОРОХИН

(ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»)

В связи с изменяющимися условиями экономического развития происходит повышение спроса на говядину, производимую в нашей стране. Удовлетворение потребности в говядине возможно не только за счет увеличения поголовья скота специализированного мясного направления. Одним из эффективных решений в скотоводстве может стать использование комбинированных пород. Среди них можно выделить симментальскую породу, отличающуюся хорошими показателями роста и развития в условиях применения технологий интенсивного выращивания. Правильный подбор рациона кормления позволит ускорить процессы развития мышечной ткани в организме животного и повысить мясную продуктивность.

Статья посвящена изучению изменения уровня кормления на мясную продуктивность молодняка симментальской породы. Исследования проводили в СПК ПЗ «Заря-1» Карачаево-Черкесской Республики. Изучение мясной продуктивности проводили согласно принятой методологии научных исследований в животноводстве. В результате анализа проведенной работы установили, что в группе животных с повышенным уровнем кормления наблюдался более интенсивный рост тела по сравнению с контрольной группой. Бычки I группы получили на 28% больше кормов по питательности, что отразилось на показателях живой массы в разные возрастные периоды. Так, в возрасте 6 мес. животные опытной группы превосходили своих сверстников из контрольной группы на 21%; в 12 мес. – на 26%; в 18 мес. – на 20%. Также благотворное влияние повышенного уровня кормления наблюдалось относительно величины промеров и их соотношений у бычков I группы в сравнении со II группой, что отразилось на форме телосложения животных. Молодняк контрольной группы значительно отставал по размерам телосложения от представителей опытной группы. По выходу основных продуктов забоя во все периоды имели место различия между бычками I и 2 групп. В возрасте 18 мес. бычки I группы превосходили бычков 2 группы по выходу туши на 0,92%, по убойному выходу – на 1,46%. При проведении дифференцированной обвалки туш установлено, что с возрастом у животных обеих групп наблюдается повышение относительной массы мякоти (мышцы и жир), в то время как масса костей и сухожилий снижается. Однако бычки опытной группы имели больший процент содержания костей в сравнении с бычками из группы контроля, который особенно заметен в поясничной и грудной частях. Отсюда следует, что повышенный уровень кормления благотворно влияет на показатели роста и экстерьера бычков симментальской породы, и соответственно – на показатели мясной продуктивности.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, симментальская порода, уровень кормления, производство мяса, мясная продуктивность, показатели роста, мякоть, кости.

Введение

Мясо является неотъемлемым компонентом в рационе питания человека, поэтому перед производителями стоит задача обеспечения населения мясной продукцией в достаточном объеме. С этой целью выращивается крупный рогатый скот мясного направления продуктивности [5, 14]. Однако эффективное развитие скотоводства предполагает более интенсивное и рациональное использование скота

различных направлений. Поэтому для повышения производства говядины можно использовать животных молочного и комбинированного направлений [1, 3, 7]. Решение данной проблемы заключается в повышении эффективности откорма бычков молочных и комбинированных пород, что обеспечит потребителей необходимым объемом мяса [9, 11], для чего хорошо подходит симментальский скот. Животные данной породы – позднеспелые, но наращивание мышечной ткани у них происходит без существенного жиросотложения, они характеризуются высокой абсолютной и относительной энергией роста [2, 13].

Главным показателем успешного выращивания крупного рогатого скота для получения говядины является выход мясной продукции молодняка, который находится в прямой зависимости от интенсивности роста [15, 19]. Чтобы получить ранние убойные показатели скота симментальской породы, необходим подбор оптимального рациона кормления и технологических приемов интенсивного выращивания молодняка [8, 16]. Поэтому целью наших исследований стало изучение влияния уровня кормления бычков симментальской породы на рост, развитие и мясную продуктивность.

Материал и методы исследований

Исследования проводились на базе СПК ПЗ «Заря-1» Карачаево-Черкесской Республики.

Бычки симментальской породы в 6-месячном возрасте были распределены по принципу аналогов на две группы. В I группе – опытная (повышенный уровень кормления) – было 15 бычков, во II группе – контрольная (средний уровень кормления) – 15 бычков. Различия в уровне кормления соблюдали как в молочный период, так и в последующее время. В молочный период телят кормили индивидуально, затем кормление было групповым. В летний период обе группы телят находились на одних и тех же пастбищах. Условия содержания и ухода, а также качество кормов в обеих группах были одинаковыми. Расход и учет несъеденных остатков грубых и сочных кормов по группам определяли по двум смежным дням с последующим снятием остатков ежемесячно.

В 4-месячном возрасте бычков кастрировали. В молочный период телята находились в индивидуальных клетках, а с 6 мес. – на привязи. Зимой животных регулярно выпускали в загон на прогулку, летом выпасали на пастбищах. С целью изучения особенностей роста и развития бычков взвешивали при рождении, затем ежемесячно. У молодняка брали по 12 промеров в 6, 12 и 18 мес. На основании взятых промеров рассчитывали индексы телосложения бычков.

Контрольный забой подопытных бычков-кастратов проведен в 7, 12 и 18 мес. Животные, поступившие на мясокомбинат, находились на голодной выдержке в течение суток, затем их забивали по общепринятой технологии [10]. Все продукты, полученные от забоя, учитывали индивидуально.

Оценку скота и туш проводили по критериям, указанным в методическом пособии «Методология научных исследований в животноводстве и кормопроизводстве» [10]. Убой осуществляли на мясокомбинате ОАО РАПП «Кавказ-мясо». При организации контрольного убоя определяли предубойную живую массу, массы парной туши и внутреннего жира-сырца, относительный выход туши и убойный выход.

Морфологический состав определяли путем обвалки полутуши, охлажденной в течение 24 ч при температуре от 0°C до +4°C. На основании обвалки и жиловки вычисляли абсолютное и относительное содержание костей, мякотной части, сухожилий и хрящей, а также индекс мясности (выход мякотной части на 1 кг костей), массу и выход естественно-анатомических частей туши (ВНИИМС).

Для изучения качественных показателей говядины отбирали средние пробы мякотной части туши массой 400 г, длиннейшей мышцы спины и жира от трех туш из каждой группы разной локализации – по 200 г.

Достоверность полученных результатов и обработку данных проводили в программе Microsoft Excel и в программе IBM SPSS Statistics 26.

Результаты и их обсуждение

Кормление подопытного молодняка. Из многочисленных условий внешней среды, без которых организм не может существовать, исключительная роль принадлежит кормлению, так как жизнедеятельность организма связана с затратами энергии и с синтезом новых веществ. Полноценное кормление и хорошее содержание раскрывают продуктивные способности животных. Важнейшие биологические процессы, которые определяет жизнеспособность и продуктивность животного организма, в основном зависят от кормления [16].

За весь период выращивания бычками I группы израсходовано кормов на 28% больше, чем бычками II группы, соответственно и протеина – на 45% больше. В рационах телят I группы в молоке содержалось 13,3% кормовых ед., в концентратах – 30,0%, в сочных и грубых кормах – 56,7%; во II группе за тот же период в молоке – 10,9% кормовых ед., в концентратах – 13,92%, в сочных и грубых кормах – 75,2%. При указанном кормлении молодняк I группы рос более интенсивно, чем молодняк второй группы.

Имеются отличия между животными I и II групп по относительной скорости роста. Общее для обеих групп заключается в проявлении известной общепроизводительной закономерности – падение энергии роста с возрастом. Однако интенсивность этого падения у подопытного молодняка является различной.

Более высокая энергия роста у бычков I группы отчетливо сказывается в первые 9 мес. жизни. Затем, к 12 мес., происходит уравнивание, но в 12–18 мес. относительная скорость роста (по живой массе) у бычков II группы превосходит таковую у животных первой группы. Этот период совпадает с выходом на пастбище, когда рост бычков II группы ускоряется за счет более благоприятных летних кормовых условий, а возможно, и за счет и более полного использования кормов.

Таким образом, в лучших условиях кормления в молодом организме быстро компенсируется недоразвитие и увеличиваются приросты. Если разница в среднесуточных приростах до 6 и 12 мес. составляла 20–25%, в возрасте от 12 до 18 мес. она снизилась до 9% (среднесуточный прирост составил 775 и 710 г соответственно).

Изменение телосложения бычков. В зависимости от уровня кормления бычков были установлены различия в типе их телосложения. По всем промерам во все возрастные периоды бычки-кастраты I группы превосходили бычков-кастратов II группы.

По высотным промерам разница была меньше, чем по широтным промерам. Наибольшая разница по большинству промеров отмечена в годовалом возрасте, к 18 мес. эта разница уменьшилась.

Известно, что в процессе онтогенетического развития животных отдельные промеры растут неравномерно. У крупного рогатого скота к моменту рождения относительно максимальной величины достигают высотные промеры за счет большего развития в эмбриональный период периферического скелета.

Рост высотных промеров после рождения проходит менее интенсивно, чем широтных промеров (их рост связан с развитием осевого скелета). Последний, как было сказано выше, в постэмбриональное время растет значительно быстрее периферического скелета.

Коэффициент роста высоты в холке и в крестце за первые 1,5 года жизни бычков составлял 1,8. Величина же этих промеров при рождении составляет по отношению

к соответствующему промеру в 18-месячном возрасте I группы 55,5–56,12%. В то же время коэффициент роста ширины в маклоках у этой группы равен 2,58, а величина этого промера при рождении по отношению к соответствующему промеру в 18 мес. составила 38,8%. Эта закономерность отчетливо проявляется и относительно других широтных промеров.

Широтные промеры, с большей энергией растущие в постэмбриональный период, при низком уровне кормления отстают в своем росте больше, чем высотные промеры. При этом следует отметить, что когда животные попадают в более благоприятные условия кормления (как это было с подопытными бычками II группы в возрасте 12–18 мес.), отставание промеров, растущих в постэмбриональный период более интенсивно, компенсируется слабее, чем промеров с меньшей энергией роста. Например, ширина груди с коэффициентом роста в 2,44 к 12-месячному возрасту у бычков контрольной группы достигает 89,0%, в 18 мес. – 92,3% ширины груди животных опытной группы, тогда как высота в холке с коэффициентом роста 1,8 соответственно достигает в 12 мес. 94,5%, в 18 месяцев – 96,5%. Следовательно, при пониженном уровне кормления развитие промеров с большим коэффициентом роста задерживается. Пониженный уровень кормления слабее сказывается на промерах с меньшим коэффициентом роста, и их развитие задерживается в меньшей степени [18].

С возрастом существенные изменения происходят не только по величине промеров, но и в их соотношениях, что влияет на формы телосложения животных. Так, у молодняка II группы дольше сохраняются «детские» формы, и в своем развитии в сторону широкотелости этот молодняк отстает от молодняка I группы. Рост широтных промеров у бычков II группы отстает не только абсолютно, но и относительно от роста соответствующих промеров бычков I группы. Это отставание в развитии статей, характеризующих широтные размеры туловища, составляет у бычков II группы в сравнении с бычками I группы примерно 6 мес.

С возрастом животных значительно утолщается кожа молодняка, особенно в первый год жизни. При этом чем выше уровень кормления, тем кожа толще. У подопытных бычков-кастратов толщина кожи на последнем ребре за 18 мес. увеличивалась при обильном кормлении в 2,5 раза, при среднем кормлении – в 2,4 раза.

Изучение мясной продуктивности бычков. В течение опыта для контроля забивали животных в возрасте 7, 12 и 18 мес. В таблице 1 приведены данные выхода основных продуктов забоя по группам.

По выходу основных продуктов забоя во все периоды наблюдались различия между бычками I и II групп.

В возрасте 18 мес. бычки I группы превосходили бычков II группы по выходу туши на 0,92%, по убойному выходу – на 1,46%.

Высокие показатели продуктивности получены за счет пышного развития мускулатуры и лучшего отложения жира. Полив туш в возрасте 7 и 12 мес. был неудовлетворительным. Только в 18-месячном возрасте у животных I группы был обнаружен лучший полив туши.

Для оценки поверхностного отложения жира на туше (полив) была применена пятибалльная система. Оценку проводили у 18-месячных животных. Вся туша условно была разбита на 6 зон, применительно к нахождению отдельных, наиболее ценных отрубов: область лопатки, спины, поясницы (филея), крестцовая часть (оковалок), седалищные бугры (кострец) и окорок (огузок). В качестве критерия для определения балла были приняты следующие показатели:

- 1 балл – следы жира;
- 2 балла – небольшие пятна жира;
- 3 балла – удовлетворительный полив, но имеются большие разрывы;
- 4 балла – полив сплошной, но встречаются просветы;
- 5 баллов – сплошной полив без просветов.

Таблица 1

Выход основных продуктов забоя бычков-кастратов

Показатели	I группа			II группа		
	7 мес.	12 мес.	18 мес.	7 мес.	12 мес.	18 мес.
Абсолютная масса, кг						
Число животных	3	3	9	3	3	9
Живая масса перед забоем	204,20±4,73*	312,50±5,79*	450,40±6,84*	167,30±2,6*	248,20±4,12*	375,10±5,75*
Туша	98,30±2,1*	159,70±2,85*	237,10±2,89*	79,80±1,52*	125,00±2,03*	194,00±3,02*
Внутреннее сало	2,50±0,5*	7,48±0,8*	12,50±1,5*	0,82±0,6*	4,10±0,7*	8,40±1,1*
Туша и сало	100,80±2,7*	167,18±2,89*	249,60±3,0,1*	80,62±2,79*	129,10±2,41*	202,40±2,98*
Ливер	5,89±1,01*	8,63±0,97*	11,54±1,2*	4,29±0,96*	7,27±1,02*	10,25±1,5*
Голова	6,10±0,99*	9,70±1,3*	14,02±1,5*	5,02±0,89*	8,60±1,02*	12,46±1,6*
Ноги	5,10±0,78*	7,15±1,0*	9,14±1,03*	4,55±0,94*	6,80±1,01*	8,40±1,09*
Шкура	17,40±1,05*	29,20±1,52*	34,50±1,74*	9,55±1,2*	22,70±1,36*	29,00±1,67*
Относительный выход, % к живой массе						
Туша	48,14	51,10	52,64	47,70	50,36	51,72
Внутреннее сало	1,22	2,39	2,78	0,49	1,65	2,24
Туша и сало	49,36	53,50	55,42	48,19	52,01	53,96
Ливер	2,88	2,76	2,56	2,56	2,93	2,73
Голова	2,99	3,10	3,11	3,00	3,46	3,32
Ноги	2,50	2,29	2,03	2,72	2,74	2,24
Шкура	8,52	9,34	7,66	5,71	9,15	7,73

*Разница достоверна между опытной и контрольной группами; $P < 0,05$.

Результаты оценки жирового полива туш приведены на рисунке 1.

Средняя оценка полива туши у бычков-кастратов I группы составила 2,64 балла. Полив был равномерным (средние колебания по зонам составили 2–3,68 балла),

а у бычков II группы полив был выражен очень слабо, общая оценка составила 1,83 балла (среднее колебание по зонам – 1,13–2,88). Удовлетворительными были отложения жира у бычков I группы в области поясницы и крестца, значительно хуже – в области окорока и лопатки.

Оценка морфологического состава туш. Для более полной характеристики мясных качеств бычков-кастратов, выращенных при разном уровне кормления, проведены обвалка туш в 7, 12 и в 18-месячном возрасте и сортовой разруб по две полу-туши из каждой группы забитых бычков в 18-месячном возрасте. В таблице 2 приведены результаты обвалки туш по группам.

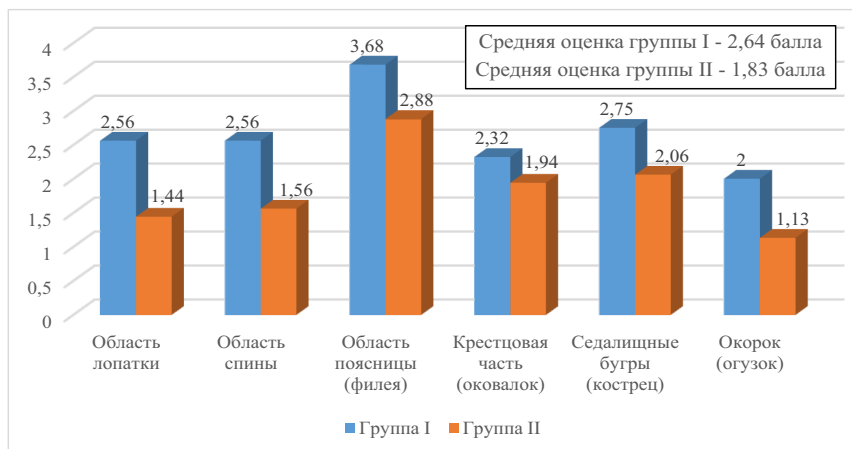


Рис. 1. Балльная оценка полива туш подопытного молодняка

Из таблицы следует, что с возрастом относительное содержание в туше костей и сухожилий падает, а содержание мяса возрастает. В тушах бычков из I группы сохранилось больше съедобных частей, чем в тушах бычков II группы.

Поскольку упитанность молодняка была невысокой, можно считать, что преобладающей частью мяса забитых бычков-кастратов была мускулатура. Поэтому изменения в теле животных приходится относить не столько к влиянию откорма, сколько к особенностям собственного роста органов и тканей в связи с возрастом и уровнем кормления. В частности, необходимо отметить, что с возрастом отношение массы мяса к массе костей повышается, а при улучшенном питании это повышение является еще более значительным. Следовательно, улучшенное питание резко стимулирует развитие мускулатуры. Поскольку наиболее пышное развитие последней происходит в первый год жизни животного, то формирующая роль кормления в этот период имеет особенно важное значение.

А.Ф. Шевхужев (2019, 2021), обобщая материалы по откорму скота, указывает, что в зависимости от упитанности молодняка выход костей у него может варьироваться от 21 до 26% [17, 18, 21]. Сопоставление этих данных с нашими данными показывает, что за счет хорошего развития мускульной ткани у бычков I группы в возрасте 12 и 18 мес. выход костей был значительно ниже (18, 17 и 9% соответственно), а у бычков II группы он составил 20–21% к массе туши.

Надо полагать, что соотношение мяса и костей в различных частях туши при разном уровне кормления животных изменяется неодинаково [4, 19]. Для проверки этого предположения нами проведена дифференцированная обвалка туш, рассчитанных на 7 частей: шея, две передние конечности, грудная клетка, поясница (вместе с пашиной) и две задние (тазовые) конечности.

Результаты обвалки туш подопытного молодняка

Показатели	I группа			II группа		
	7 мес.	12 мес.	18 мес.	7 мес.	12 мес.	18 мес.
Число туш	3	3	3	3	3	3
Масса остывшей туши, кг	98,30±2,1*	159,70±2,85*	237,10±2,89*	79,80±1,52*	125,0±2,03*	194,0±3,02*
Мясо (мышцы и жир)	82,63±1,09*	137,47±1,40*	210,63±1,62*	64,22±0,97*	102,85±1,29*	166,13±1,44*
Кости	18,17±1,26*	29,71±1,32*	38,97±1,58*	16,40±1,31*	26,25±1,28*	36,27±1,41*
Сухожилия	3,93±0,07*	5,85±0,15*	7,27±0,17*	4,70±0,1*	5,17±0,18*	5,59±0,21*
Потери	1,78±0,05*	1,49±0,01*	0,90±0,04*	2,20±0,06*	1,87±0,04*	0,93±0,1*
Относительная масса, % к массе туши						
Мясо (мышцы и жир)	84,06	86,08	88,84	80,48	82,28	85,63
Кости	18,48	18,60	16,44	20,55	21,00	18,70
Сухожилия	4,00	3,66	3,07	5,89	4,14	2,88
Потери	1,81	0,93	3,80	2,76	1,5	0,48

*Разница достоверна между опытной и контрольной группами; $P < 0,05$.

В таблице 3 приведена относительная масса мяса (мышцы и жир), костей и сухожилий в отдельных частях туш бычков-кастратов в возрасте 7 и 18 мес.

Из таблицы следует, что с повышением возраста животных в обеих группах имеют место повышение относительной массы мяса (мышцы и жир) и снижение массы костей и сухожилий. При этом во всех частях туши у бычков II группы процент содержания костей выше, чем в тушах бычков I группы. Особенно заметно отставание в содержании мякоти в туше бычков II группы в поясничной и грудной частях. Так, масса мякоти (мышцы и жир) поясничной части у бычков II группы к ее массе у бычков I группы составляет 67,8%, соответственно масса грудной части – 72,5%, в то время как масса мякоти передних конечностей бычков II группы составляет 81%, шейной части – 78% массы мякоти этих частей у бычков I группы. Это говорит о том, что такие поздно развивающиеся части туши, как поясница и грудная клетка, при недостаточном кормлении отстают в развитии больше, чем рано развивающиеся части тела [6, 12, 20].

Таблица 3

**Содержание мяса, костей и сухожилий в различных частях туши
бычков-кастратов в зависимости от уровня кормления, % от общей массы**

Части туши	7 мес.			18 мес.		
	мясо	кости	сухожилия и жилки	мясо	кости	сухожилия и жилки
I группа						
Шея	74,9	21,4	3,7	76,4	19,7	3,9
Передние конечности (плечелопаточная часть)	71,7	22,8	5,5	75,5	20,8	3,7
Грудная клетка	74,8	23,4	1,8	77,7	21,1	1,2
Поясница с пашиной	83,7	10,5	5,8	82,6	12,2	5,2
Задние (тазовые) конечности	77,8	17,2	5,0	80,4	15,6	4,0
Вся туша	76,5	19,3	4,2	78,7	17,9	3,4
II группа						
Шея	63,2	28,2	8,6	73,5	22,7	3,8
Передние конечности (плечелопаточная часть)	62,1	29,8	8,1	74,3	23,3	2,4
Грудная клетка	64,4	30,3	5,3	72,9	25,0	2,1
Поясница с пашиной	74,6	15,7	9,7	77,6	17,8	4,6
Задние (тазовые) конечности	71,2	24,0	4,8	78,5	17,5	4,0
Вся туша	66,4	26,1	7,5	75,4	21,1	3,3

Выводы

На основании проведенных исследований на бычках симментальской породы в разных возрастных группах были получены следующие результаты. В I группе (бычки с повышенным уровнем кормления) наблюдались высокие показатели живой массы в разные возрастные периоды в сравнении с контрольной группой, что отразилось на величине промеров и их соотношениях.

В результате исследований установили, что в группе животных с повышенным уровнем кормления наблюдался более интенсивный рост тела по сравнению с животными контрольной группы. Бычки I группы получили на 28% больше кормов по питательности,

что отразилось на показателях живой массы в разные возрастные периоды. Так, в возрасте 6 мес. животные опытной группы превосходили своих сверстников из контрольной группы на 21%, в 12 мес. – на 26%, в 18 мес. – на 20%. Благоприятное влияние повышенного уровня кормления сказалось также на величине промеров и их соотношениях у бычков I группы в сравнении со II группой, что отразилось на форме телосложения животных. Молодняк контрольной группы значительно отставал по размерам телосложения от представителей опытной группы. По выходу основных продуктов забоя во все периоды были различия между бычками I и II групп. В возрасте 18 мес. бычки I группы превосходили бычков II группы по выходу туши на 0,92%, по убойному выходу – на 1,46%.

При проведении дифференцированной обвалки туш установлено, что с возрастом у животных обеих групп наблюдается повышение относительной массы мякоти (мышцы и жир), в то время как масса костей и сухожилий снижается. Однако бычки опытной группы имели больший процент содержания костей, которое особенно заметно в поясничной и грудной частях, в сравнении с бычками из группы контроля. Отсюда следует, что повышенный уровень кормления благоприятно влияет на показатели роста и экстерьера бычков симментальской породы, и соответственно – на показатели мясной продуктивности.

Все вышеизложенное свидетельствует о благоприятном влиянии повышенного рациона питания у молодняка симментальской породы на показатели мясной продуктивности.

Библиографический список

1. Боголюбова Л.П., Никитина С.В., Матвеева Е.А., Тяпугин Е.Е. Породный состав в племенном мясном скотоводстве России // Молочное и мясное скотоводство. – 2021. – № 1. – С. 10–12.
2. Бураков А., Салихов А., Косилов В. и др. Потенциал мясной продуктивности симментальского скота, разводимого на Южном Урале // Молочное и мясное скотоводство. – 2011. – № 1. – С. 18–19.
3. Голембовский В.В. Мясная продуктивность бычков калмыцкой породы, полученных от коров, стимулируемых препаратом «ПИМ» // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 7. – С. 3–6.
4. Горлов И.Ф., Шлыков С.Н., Натыров А.К., Сложенкина М.И., Болаев Б.К., Мосолова Н.И., Суторма О.А., Омаров Р.С. Интенсификация производства продуктов мясного скотоводства на основе прогрессивных технологий селекции и кормления животных. – Элиста: Калмыцкий государственный университет, 2017. – 230 с.
5. Дунин И.М., Тяпугин С.Е., Мещеряков Р.К., Ходыков В.П., Аджибеков В.К., Тяпугин Е.Е., Дюльдина А.В. Состояние мясного скотоводства в Российской Федерации: реалии и перспективы // Молочное и мясное скотоводство. – 2020. – № 2. – С. 2–7.
6. Косилов В.И., Мироненко С.И., Никонова Е.А., Андриенко Д.А., Кубатбеков Т.С. Использование генетических ресурсов крупного рогатого скота разного направления продуктивности для увеличения производства говядины на Южном Урале: Монография. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2016. – 316 с.
7. Кулинцев В.В., Шевхужев А.Ф., Улимбаев М.Б. Мясная продуктивность крупного рогатого скота при использовании ресурсосберегающих технологий: Монография. – Михайловск: СК ФНАЦ, Ставрополь: Сервисшкола, 2019. – 170 с.
8. Кулинцев В.В., Шевхужев А.Ф., Смакуев Д.Р., Улимбаев М.Б. Откормочные и убойные качества бычков при выращивании по технологии мясного скотоводства // Зоотехния. – 2020. – № 3. – С. 17–21.
9. Медведев А.Ю. Разработка методики комплексной оценки технологии производства говядины // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 172–177.

10. Методология научных исследований в животноводстве и кормопроизводстве: Методическое пособие / ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ; Под ред. А.И. Сурова. – Ставрополь: Изд-во «Ставрополь-Сервис-Школа», 2022. – 364 с.
11. *Мысик А.Т., Усманова Е.Н., Кузякина Л.И.* Современные технологии в мясном скотоводстве при разведении абердин-ангусской породы // Зоотехния. – 2020. – № 8 – С. 25–28.
12. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: Справочное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. / Под. ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. – М., 2003. – 456 с.
13. *Рожкова Т.С.* Характеристика выращивания молодняка симментальской породы // Научный журнал молодых ученых. – 2017. – № 2 (9). – С. 20–22.
14. *Чинаров А.В.* Племенные ресурсы мясного скотоводства России // Молочное и мясное скотоводство. – 2020. – № 4 (40). – С. 60–65.
15. *Шагалиев Ф.М.* Мясная продуктивность и качественные показатели мяса бычков разных генотипов // Зоотехния. – 2022. – № 2. – С. 34–38.
16. *Шахмурзов М.М., Шевхужев А.Ф., Погодаев В.А., Цурикова Н.В.* Влияние продолжительности производственного цикла и уровня и кормления на продуктивные качества бычков абердин-ангусской породы // Молочное и мясное скотоводство. – 2019. – № 1. – С. 5–8.
17. *Шевхужев А.Ф., Легошиц Г.П.* Мясное скотоводство и производство говядины: Учебник. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2021. – 380 с.
18. *Шевхужев А.Ф., Улимбашев М.Б., Виноградова Н.Д., Эльжирокова З.Л.* Эффективность производства говядины при различных технологиях выращивания симментальского скота. – СПб.: СПбГАУ, 2019. – 165 с.
19. *Шевхужев А.Ф., Дубровин А.И., Улимбашев М.Б., Улимбашева Р.А.* Гематологический статус и воспроизводительная способность яков и крупного рогатого скота в высокогорьях Северного Кавказа // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (57). – С. 64–66.
20. *Шевхужев А.Ф., Левантин Д.Л., Теков М.Э.* Эффективность скрещивания породы браман в условиях Северного Кавказа // Молочное и мясное скотоводство. – 1997. – № 3. – С. 10–13.
21. *Шевхужев А.Ф., Погодаев В.А., Саитова Ф.Н.* Влияние технологии содержания на химический состав мышечной ткани бычков швицкой породы // Рациональные пути решения социально-экономических и научно-технических проблем региона: Материалы VI Региональной научно-практической конференции, Черкесск, 17–18 апреля 2006 г. / Министерство образования и науки РФ, Карачаево-Черкесская государственная технологическая академия. – Черкесск: Карачаево-Черкесская государственная технологическая академия, 2006. – С. 17–20.
22. *Шичкин Г.И., Лебедев С.В., Костюк Р.В., Шичкин Д.Г.* Производство говядины: состояние и перспективы // Молочное и мясное скотоводство. – 2021. – № 8. – С. 2–5.

EFFECT OF THE FEEDING LEVEL ON THE PRODUCTIVITY OF SIMMENTAL YOUNG BULLS

V.V. KULINTSEV, A.F. SHEVKHYZHEV, N.A. DOROKHIN

(North Caucasus Federal Agrarian Research Centre)

Due to the changing conditions of economic development, there is an increase in demand for beef produced in our country. Satisfying the need for beef is possible not only by increasing the number of livestock specialized in meat production. One of the effective solutions in cattle

breeding can be the use of combined breeds, among which we can single out the Simmental breed, which is distinguished by good growth and development rates under the conditions of intensive cultivation technologies. Proper selection of the feeding ration will speed up the development of muscle tissue in the animal's body and increase meat productivity.

This article is devoted to the study of changes in the level of feeding on the meat productivity of Simmental young stock. The studies were carried out in the SEC PZ "Zarya-1" of the Karachay-Cherkess Republic. The study of meat productivity was carried out according to the accepted methodology of scientific research in animal husbandry. As a result of the analysis of the work performed, it was found that in the group of animals with an increased level of feeding, more intensive body growth was observed compared to the control group. The young bulls of group I received 28% more nutritious feed, which was reflected in live weight indicators in different age periods. So, at 6 months of age, the animals of the experimental group outperformed their counterparts from the control group by 21%; at 12 months of age by 26%; at 18 months by 20%. Also, the beneficial effect of the increased level of feeding was expressed in the values of the measurements and their ratios in the young bulls of group I compared to group II, which was reflected in the body shape of the animals. The young bulls of the control group lagged significantly behind the representatives of the experimental group in terms of body size. In terms of the output of the main slaughter products in all periods, there were differences between the young bulls of groups 1 and 2. At the age of 18 months, the young bulls of group 1 exceeded their counterparts from group 2 in carcass yield by 0.92%; in slaughter yield by 1.46%. When conducting a differentiated deboning of carcasses, it was found that the relative weight of pulp (muscle and fat) increased with age in both groups, while the weight of bones and tendons decreased. However, the young bulls of the experimental group had a higher percentage of bone content compared to their counterparts from the control group, which is especially noticeable in the lumbar and chest. It follows therefrom that an increased level of feeding has a beneficial effect on the growth and exterior indicators of Simmental young bulls and, consequently, on meat productivity indicators.

Key words: *cattle, Simmental breed, feeding level, meat production, meat productivity, growth rates, pulp, bones.*

References

1. Bogolyubova L.P., Nikitina S.V., Matveeva E.A., Tyapugin E.E. Porodniy sostav v plemennom myasnom skotovodstve Rossii [Breed composition in breed beef cattle breeding in Russia]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2021; 1: 10–12. (In Rus.)
2. Buravov A., Salikhov A., Kosilov V. et al. Potentsial myasnoy produktivnosti simmental'skogo skota, razvodimogo na Yuzhnom Urale [Potential of meat productivity of Simmental cattle bred in the Southern Urals]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2011; 1: 18–19. (In Rus.)
3. Golembovskiy V.V. Myasnaya produktivnost' bychkov kalmyckoy porody, poluchennykh ot korov, stimuliruemykh preparatom "PIM" [Meat productivity of Kalmyk bull-calves obtained from cows stimulated with the "PIM" drug]. *Agrarniy nauchniy zhurnal*. 2017; 7: 3–6. (In Rus.)
4. Gorlov I.F., Shlykov S.N., Nasyrov A.K., Slozhenkina M.I., Bolaev B.K., Mosolova N.I., Sutorma O.A., Omarov R.S. Intensifikatsiya proizvodstva produktov myasnogo skotovodstva na osnove progressivnykh tekhnologiy selektsii i kormleniya zhivotnykh [Intensification of the production of beef cattle products based on progressive technologies for breeding and feeding animals]. Elista: Kalmyckiy gosudarstvenniy universitet, 2017: 230. (In Rus.)
5. Dunin I.M., Tyapugin S.E., Meshcheryakov R.K., Khodykov V.P., Adzhibekov V.K., Tyapugin E.E., Dyul'dina A.V. Sostoyanie myasnogo skotovodstva v Rossiyskoy Federatsii: realii i perspektivy [State of beef cattle breeding in the Russian Federation: realities and prospects]. 2020; 2: 2–7. (In Rus.)

6. *Kosilov V.I., Mironenko S.I., Nikonova E.A., Andrienko D.A., Kubatbekov T.S.* Ispol'zovanie geneticheskikh resursov krupnogo rogatogo skota raznogo napravleniya produktivnosti dlya uvelicheniya proizvodstva govyadiny na Yuzhnom Urale: monografiya [The use of genetic resources of cattle with different directions of productivity to increase beef production in the South Urals: monograph]. Orenburg: Izdatel'skiy tsentr OGAU, 2016: 316. (In Rus.)
7. *Kulintsev V.V., Shevkhuzhev A.F., Ulimbashev M.B.* Myasnaya produktivnost' krupnogo rogatogo skota pri ispol'zovanii resursosberegayushchikh tekhnologiy: monografiya [Meat productivity of cattle using resource-saving technologies: monograph]. Mikhailovsk: SK FNATs, Stavropol: Servisshkola, 2019: 170. (In Rus.)
8. *Kulintsev V.V., Shevkhuzhev A.F., Smakuev D.R., Ulimbashev M.B.* Otkormochnye i uboynye kachestva bychkov pri vyrashchivaniy po tekhnologii myasnogo skotovodstva [Fattening and slaughter qualities of bulls when grown according to the technology of beef cattle breeding]. *Zootekhnika*. 2020; 3: 17–21. (In Rus.)
9. *Medvedev A.Yu.* Razrabotka metodiki kompleksnoy otsenki tekhnologii proizvodstva govyadiny [Development of a methodology for a comprehensive evaluation of beef production technology]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015; 2: 172–177. (In Rus.)
10. Metodologiya nauchnykh issledovaniy v zhivotnovodstve i kormoproizvodstve (metodicheskoe posobie) [Methodology of scientific research in animal husbandry and fodder production (manual)]. Ed. by A.I. Surov. Stavropol: FGBNU "Severo-Kavkazskiy FNAC", izd-vo "Stavropol'-Servis-Shkola", 2022: 364. (In Rus.)
11. *Mysik A.T., Usmanova E.N., Kuzyakina L.I.* Sovremennye tekhnologii v myasnom skotovodstve pri razvedenii aberdin-angusskoy porody [Modern technologies in beef cattle breeding in the breeding of the Aberdeen-Angus breed]. *Zootekhnika*. 2020; 8: 25–28. (In Rus.)
12. *Kalashnikov A.P., Fisinin V.I., Shcheglov V.V., Kleymenov N.I.* Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh. Spravochnoe posobie. [Norms and diets for feeding farm animals. Reference manual.] 3rd edition revised and enlarged. Moscow, 2003: 456. (In Rus.)
13. *Rozhkova T.S.* Kharakteristika vyrashchivaniya molodnyaka simmental'skoy porody [Characteristics of growing young animals of the Simmental breed]. *Nauchniy zhurnal molodykh uchenykh*. 2017; 2 (9): 20–22. (In Rus.)
14. *Chinarov A.V.* Plemennye resursy myasnogo skotovodstva Rossii [Breeding resources of beef cattle breeding in Russia]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2020; 4 (40): 60–65. (In Rus.)
15. *Shagaliev F.M.* Myasnaya produktivnost' i kachestvennye pokazateli myasa bychkov raznykh genotipov [Meat productivity and quality indicators of bull meat of different genotypes]. *Zootekhnika*. 2022; 2: 34–38. (In Rus.)
16. *Shakhmurzov M.M., Shevkhuzhev A.F., Pogodaev V.A., Tsurikova N.V.* Vliyanie prodolzhitel'nosti proizvodstvennogo tsikla i urovnya i kormleniya na produktivnye kachestva bychkov aberdin-angusskoy porody [Effect of the duration of the production cycle and the level and feeding on the productive qualities of bulls of the Aberdeen-Angus breed]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2019; 1: 5–8. (In Rus.)
17. *Shevkhuzhev A.F., Legoshic G.P.* Myasnoe skotovodstvo i proizvodstvo govyadiny: Uchebnik [Beef cattle breeding and beef production: Textbook]. 2nd edition. SPb.: Lan', 2021: 380. (In Rus.)
18. *Shevkhuzhev A.F., Ulimbashev M.B., Vinogradova N.D., El'zhirokova Z.L.* Effektivnost' proizvodstva govyadiny pri razlichnykh tekhnologiyakh vyrashchivaniya simmental'skogo skota [Efficiency of beef production under different technologies of growing Simmental cattle]. SPb: SPbGAU, 2019: 165. (In Rus.)

19. *Shevkhuzhev A.F., Dubrovin A.I., Ulimbashev M.B., Ulimbasheva R.A.* Gematologicheskiy status i vosproizvoditel'naya sposobnost' yakov i krupnogo rogatogo skota v vysokogor'yakh Severnogo Kavkaza [Hematological status and reproductive ability of yaks and cattle in the highlands of the North Caucasus]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016; 1 (57): 64–66. (In Rus.)

20. *Shevkhuzhev A.F., Levantin D.L., Tekov M.E.* Effektivnost' skreshchivaniya porody braman v usloviyakh Severnogo Kavkaza [Efficiency of crossing the Brahmin breed in the conditions of the North Caucasus]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 1997; 3: 10–13. (In Rus.)

21. *Shevkhuzhev A.F. Pogodaev V.A., Saitova F.N.* Vliyanie tekhnologii soderzhanii na khimicheskiy sostav myshechnoy tkani bychkov shvitskoy porody [Effect of maintenance technology on the chemical composition of the muscle tissue of bulls of the Swiss breed]. *Ratsional'nye puti resheniya sotsial'no-ekonomicheskikh i nauchno-tekhnicheskikh problem regiona: Materialy VI regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Cherkessk, 17–18 aprelya 2006 goda*. Cherkessk: Karachayevo-Cherkesskaya gosudarstvennaya tekhnologicheskaya akademiya. 2006: 17–20. (In Rus.)

22. *Shichkin G.I., Lebedev S.V., Kostyuk R.V., Shichkin D.G.* Proizvodstvo govyadiny: sostoyanie i perspektivy [Beef production: state and prospects]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2021; 8: 2–5. (In Rus.)

Кулинцев Валерий Владимирович, д-р с.-х. наук, профессор, директор ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ (356241, Российская Федерация, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: ret-nec.canf@ofni; тел.: (86553) 2–32–98)

Шевхужев Анатолий Феоанович, д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник промышленной технологии производства продукции животноводства ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» (356241, Российская Федерация, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: shevkhuzhevaf@yandex.ru; тел.: (962) 439–45–55)

Дорохин Николай Александрович, младший научный сотрудник лаборатории промышленной технологии производства продукции животноводства ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» (356241, Российская Федерация, Ставропольский край, Шпаковский р-н, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: dorohin.2012@inbox.ru; тел.: (961) 456–99–25)

Valeriy V. Kulintsev, DSc (Ag), Professor, Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution “North Caucasian Federal National Research Center” (49 Nikonova Str., Mikhailovsk, 356241, Russian Federation; phone: (6553) 2–32–98; E-mail: ret-nec.canf@ofni)

Anatoliy F. Shevkhuzhev, DSc (Ag), Professor, Chief Research Associate of the Laboratory of the Industrial Technology of Livestock Products VNIIOK – a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “North Caucasian Federal National Research Center” (49 Nikonova Str., Mikhailovsk, 356241, Russian Federation; phone: (962) 439–45–55; E-mail: shevkhuzhevaf@yandex.ru)

Nikolay A. Dorokhin, Junior Research Associate of the Laboratory of the Industrial Technology of Livestock Products VNIIOK – a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “North Caucasian Federal National Research Center” (49 Nikonova Str., Mikhailovsk, 356241, Russian Federation; phone: (961) 456–99–25; E-mail: dorohin.2012@inbox.ru)

ВОЗДЕЙСТВИЕ БОЛЕВОГО СТРЕССА НА АДАПТИВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ КРОВИ И БЛАГОПОЛУЧИЕ ЛОШАДЕЙ

А.А. КСЕНОФОНТОВА, О.А. ВОЙНОВА, А.А. ИВАНОВ, Д.А. КСЕНОФОНТОВ

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

Реализовать в полной мере генетический потенциал продуктивных животных можно только при условии на производстве высоких стандартов благополучия. Одним из индикаторов благополучия животных является состояние их здоровья, и одним из маркеров различных патологических процессов является боль. Спортивное коневодство – специфическое направление, в котором на состояние здоровья животных, а следовательно, и на их рабочие качества, помимо условий содержания и кормления, существенно влияет грамотная работа тренеров и всадников. Своевременная диагностика боли важна для оценки благополучия животных, так как боль можно рассматривать как предиктор различных заболеваний. С помощью стандартизированной шкалы боли Horse Grimace Scale (HGS) была проведена оценка поголовья спортивных лошадей конно-спортивного комплекса РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на наличие и интенсивность болевого синдрома с последующим анализом некоторых показателей крови. Установлена корреляция между интенсивностью боли и количеством ранее диагностированных у животных заболеваний. Боль, как мощный стресс-фактор, вызывает напряжение практически во всех функциональных системах организма, в том числе в системе крови. У лошадей с сильно выраженным болевым синдромом отмечены изменения в клеточном составе периферической крови. В частности, наблюдаются повышение уровня лейкоцитов, снижение содержания эритроцитов и гемоглобина в нем при одновременном повышении значений среднего объема эритроцитов и среднего корпускулярного гемоглобина, а также увеличение концентрации глюкозы. Такие изменения можно рассматривать как адаптационные механизмы, позволяющие организму животных нормально функционировать при воздействии болевого стресса.

Ключевые слова: боль, лошадь, шкала оценки боли, благополучие, стресс, система крови, гомеостаз.

Введение

В последние десятилетия благополучие животных, от домашнего скота и до животных-компаньонов, стало одной из главных общественных забот, источником беспокойства в научном сообществе. Наблюдается также повышенная законодательная активность в этой области. Современное понимание благополучия подчеркивает неразрывную связь между благополучием животных и этикой, причем физическое и психологическое благополучие считается одинаково важным. Эти принципы применимы ко всем животным независимо от сферы их использования [29].

Активное участие в разработке стандартов благополучия животных, прежде всего посредством законодательства, принимал Европейский союз. В 1999 г. Амстердамским договором Европейского союза сельскохозяйственные животные признаны разумными существами, имеющими чувства и испытывающими ощущения. В связи с этим государства-члены ЕС должны учитывать требования, предъявляемые к благополучию животных.

Федеральный закон Российской Федерации 2018 г. об ответственном обращении с животными признает способность животных испытывать эмоции и физические страдания и требует нравственного и гуманного отношения к ним. Всемирное

общество защиты животных отмечает, что благополучное животное должно иметь хорошее физическое и психологическое состояние, быть здоровым и не страдать.

При оценке благополучия животных необходимо учитывать их субъективные чувства и рассматривать благополучие с точки зрения отдельного индивидуума как положительный баланс между позитивными и негативными переживаниями [39]. Для оценки уровня благополучия домашних животных во многих странах мира используется система, разработанная в Великобритании в 1977 г. Советом по охране сельскохозяйственных животных, в основе которой лежит концепция «Пять свобод».

«Пять свобод» включены во Всемирную декларацию благосостояния животных (Universal Declaration on Animal Welfare), которую предлагается принять Организации Объединенных Наций. Согласно этому документу свободой от голода и жажды, свободой от дискомфорта, свободой от боли, травм или болезни, свободой естественного поведения, свободой от страха и стресса должны быть обеспечены все животные, содержащиеся в неволе. Таким образом, в настоящее время обеспечение высокого уровня благополучия животных должно стать приоритетным глобальным вопросом и лечь в основу международных соглашений в этой сфере. В документе также указывается на важность защиты животных как части нравственного развития человечества [11].

Свобода от боли является одним из условий для обеспечения высокого уровня благополучия животных. Международная ассоциация по изучению боли (IASP) определяет боль как неприятное сенсорное и эмоциональное переживание, связанное с фактическим или потенциальным повреждением тканей [8], и утверждает, что неспособность общаться вербально не исключает возможности того, что индивидуум испытывает боль [48], это относится ко всем, кто не способен к общению: невербальным взрослым, младенцам и животным [37]. В 1996 г. Американским обществом боли (APS) в качестве «пятого признака живого организма» наряду с сердцебиением, пульсом, зрачковым рефлексом и дыханием был введен признак ощущения боли. С биологической точки зрения ощущение боли позволяет быстро и своевременно реагировать на разрушительные внешние воздействия, формирует поведенческие реакции, заставляющие оберегать поврежденное место (источник боли), создавая оптимальные условия для восстановления поврежденной структуры и нарушенной функции, а также активизирует комплекс защитных реакций, направленных на восстановление гомеостаза. «Комитет Национального исследовательского совета США по признанию и облегчению боли у лабораторных животных» отмечает, что боль испытывают многие виды животных, в том числе млекопитающие и, возможно, все позвоночные. Одним из доказательств этого утверждения служит тот факт, что животное реагирует на болевой стимул так же, как и человек [28, 32] (рис. 1).

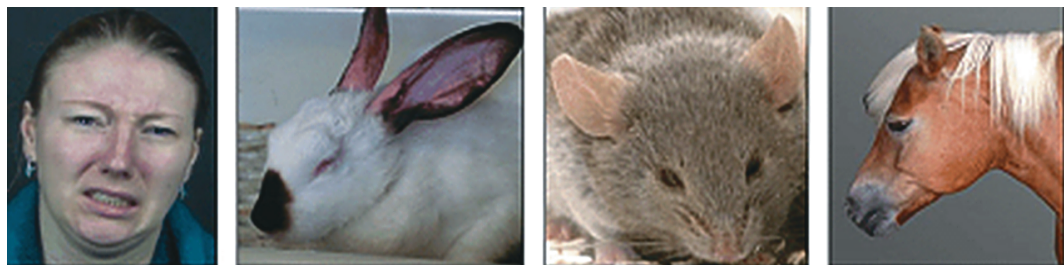


Рис. 1. Гримасы боли у человека и животных [13]

Например, изменения в показаниях электроэнцефалограммы при восприятии телятами болевых стимулов во время кастрации аналогичны изменениям при переживании боли человеком [4]. Поскольку боль является исключительно субъективным

ощущением, то только индивидуум, испытывающий ее, может оценить качество и интенсивность боли, а также степень своего страдания.

Причинами боли у животных могут быть различного рода заболевания, травмы, вызванные плохими условиями содержания или плохим обращением, несоблюдение гигиенических требований, а также стандартные производственные процедуры (например, кастрация и купирование хвоста) или естественные физиологические процессы – такие, как роды. Действие многих из этих факторов можно снизить или даже устранить путем коррекции практики управления в хозяйстве [30], снизив тем самым уровень угрозы благополучию животных.

С эволюционной точки зрения оправдано то, что сельскохозяйственные животные, являясь потенциальными жертвами, не демонстрируют явных признаков боли, которые могли бы привлечь внимание хищников. Это является одной из главных причин того, что человеку сложно распознать болевые сигналы, подаваемые животными [27].

Важным условием облегчения боли у животных является возможность легко и быстро ее идентифицировать. Традиционная оценка боли у животных, основанная на измерении ряда физиологических параметров, таких, как частота сердечных сокращений и частота дыхательных движений, концентрация кортизола в крови и др. [6], оказалась сложноприменимой, поскольку их трудно измерить в условиях производства [17]. Также животные, испытывающие хроническую боль, могут иметь нормальные физиологические параметры, в связи с чем отсутствие изменений в физиологических реакциях не следует истолковывать как отсутствие боли.

Наиболее достоверным и специфическим параметром при изучении боли у животных считаются показатели поведения. Были выделены три потенциальных поведенческих признака боли у животных [46]: поведение, специфичное для боли; изменение определенного поведения (например, пищевого); «выбор предпочтений». При этом необходимо учитывать, что «выбор предпочтений» больше подходит для исследовательских целей, а оценка изменения нормального поведения требует длительных наблюдений. Поскольку боль включает в себя сенсорные, моторные, эмоционально-аффективные и когнитивные компоненты [33], более практичным оказалось выявление поведенческих паттернов, специфичных для боли, – таких, как изменение позы, наличие хромоты, внимание к болезненной области, вокализация, скрежетание зубами (бруксизм), изменение социального поведения [7, 20, 25, 34, 35, 38, 40, 41], вокализация, тремор, пилоэрекция, закатывание глаз (оценивается по доле видимой склеры) и др.

При воздействии негативных факторов различной этиологии о внутреннем состоянии индивидуума свидетельствует эмоциональная реакция, проявляющаяся в виде специфических жестов и мимики [26], регулируемых лимбической системой и группой нейронов, называемых центральными генераторами паттернов [42]. Последние иницируют и контролируют активность мимических мышц, генерируя консервативный, стереотипный ответ на конкретный стимул [5, 23] (рис. 2). Проявления боли на морде животных, так называемые гримасы боли, часто появляются раньше, чем другие симптомы, – такие, как повышение частоты сердечных сокращений или изменения в пищевом поведении. В связи с этим ранняя диагностика и эффективное лечение боли возможны лишь в том случае, если установлены видоспецифические мимические болевые паттерны.

В течение последних десятилетий было разработано множество поведенческих шкал для оценки боли у разных видов животных, в том числе основанных на анализе мимики индивидуума (лошади, кролики, овцы, мыши, крысы, тюлени, свиньи, коровы, хорьки, собаки, ослы, кошки, птицы) [10, 15, 22, 24, 31]. Современные методы оценки боли у животных представляют собой адаптированные формы шкал, разработанные для людей, поскольку гримасы боли животных весьма похожи на выражение лица человека, страдающего от боли [13].



Рис. 2. Мимические болевые паттерны у человека и разных видов животных

Лошадь на протяжении нескольких тысячелетий является надежным спутником человека, и несмотря на развитие научно-технического прогресса, сфера ее использования остается достаточно широкой. Основным продуктом, получаемым при использовании этого вида, является физическая сила, в связи с чем в процессе эксплуатации лошадей высок риск получения ими различного рода травм и развития ряда заболеваний. Многие из них сопровождаются болевым синдромом, и поэтому боль является одной из самых актуальных проблем в клинической ветеринарии лошадей, поскольку препятствуют достижению целей при их использовании и в значительной степени снижает уровень благополучия животных [19, 43]. Умение распознавать физический дискомфорт в поведении лошади, испытывающей боль, владельцами, всадниками, тренерами и обслуживающим персоналом также имеет важное значение для благополучия животных и безопасности окружающих, поскольку они, как правило, плохо распознают признаки боли [21]. В связи с этим целью исследований было проведение диагностики боли у лошадей и определение ряда показателей крови животных с разной интенсивностью болевого синдрома.

Задачи исследований:

1. Определить наличие и интенсивность болевого синдрома у лошадей с помощью с помощью стандартизированной шкалы боли Horse Grimace Scale (HGS).
2. Установить наличие стресс-индуцированной реакции организма лошадей по уровню глюкозы в крови лошадей с разной степенью выраженности болевого синдрома.
3. Изучить морфологический и гематологический состав периферической крови лошадей с проявлением боли разной интенсивности.

Материал и методика исследований

Исследования проводились на базе конно-спортивного комплекса Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева на 34 лошадях верховых пород. Наличие и интенсивность боли у лошадей определяли с помощью стандартизированной шкалы боли (Horse Grimace Scale – HGS), разработанной на основе системы кодирования лицевых движений (FACS) людей [14] и адаптированной для разных видов животных, в том числе для лошадей, которая учитывает сокращение или расслабление одной или нескольких лицевых мышц, участвующих в формировании специфической мимики, что используют для идентификации эмоций, в том числе выражения

боли [45]. У исследуемого поголовья лошадей оценивали 6 маркеров мимических действий, которые являются специфичными признаками болевого синдрома: ушные раковины разведены и развернуты в стороны, орбитальные затяжки, напряжение области вокруг глаз, жевательных мышц, рта (выраженный подбородок) и ноздрей [9, 10] (рис. 3).

Животных исследовали в привычной для них среде (в денниках) перед утренней раздачей корма и без изменения их образа жизни. Перед началом оценки животных на наличие гримас боли исследователь в течение 10 мин молча стоял примерно в 1 м от лошади, вел себя максимально нейтрально, не поворачиваясь к ней лицом. Затем у лошадей диагностировали наличие признаков боли по шкале HGS [10] в течение 1 мин. Оценку на протяжении всего периода исследования проводил один и тот же исследователь.

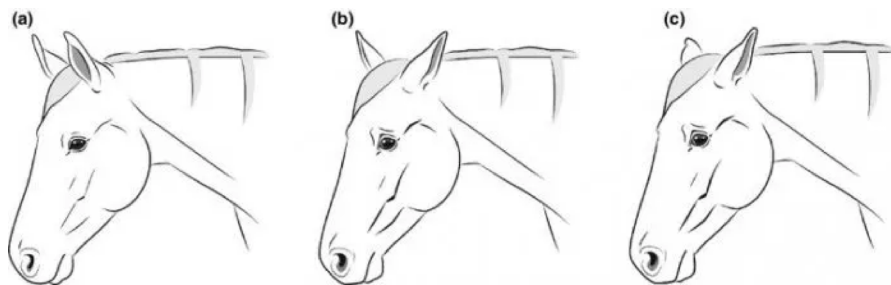


Рис. 3. Мимика лошади:

- (а) выражение морды безболезненной, расслабленной и внимательной лошади;
(b, c) выражение морды лошади, страдающей от боли разной интенсивности [9]

Наличие и степень выраженности каждого из 6 индикаторов боли согласно методике оценивались в баллах: отсутствие признака – 0 баллов; умеренное проявление – 1 балл; очевидное присутствие – 2 балла. После их суммирования определяли присутствие боли и степень ее проявления у животного.

Оценка боли у животных производилась «вслепую», то есть исследователю на момент сбора информации не было известно состояние здоровья лошадей. Состояние здоровья лошадей было дано штатным ветеринарным врачом конно-спортивного комплекса на основании сведений из медицинских карт позже. Для проведения анализов забор крови осуществлялся из яремной вены в утренние часы до кормления и работы животных. В периферической крови на гематологическом анализаторе «Abacus junior» определяли следующие показатели: гематокрит, концентрацию гемоглобина, эритроцитов и лейкоцитов, а с помощью экспресс-измерителя «Сателлит» – концентрацию глюкозы, рассчитывали также средний корпускулярный гемоглобин.

Результаты и их обсуждение

Анализ результатов, полученных с помощью стандартизированной шкалы боли (Horse Grimace Scale), показал, что из 34 лошадей, участвующих в исследовании, 28 животных в той или иной степени продемонстрировали наличие болевого синдрома (рис. 4).

Мимические признаки боли у лошадей фиксировались с разной частотой. Животные чаще всего демонстрировали напряжение в области ноздрей и жевательных мышц (36% и 37% соответственно); у 26% и 28% лошадей наблюдалось напряжение в области рта и над областью глаз; у 20% особей были зафиксированы отведенные назад и в стороны уши, а у 13% и 10% изучаемых животных встречались орбитальные затяжки и уплощение профиля (рис. 5).

В зависимости от количества полученных баллов все животные, участвующие в исследовании, были подразделены на 3 группы в зависимости от степени выраженности



Рис. 4. Grimасы боли у исследуемых лошадей

пы с сильным болевым синдром, в соответствии с оценкой по шкале боли Horse Grimace Scale, зарегистрировано 2–3 заболевания, у животных 2 группы с болевым синдромом средней интенсивности отмечено 2 заболевания, а у лошадей с незначительными признаками боли 1 группы – от 1 до 2 заболеваний. В историях болезней изучаемого поголовья наиболее часто встречались патологии опорно-двигательного и связочного аппарата, заболевания желудочно-кишечного тракта (гастрит и колики на фоне гастрита) и миозит мышц спины.

боли, что, вероятно, отражает ее интенсивность. В 1 группу были включены 20 лошадей, получившие при оценке мимических индикаторов с помощью стандартизированной шкалы боли (Horse Grimace Scale – HGS) от 0 до 4 баллов, во 2 группу – 12 животных с суммарной оценкой от 5 до 7 баллов, а в 3 группу с баллами от 8 до 12 были включены 2 особи (рис. 6).

После анализа данных медицинских карт лошадей было установлено, что у лошадей 3 груп-

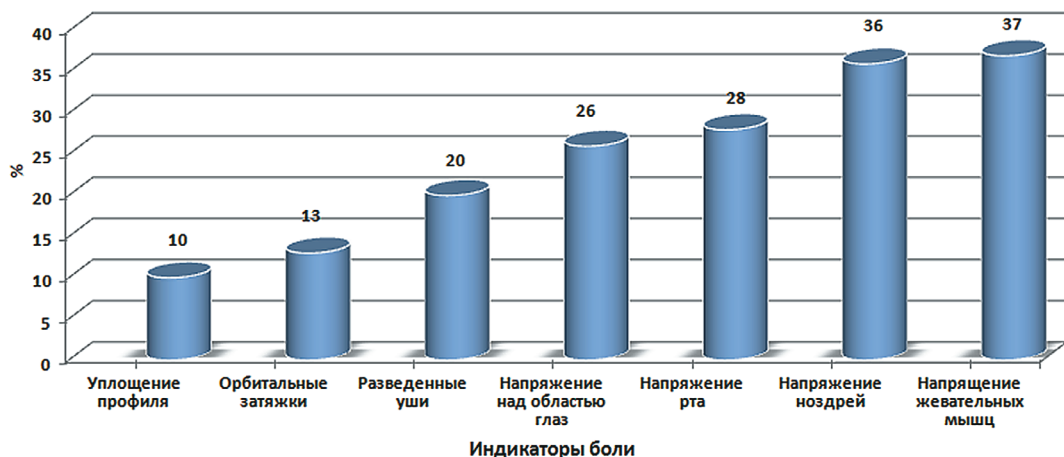


Рис. 5. Частота встречаемости мимических индикаторов боли у исследуемого поголовья лошадей

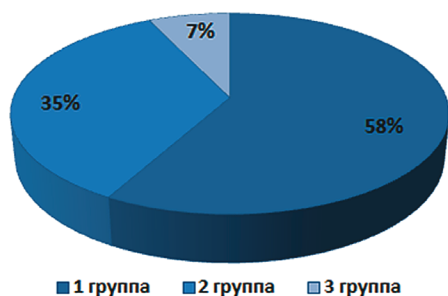


Рис. 6. Распределение лошадей на группы по степени выраженности болевого синдрома

Боль рассматривают как один из стресс-факторов, при воздействии которого нарушаются многие константы гомеостаза. Происходит активация двух различных нейро-эндокринных путей: гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая ось, приводящая к повышению уровня кортизола, и симпат-адреналовая система, вызывающая повышение уровня катехоламинов [44]. Поскольку кортизол ингибирует действие инсулина, после повышения его уровня в сыворотке может увеличиваться концентрация глюкозы в крови [36], в связи

с чем данный показатель используется в качестве маркера стрессового состояния организма.

В крови лошадей 1 и 2 групп с болевым синдромом слабой и средней интенсивности концентрация глюкозы не выходила за пределы референтных значений. У лошадей 3 группы, демонстрировавших сильный болевой синдром, этот показатель превышал верхнюю границу нормы на 12%. Также уровень глюкозы в крови у данной группы животных был выше, чем у лошадей 1 и 2 групп, на 46% и 54% соответственно.

Таким образом, у животных 3 группы с ярко выраженными гримасами боли, что говорит о ее высокой интенсивности, отмечается гипергликемия, свидетельствующая о стрессовом состоянии животных данной группы, при котором наблюдается активация коры надпочечников как центра стрессовых реакций, приводящая к повышению уровня глюкозы в крови (рис. 7).

Боль бросает вызов гомеостазу, вызывая напряжение в его функциональных системах, в том числе в системе крови, приводя к изменению не только биохимических, но гематологических показателей, помогая эффективно задействовать механизмы адаптации, направленные на восстановление метаболических параметров.

Воздействие на организм стресс-факторов вызывает нарушения в микроциркуляторном русле крови, в выполнении ею реологических и газотранспортных функций, а также в структурно-метаболической и функциональной роли красных кровяных клеток вследствие отклонений в липидно-белковом составе мембран [1, 2].

При анализе показателей красной крови лошадей установлено, что в единице объема крови животных всех групп содержание эритроцитов находилось в пределах нормы. Тем не менее у животных 3 группы этот показатель был близок к ее нижней границе и на 24% меньше, чем в крови исследуемых лошадей 1 и 2 групп. У животных 3 группы с сильно выраженным болевым синдромом в результате подавления эритропоэза и, как следствие, уменьшения резерва эритроцитов в периферической крови развивается эритропения, что может являться одним симптомов болевого стресса (рис. 8).

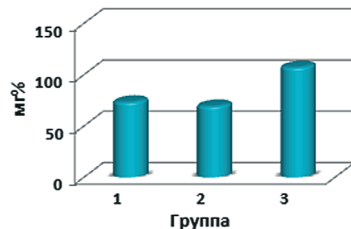


Рис. 7. Концентрация глюкозы в периферической крови лошадей

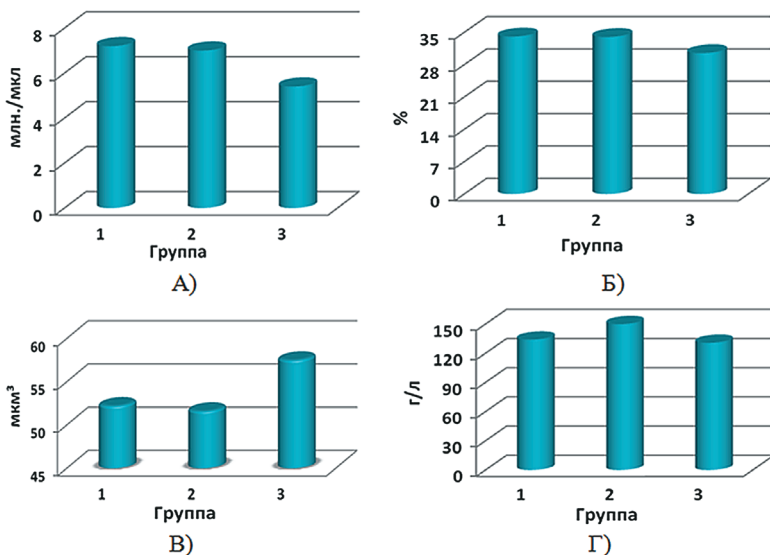


Рис. 8. А – содержание эритроцитов, Б – показатель гематокрита, В – средний объем эритроцитов, Г – концентрация гемоглобин в периферической крови лошадей

Показателем, который отражает соотношение объема форменных элементов и плазмы крови, является гематокрит. Установлено, что у лошадей 1 и 2 групп со слабой и средней степенью выраженности болевого синдрома этот показатель находится в пределах референтных значений, а у лошадей с сильным болевым синдромом, включенных в 3 группу, значение гематокрита на 14% меньше нижней границы нормы. У животных данной группы он оказался ниже на 15% и 14%, чем у лошадей 1 и 2 групп соответственно. Пониженный гематокрит является следствием отмеченной ранее эритропении у лошадей 3 группы и отражает дезадаптивные изменения в показателях системе крови, вызванные стрессом в результате активации ноцицептивных путей в ответ на сильные болевые ощущения (рис. 8).

Выявлено, что значение среднего объема эритроцитов (MCV) в крови лошадей всех групп не выходило за пределы физиологической нормы, однако показатели животных 3 группы оказались выше на 8% и 10%, чем у лошадей 1 и 2 групп соответственно. Возможно, болевой стресс вызывает увеличение в популяции эритроцитов переходных, предгемолитических и дегенеративно измененных форм клеток, а также сдвиги в их агрегационной способности и ригидности [12] (рис. 8).

Концентрация гемоглобина в крови всех лошадей, участвующих в исследованиях, соответствовала нормальным значениям для данного вида, однако в крови животных 3 группы его содержание было самым низким. Показателем, отражающим среднее содержание гемоглобина в красных кровяных клетках, является средний корпускулярный гемоглобин (MCH), значение которого у лошадей с сильно выраженным болевым синдромом оказалось самым высоким. Это, вероятно, обусловлено включением компенсаторных механизмов при низком содержании гемоглобина в крови для полноценного снабжения клеток организма кислородом (рис. 8).

Известно, что стресс-реакция на неблагоприятные факторы, к числу которых можно отнести и боль, запускает в организме симпатoadреналовый ответ, который в свою очередь вызывает функциональное напряжение в иммунной системе [18]. Несмотря на то, что уровень лейкоцитов в крови животных всех групп не выходил за пределы референтных значений, у животных 3 группы, получивших самые высокие баллы по шкале боли Horse Grimace Scale, их концентрация была выше на 18%, чем у лошадей 1 и 2 групп. Стресс может оказывать как иммуностимулирующее, так и иммуносупрессорное воздействие на организм. Характер ответной реакции при этом определяется интенсивностью и длительностью воздействия стресс-фактора, а также во многом зависит от исходного функционального состояния организма.

Центральным звеном, через которое реализуется влияние центральной нервной системы на иммунную реакцию, является гипоталамус, гормоны которого оказывают иммуномодулирующее влияние на работу иммунокомпетентных органов и клеток [47]. Стрессиндуцированная активация иммунной системы у лошадей с ярко выраженным болевым синдромом, вероятно, свидетельствует о включении адаптивных механизмов, направленных на повышение устойчивости всех систем к негативным последствиям бо-

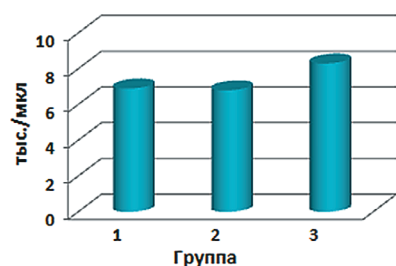


Рис. 9. Содержание лейкоцитов в периферической крови лошадей

левого стресса благодаря повышению уровня лейкоцитов и усилению за счет этого иммунного ответа. Для поддержания динамического равновесия процессов, протекающих в организме в ответ на стрессорное воздействие, включаются защитные реакции, которые способствуют развитию адаптивного ответа (рис. 9).

Таким образом, воздействие болевого стресса вызвало ряд изменений в составе крови лошадей с сильно выраженным болевым синдромом, которые можно рассматривать как стресс-реакции организма в процессе адаптации.

Выводы

Точное распознавание и адекватная количественная оценка боли у лошадей необходимы для своевременной правильной диагностики и эффективного лечения заболеваний различной этиологии, а также для понимания причин развития различных форм нежелательного поведения (агрессия, непослушание и др.), которые затрудняют управление животными и могут привести к психологическим и физическим травмам как у самих животных, так и у людей, участвующих в уходе за ними и их эксплуатации. Поскольку боль имеет специфическую поведенческую модель, шкала боли, основанная на оценке мимики лошадей, приобретает широкую известность в сфере коневодства и конного спорта во всем мире, являясь достоверным чувствительным инструментом, позволяющим легко и с небольшими затратами времени проводить диагностику состояния животных [16].

В ходе проведенных исследований установлено, что интенсивность проявления болевого синдрома у лошадей обусловлена количеством выявленных у них заболеваний. У животных с ярко выраженным болевым синдромом выявлены изменения в константах гомеостаза, свидетельствующие о стресс-индуцированных реакциях организма на боль. Стрессорное воздействие боли вызывает сложный комплекс изменений, влияющих на активность многих систем организма, в том числе на морфо-функциональное состояние системы крови. У лошадей, демонстрирующих сильно выраженный болевой синдром по шкале боли Horse Grimace Scale, разработанной на основе оценки мимики животных, отмечены изменения в клеточном и биохимическом составе периферической крови, которые считаются общепринятыми индикаторами стрессового состояния. Установлено, что концентрация глюкозы у лошадей данной группы оказалась выше референтных значений. Прослеживается обратная связь между изменением ряда показателей красной крови животных: при снижении уровня эритроцитов, гемоглобина и значения гематокрита наблюдается повышение среднего объема эритроцитов и среднего корпускулярного гемоглобина. Также отмечены отличия и в составе белой крови лошадей: уровень лейкоцитов у них оказался выше по сравнению с значением данного показателя у животных других групп.

Выявленные отличия в составе крови лошадей с яркими мимическими проявлениями боли свидетельствуют о включении компенсаторных механизмов организма, направленных на повышение его резистентности к воздействию болевого стресса, который является широко распространенной патологией при эксплуатации животных данного вида. Благодаря аллостазу, процессу, который обеспечивает гомеостаз, путем регулирования внутренней среды и поддержания ее стабильности происходит адаптация организма животных к болевым факторам, являющимся сильными стрессорами. Тем не менее необходимо учитывать, что адаптивные ресурсы организма не безграничны, и может произойти аллостатическая перегрузка, то есть «износ» физиологических систем [3], а это крайне негативно отразится на физическом и психическом состоянии животного. В связи с этим внедрение в практику методики оценки боли Horse Grimace Scale даст возможность проводить раннюю диагностику заболеваний и травм у лошадей и позволит предотвратить развитие каскадного механизма включения патологических процессов в организме при действии болевого стресса. Любые повреждения тканей в результате травм или болезней, стимулируя нейроэндокринные реакции, приводят к снижению иммунитета, ускорению катаболических реакций, нарушениям в работе пищеварительной и сердечно-сосудистой систем. Таким образом, методика оценки боли Horse Grimace Scale является чувствительным инструментом для контроля уровня благополучия лошадей.

Библиографический список

1. Дерюгина А.В., Иващенко М.И., Игнатъев П.С., Таламанова М.Н., Петров В.А. Молекулярные нарушения мембран эритроцитов крупного рогатого скота при технологическом стрессе // *Advances in Science and Technology: Сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции*. – Москва: НИЦ Актуальность. РФ, 2019. – Ч. 1. – С. 5–6.
2. Рыбьянова Ж.С., Дерхо М.А. Особенности морфологии эритроцитов в организме телят в условиях техногенной провинции // *АПК России*. – 2017. – Т. 24, № 3. – С. 687–692.
3. Abdallah C.G., Geha P. Chronic Pain and Chronic Stress: Two Sides of the Same Coin? // *Chronic Stress*. – 2017. – № 1. – Pp. 1–10.
4. Bergamasco L., Coetzee J.F., Gehring R., Murray L., Song T., Mosher R.A. Effect of intravenous sodium salicylate administration prior to castration on plasma cortisol and electroencephalography parameters in calves // *J. Vet. Pharmacol. Ther.* – 2011. – № 34 (6). – Pp. 565–576.
5. Briggman K.L., Kristan W.B. Imaging dedicated and multifunctional neural circuits generating distinct behaviors // *J. Neurosci.* – 2006. – № 26 (42). – Pp. 10925–10933.
6. Carey J., Ariniello L., McComb M. Senses and perception // Wnuk A., Lindberg E., Beverly J.M., Richardson, editors. *Brain Facts a Primer on the Brain and Nervous System*. 5th ed., Ch. 2. Washington, DC, United States: Society for Neuroscience. – 2018. – 18–25.
7. Chapinal N., Passille A.M., Rushen J. et al. Automated methods for detecting lameness and measuring analgesia in dairy cattle // *J. Dairy Sci.* – 2010. – № 93. – Pp. 2007–2013.
8. Cohen M.J., Jangro W.C., Neff D. Pathophysiology of pain // Freedman M.K., Young G.W., Gehret J.A., Kamen L.B., editors. *Challenging Neuropathic Pain*. 4th ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. – 2018. – № 1–5.
9. Costa E.D., Minero M., Lebelt D., Stucke D., Canali E., Leach M.C. Development of the Horse Grimace Scale (HGS) as a Pain Assessment Tool in Horses Undergoing Routine Castration // *PLoS ONE*. – 2014. – № 9 (3). – e92281.
10. Costa E.D., Bracci D., Dai F., Lebelt D., Minero M. Do different emotional states affect the horse grimace scale score? A pilot study. *J. Equine Vet. Sci.* – 2017. – № 54 (7). – Pp. 114–117.
11. Dawkins M.S. Behavioural deprivation: A central problem in animal welfare // *Applied Animal Behaviour Science*. – 1988. – № 20 (3–4). – Pp. 209–225.
12. Derkho M. Erythrocytes and Their Transformations in the Organism of Cows // *Inter. Journal of Veterinary Science*. – 2019. – № 8 (2). – Pp. 61–66.
13. Descovich K.A., Wathan J., Leach M.C., Buchanan-Smith H.M., Flecknell P., Farningham D. and Vick S. – J. Facial expression: An under-utilized tool for the assessment of welfare in mammals // *ALTEX – Alternatives to animal experimentation*. – 2017. – № 34 (3). – Pp. 409–429.
14. Ekman P., Friesen W.V. Measuring facial movement // *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*. – 1976. – № 1 (1). – Pp. 56–75.
15. Gleerup K.B., Andersen P.H., Munksgaard L. et al. Pain evaluation in dairy cattle // *Applied Animal Behaviour Science*. – 2015. – № 171: 25–32.
16. Grauw J.C., J.P.A.M. van Loon Systematic pain assessment in horses // *Vet. J.* – 2016. – № 209. – Pp. 14–22.
17. Hansen B. Through a glass darkly: using behavior to assess pain // *Seminars in Veterinary Medicine and Surgery (Small Animal)*. – 1997. – 61–74.
18. Hernández-Avalos I., Mota-Rojas D., Mendoza-Flores J.E., Casas-Alvarado A., Flores-Padilla K., Miranda-Cortes A.E., Torres-Bernal F., Gómez-Prado J., Mora-Medina P. Nociceptive pain and anxiety in equines: Physiological and behavioral alterations // *Veterinary World*. – 2021. – № 14 (11). – Pp. 2984–2995.
19. Hernandez-Avalos I., Mota-Rojas D., Mora-Medina P., Martínez-Burnes J., Casas Alvarado A., Verduzco-Mendoza A., Lezama-García K., Olmos-Hernández A. Review of different methods used for clinical recognition and assessment of pain in dogs and cats // *Int. J. Vet. Sci. Med.* – 2019. № 7 (1). – Pp. 43–54.

20. Hudson C., H. Whay, J. Huxley Recognition and management of pain in cattle // Practice. – 2008. – 30:126.
21. Jessica M., Jeannine M., Berger, Andrea D., Ellis and Sue Dyson Development of an ethogram to describe facial expressions in ridden horses (FEReq) // Journal of Veterinary Behavior. – 2017. – № 18. – № 7–12.
22. Keating S.C., Thomas A.A., Flecknell P.A., Leach M.C. Evaluation of EMLA cream for preventing pain during tattooing of rabbits: changes in physiological, behavioural and facial expression responses // PloS one. – 2012. – № 7 (9): e44437.
23. Korb S., Grandjean D., Scherer K. Motor Commands of facial expressions: the Bereitschaftspotential of posed smiles // Brain Topogr. – 2008. – № 20 (4). – Pp. 232–238.
24. Langford D., Bailey A., Chanda M. et al. Coding of facial expressions of pain in the laboratory mouse // Nat Methods. – 2010. – № 7. – Pp. 447–449.
25. Leslie K.E., Petersson-Wolfe C.S. Assessment and management of pain in dairy cows with clinical mastitis // Vet. Clin. North Am. – Food Anim. Pract. – 2012. – № 28. – Pp. 289–305.
26. Lezama-García K., Orihuela A., Olmos-Hernández A., Reyes-Long S., Mota-Rojas D. Facial expressions and emotions in domestic animals // CAB Rev. – 2019. – № 14 (5). – Pp. 1–12.
27. Lizarraga I., Chambers J.P. Use of analgesic drugs for pain management in sheep // N.Z. Vet. J. – 2012. – № 60. – Pp. 87–94.
28. López Mejía D.I., Valdovinos de Yahya A., Méndez-Díaz M., Mendoza-Fernández V. El sistema límbico y las emociones: Empatía en humanos y primates // Psicol. Iberoam. – 2009. – № 17 (2). – Pp. 60–69.
29. McBride E. Anne and Montgomery, David J. Animal Welfare: A Contemporary Understanding Demands a Contemporary Approach to Behavior and Training // People and Animals: The International Journal of Research and Practice. – 2018. – № 1; 1 (4). – Pp. 1–16.
30. McLennan K.M. Why Pain Is Still a Welfare Issue for Farm Animals, and How Facial Expression Could Be the Answer // Agriculture. – 2018. – № 8 (8). – P. 127.
31. Mogil J.S. The Rat Grimace Scale: a partially automated method for quantifying pain in the laboratory rat via facial expressions // Mol Pain. – 2011. – № 7. – P. 55.
32. Mota-Rojas D., Orihuela A., Martínez-Burnes J. Neurological modulation of facial expressions in pigs and implications for production. J. // Anim. Behav. Biometeorol. – 2020. – № 8 (4). – Pp. 232–243.
33. Mota-Rojas D., Olmos-Hernández A., Verduzco-Mendoza A., Hernández E., Martínez-Burnes J., Whittaker A.L. The utility of grimace scales for practical pain assessment in laboratory animals // Animals. – 2020a. – № 10 (10). – 1838.
34. O'Callaghan K.A., Cripps P.J., Downham D.Y. et al. Subjective and objective assessment of pain and discomfort due to lameness in dairy cattle // Anim. Welf. – 2003. – № 12. – Pp. 605–610.
35. Radostits O.M., Gay C., Hinchcliff K.W. et al. A textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs and goats // Vet. Med. – 2007. – № 10. – Pp. 2045–2050.
36. Randall D.J., Warren W. Burggren, French K., Eckert R. Eckert animal physiology: mechanisms and adaptations. – W.H. Freeman; Fifth edition, 2002: 752.
37. Rashid M., Silventoinen A., Glerup K.B., Andersen P.H. Equine Facial Action Coding System for determination of pain-related facial responses in videos of horses // PLoS One. – 2020. – № 15 (11): e0231608.
38. Sandem A.I., Janczak A.M., Salte R. et al. The use of diazepam as a pharmacological validation of eye white as an indicator of emotional state in dairy cows // Appl. Anim. Behav. Sci. – 2006. – № 96. – Pp. 177–183.
39. Sandem B.O., Braastad K.E. Boe Eye white may indicate emotional state on a frustration–contentedness axis in dairy cows // Applied Animal Behaviour Science. – 2002. – № 79 (1). – Pp. 1–10.

40. Sanford J., Ewbank R., Molony V. et al. Guidelines for the recognition and assessment of pain in animals // Vet. Rec. – 1986. – № 118. – Pp. 334–338.
41. Short C.E. Pain in animals // Textb. Pain. – 1999. – № 4. – Pp. 1932–1944.
42. Steuer I., Guertin P.A. Central pattern generators in the brainstem and spinal cord: An overview of basic principles, similarities and differences // Rev. Neurosci. – 2019. – № 30 (2). – Pp. 107–164.
43. Taylor P.M., Pascoe P.J., Mama K.R. Diagnosing and treating pain in the horse // Vet. Clin. North Am. Equine Pract. – 2002. – № 18 (1). – Pp. 1–19.
44. Wagner A.E. Effects of stress on pain in horses and incorporating pain scales for equine practice // Vet Clin North Am Equine Pract. – 2010. – № 26 (3). – Pp. 481–92.
45. Wathan J., Burrows A.M., Waller B.M., McComb K. EquiFACS: the equine facial action coding system // PLoS One. – 2015. № 10: Article e0131738.
46. Weary D.M., Niel L., Flower F.C. et al. Identifying and preventing pain in animals // Appl. Anim. Behav. Sci. – 2006. – № 100. – Pp. 64–76.
47. Webster J.I., Tonelli L., Sternberg E.M. Neuroendocrine regulation of immunity // An. Rev. Immunol. – 2002. – № 20. – Pp. 125–163.
48. IASP Taxonomy: International Association for the Study of Pain, 2016. – URL: <http://www.iasp-pain.org/Education/Content.aspx?ItemNumber=1698>.

IMPACT OF PAIN STRESS ON THE ADAPTIVE CAPABILITIES OF THE BLOOD SYSTEM AND WELFARE OF HORSES

A.A. KSENOFONTOVA¹, O.A. VOINOVA¹, A.A. IVANOV¹, D.A. KSENOFONTOV¹

(¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The full genetic potential of productive animals can only be realised if high standards of welfare are maintained in production. One of the indicators of animal welfare is animal health, and one of the markers of various pathological processes is pain. Sports horse breeding is a specific concept in which the competent work of trainers and riders significantly effects on the health of animals, and therefore their performance, in addition to housing and feeding conditions. Timely diagnosis of pain is important for evaluating animal welfare, as pain can be considered as a predictor of various diseases. Using the standardized Horse Grimace Scale (HGS) pain scale, the population of sports horses of the equestrian sports complex of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy was evaluated for the presence and intensity of pain syndrome, followed by analysis of some blood parameters. A correlation has been established between the intensity of pain and the number of diseases previously diagnosed in animals. Pain, as a powerful stress factor, causes tension in almost all functional systems of the body, including the blood system. Horses with a severe pain syndrome showed changes in the cellular composition of peripheral blood, in particular, an increase in the level of leukocytes, a decrease in the content of erythrocytes and hemoglobin content therein, with a simultaneous increase in the mean erythrocyte volume and mean corpuscular haemoglobin, as well as an increase in glucose concentration. Such changes can be considered as adaptive mechanisms that make the animal body function normally under the effect of pain stress.

Key words: pain, horse, pain rating scale, welfare, stress, blood system, homeostasis.

References

1. Deryugina A.V., Ivashchenko M.I., Ignat'iev P.S., Talamanova M.N., Petrov V.A. Molekulyarnye narusheniya membran eritrotsitov krupnogo rogatogo skota pri tekhnologicheskom strese [Molecular disorders of erythrocyte membranes in cattle under technological

- stress]. Advances in Science and Technology: sb. st. XVIII mezhd. nauch.-prakt. konf. Moscow: NITS Aktual'nost'. RF. 2019; 1: 5–6. (In Rus.)
2. *Ryb'yanova Zh.S., Derkho M.A.* Osobennosti morfologii eritrotsitov v organizme telyat v usloviyakh tekhnogennoy provintsii [Features of the morphology of erythrocytes in the body of calves in a technogenic province]. *APK Rossii*. 2017; 24 (3): 687–692. (In Rus.)
 3. *Abdallah C.G., Geha P.* Chronic Pain and Chronic Stress: Two Sides of the Same Coin? *Chronic Stress*. 2017; 1: 1–10.
 4. *Bergamasco L., Coetzee J.F., Gehring R., Murray L., Song T., Mosher R.A.* Effect of intravenous sodium salicylate administration prior to castration on plasma cortisol and electroencephalography parameters in calves. *J. Vet. Pharmacol. Ther.* 2011; 34 (6): 565–576.
 5. *Briggsman K.L., Kristan W.B.* Imaging dedicated and multifunctional neural circuits generating distinct behaviors. *J. Neurosci.* 2006; 26 (42): 10925–10933.
 6. *Carey J., Ariniello L., McComb M.* Senses and perception. Ed. by Wnuk A, Lindberg E, Beverly J.M, Richardson. *Brain Facts a Primer on the Brain and Nervous System*. 5th ed. Ch. 2. Washington, DC, United States: Society for Neuroscience. 2018; 18–25.
 7. *Chapinal N., Passille A.M., Rushen J. et al.* Automated methods for detecting lameness and measuring analgesia in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2010; 93: 2007–2013.
 8. *Cohen M.J., Jangro W.C., Neff D.* Pathophysiology of pain. Ed. by Freedman M.K, Young G.W, Gehret J.A, Kamen L.B. *Challenging Neuropathic Pain*. 4th ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. 2018; 1–5.
 9. *Costa E.D., Minero M., Lebelt D., Stucke D., Canali E., Leach M.C.* Development of the Horse Grimace Scale (HGS) as a Pain Assessment Tool in Horses Undergoing Routine Castration. *PLoS ONE*. 2014; 9 (3): e92281.
 10. *Costa E.D., Bracci D., Dai F., Lebelt D., Minero M.* Do different emotional states affect the horse grimace scale score? A pilot study. *J. Equine Vet. Sci.* 2017; 54 (7): 114–117.
 11. *Dawkins M.S.* Behavioural deprivation: A central problem in animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*. 1988; 20 (3–4): 209–225.
 12. *Derkho M.* Erythrocytes and Their Transformations in the Organism of Cows. *Inter. Journal of Veterinary Science*. 2019; 8 (2): 61–66.
 13. *Descovich K.A., Wathan J., Leach M.C., Buchanan-Smith H.M., Flecknell P., Farningham D., Vick S. – J.* Facial expression: An under-utilized tool for the assessment of welfare in mammals. *ALTEX – Alternatives to animal experimentation*. 2017; 34 (3): 409–429.
 14. *Ekman P., Friesen W.V.* Measuring facial movement. *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*. 1976; 1 (1): 56–75.
 15. *Gleerup K.B., Andersen P.H., Munksgaard L. et al.* Pain evaluation in dairy cattle. *Applied Animal Behaviour Science*. 2015; 171: 25–32.
 16. *Grauw J.C., J.P.A.M. van Loon* Systematic pain assessment in horses. *Vet. J.* 2016; 209: 14–22.
 17. *Hansen B.* Through a glass darkly: using behavior to assess pain. *Seminars in Veterinary Medicine and Surgery (Small Animal)*. 1997: 61–74.
 18. *Hernández-Avalos I., Mota-Rojas D., Mendoza-Flores J.E., Casas-Alvarado A., Flores-Padilla K., Miranda-Cortes A.E., Torres-Bernal F., Gómez-Prado J., Mora-Medina P.* Nociceptive pain and anxiety in equines: Physiological and behavioral alterations. *Veterinary World*. 2021; 14 (11): 2984–2995.
 19. *Hernandez-Avalos I., Mota-Rojas D., Mora-Medina P., Martínez-Burnes J., Casas Alvarado A., Verduzco-Mendoza A., Lezama-García K., Olmos-Hernández A.* Review of different methods used for clinical recognition and assessment of pain in dogs and cats. *Int. J. Vet. Sci. Med.* 2019; 7 (1): 43–54.
 20. *Hudson C., Whay H., Huxley J.* Recognition and management of pain in cattle. *Practice*. 2008; 30: 126.

21. *Jessica M., Jeannine M. Berger, Andrea D., Ellis and Sue Dyson* Development of an ethogram to describe facial expressions in ridden horses (FEReq). *Journal of Veterinary Behavior*. 2017; 18: 7–12.
22. *Keating S.C., Thomas A.A., Flecknell P.A., Leach M.C.* Evaluation of EMLA cream for preventing pain during tattooing of rabbits: changes in physiological, behavioural and facial expression responses. *PloS one*. 2012; 7 (9): e44437.
23. *Korb S., Grandjean D., Scherer K.* Motor Commands of facial expressions: the bereitschaftspotential of posed smiles. *Brain Topogr.* 2008; 20 (4): 232–238.
24. *Langford D., Bailey A., Chanda M. et al.* Coding of facial expressions of pain in the laboratory mouse. *Nat Methods*. 2010; 7: 447–449.
25. *Leslie K.E., Petersson-Wolfe C.S.* Assessment and management of pain in dairy cows with clinical mastitis. *Vet. Clin. North Am. – Food Anim. Pract.* 2012; 28: 289–305.
26. *Lezama-García K, Orihuela A, Olmos-Hernández A, Reyes-Long S, Mota-Rojas D.* Facial expressions and emotions in domestic animals. *CAB Rev*. 2019; 14 (5): 1–12.
27. *Lizarraga I., Chambers J.P.* Use of analgesic drugs for pain management in sheep. *N.Z. Vet. J.* 2012; 60: 87–94.
28. *López Mejía D.I, Valdovinos de Yahya A, Méndez-Díaz M, Mendoza-Fernández V.* El sistema límbico y las emociones: Empatía en humanos y primates. *Psicol. Iberoam.* 2009; 17 (2): 60–69.
29. *McBride E. Anne, Montgomery David J.* Animal Welfare: A Contemporary Understanding Demands a Contemporary Approach to Behavior and Training. *People and Animals: The International Journal of Research and Practice*. 2018; 1; 1 (4): 1–16.
30. *McLennan K.M.* Why Pain Is Still a Welfare Issue for Farm Animals, and How Facial Expression Could Be the Answer. *Agriculture*. 2018; 8 (8): 127.
31. *Mogil J.S.* The Rat Grimace Scale: a partially automated method for quantifying pain in the laboratory rat via facial expressions. *Mol Pain*. 2011; 7: 55.
32. *Mota-Rojas D, Orihuela A, Martínez-Burnes J.* Neurological modulation of facial expressions in pigs and implications for production. *Anim. Behav. Biometeorol.* 2020; 8 (4): 232–243.
33. *Mota-Rojas D., Olmos-Hernández A., Verduzco-Mendoza A., Hernández E., Martínez-Burnes J., Whittaker A.L.* The utility of grimace scales for practical pain assessment in laboratory animals. *Animals*. 2020a; 10 (10): 1838.
34. *O'Callaghan K.A., Cripps P.J., Downham D.Y. et al.* Subjective and objective assessment of pain and discomfort due to lameness in dairy cattle. *Anim. Welf.* 2003; 12: 605–610.
35. *Radostits O.M., Gay C., Hinchcliff K.W. et al.* A textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs and goats. *Vet. Med.* 2007; 10: 2045–2050.
36. *Randall D.J, Warren Burggren, French K., Randall D.* Eckert animal physiology: mechanisms and adaptations. W.H. Freeman; Fifth edition, 2002: 752.
37. *Rashid M, Silventoinen A, Gleerup K.B, Andersen P.H.* Equine Facial Action Coding System for determination of pain-related facial responses in videos of horses. *PLoS One*. 2020; 15 (11): e0231608.
38. *Sandem A.I., Janczak A.M., Salte R. et al.* The use of diazepam as a pharmacological validation of eye white as an indicator of emotional state in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 2006; 96: 177–183.
39. *Sandem B.O., Braastad K.E.* Boe Eye white may indicate emotional state on a frustration–contentedness axis in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*. 2002; 79 (1): 1–10.
40. *Sanford J., Ewbank R., Molony V. et al.* Guidelines for the recognition and assessment of pain in animals. *Vet. Rec.* 1986; 118: 334–338.
41. *Short C.E.* Pain in animals. *Textb. Pain*. 1999; 4: 1932–1944.

42. *Steuer I., Guertin P.A.* Central pattern generators in the brainstem and spinal cord: An overview of basic principles, similarities and differences. *Rev. Neurosci.* 2019; 30 (2): 107–164.
43. *Taylor P.M., Pascoe P.J., Mama K.R.* Diagnosing and treating pain in the horse. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 2002; 18 (1): 1–19.
44. *Wagner A.E.* Effects of stress on pain in horses and incorporating pain scales for equine practice. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2010; 26 (3): 481–92.
45. *Wathan J., Burrows A.M., Waller B.M., McComb K.* EquiFACS: the equine facial action coding system. *PLoS One.* 2015; 10: e0131738.
46. *Weary D.M., Niel L., Flower F.C. et al.* Identifying and preventing pain in animals. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 2006; 100: 64–76.
47. *Webster J.I., Tonelli L., Sternberg E.M.* Neuroendocrine regulation of immunity. *An. Rev. Immunol.* 2002; 20: 125–163.
48. IASP Taxonomy: International Association for the Study of Pain; 2016. URL: [tp://www.iasp-pain.org/Education/Content.aspx?ItemNumber=1698](http://www.iasp-pain.org/Education/Content.aspx?ItemNumber=1698)

Ксенофонтова Анжелика Александровн, канд. биол. наук, доцент кафедры физиологии, этологии и биохимии животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–37–38; e-mail: tmetre@rgau-msha.ru)

Войнова Ольга Александровна, канд. биол. наук, доцент кафедры физиологии, этологии и биохимии животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–37–38; e-mail: Olga_v.o.a@mail.ru)

Иванов Алексей Алексеевич, д-р биол. наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии, этологии и биохимии животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–39–19; e-mail: ayvanov@rgau-msha.ru)

Ксенофонтон Дмитрий Анатольевич, д-р биол. наук, доцент кафедры физиологии, этологии и биохимии животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–37–38; e-mail: smu@rgau-msha.ru)

Anzhelika A. Ksenofontova, PhD (Bio), Associate Professor of the Department of Physiology, Ethology and Biochemistry of Animals, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–37–38; E-mail: tmetre@rgau-msha.ru)

Ol'ga A. Voinova, PhD (Bio), Associate Professor of the Department of Physiology, Ethology and Biochemistry of Animals, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–37–38; E-mail: Olga_v.o.a@mail.ru)

Aleksey A. Ivanov, DSc (Bio), Professor, Head of Department of Physiology, Ethology and Biochemistry of Animals Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Moscow, Timiryazevskaya st., 49; tel.: (499) 976–39–19; e-mail: ayvanov@rgau-msha.ru)

Dmitriy A. Ksenofontov, DSc (Bio), Associate Professor of the Department of Physiology, Ethology and Biochemistry of Animals, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–37–38; E-mail: smu@rgau-msha.ru)

ВЫЯВЛЕНИЕ БАРЬЕРОВ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АГРАРНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д.В. ЗАПОРОЖЕЦ

(Ставропольский государственный аграрный университет)

Глобальные трансформации мировой экономики перед наукой и практикой ставят новые задачи. Экономическая нестабильность, высокая динамика изменения внешней среды подталкивают экономику на инновационный путь ее развития, поскольку внедрение инноваций на практике становится практически единственным источником устойчивого конкурентного преимущества существования любой экономической системы. Проведенный анализ указал на наличие весьма значимых факторов, затрудняющих инновационное развитие, – как экономических систем, так и отдельных ее подсистем. Предложен авторский подход к разработке классификации существующих барьеров инновационного развития аграрных экономических систем, основанный на применении системного подхода и анализа больших данных. В процессе исследований применялись методы логического, семантического анализа, анализ «больших» данных и визуализация аналитических данных.

Ключевые слова: инновации, барьеры инновационного развития, аграрные экономические системы.

Введение

В современных реалиях инновационная деятельность стала одной из важнейших составляющих процессов развития любых социально-экономических систем [4]. В условиях глобальной экономической нестабильности и сверхдинамизма внешней среды внедрение достижений НТП и инноваций на практике становится практически единственным источником устойчивого конкурентного преимущества существования любой экономической системы. Пандемия COVID-19 лишь обострила данное обстоятельство, и сегодня наряду с огромным количеством закрываемых предприятий мы наблюдаем небывалый успех тех хозяйствующих субъектов, которые не только немедленно реагируют на требования рынка, но и непрерывно используют в своей текущей деятельности инновации. Данные обстоятельства позволяют говорить о происходящих структурных изменениях в экономике. Следовательно, чтобы обеспечить выживаемость бизнеса, снизить риск деградации, обеспечить устойчивость получения прибыли и соответственно развитие бизнес-структур, назрела острая необходимость широкого применения инновационных изменений как на микро-, так и макроуровнях.

Сегодняшние кризисные явления лишь в очередной раз подтвердили аксиому: современный мир – это глобальная экономика, в которой страны постоянно находятся в поиске международных партнерских взаимоотношений.

В рамках исследований нами проанализирован (Global Innovation Index 2021) рейтинг, отражающий эффективность функционирования и развития инновационной

экосистемы в рассматриваемых странах. В соответствии с методикой его проведения оценка проводится порядка по 80 показателям инновационного развития, что позволяет разносторонне рассмотреть сложившуюся картину, оценить тренды, сильные и слабые стороны в различных регионах.

Согласно последней проведенной оценке [6] Российская Федерация в настоящее время занимает 45 место и находится ниже таких стран, как Хорватия, Таиланд, Вьетнам (42, 43 и 44 места соответственно), и выше, чем Индия, Греция и Румыния (46, 47 и 48 места в Gii 2021). Следует отметить позитивный тренд, заключающийся в том, что по сравнению в предыдущей оценкой мы оказались на две позиции выше. Безусловно, к методике ее проведения можно найти целый ряд вопросов. 45 позиция из 132 исследуемых стран не может не отражать влияние политических факторов, тем не менее данный факт указывает на наличие в РФ ряда барьеров, препятствующих инновационному развитию экономики страны в целом, и отдельных ее подсистем в виде различных отраслей народного хозяйства – в частности.

Спектр факторов, влияющих на развитие инновационных процессов как в положительном, так и в отрицательном ракурсах, достаточно широк. Барьерам инновационного развития социально-экономических систем посвящен целый ряд научных работ – как российских, так и зарубежных авторов, однако наблюдается существенное различие в их подходах. Так, коллектив испанских исследователей в качестве основных препятствий, с которыми сталкиваются представители малого и среднего бизнеса, выделил отсутствие знаний рынка, весомые риски, трудности доступа к ресурсам, высокую стоимость инноваций, а также нехватку квалифицированной рабочей силы [1]. К. Серадзка, например, в качестве барьеров инновационного развития выделяет государственную политику, рыночные и финансовые ограничения, персонал, оснащение, географию местоположения компании, информационные барьеры [3]. О. Саатчиоглу и О. Озмен выделили 4 группы факторов:

- экономические факторы (недостаток внутренних и внешних ресурсов компании, высокие затраты на внедрение инноваций);
- факторы знаний, информационные барьеры (нехватка квалифицированной рабочей силы, недостаток информации об имеющихся технологиях, недостаток информации о перспективных рынках, поиск новых партнеров);
- рыночные факторы (доминирование крупных корпорации, неопределенность спроса на инновационные продукты и услуги);
- причина того, почему компания не внедряет инновации (компания внедрила необходимые инновации, отсутствие спроса на инновационные продукты и услуги) [2].

Следует отметить тот факт, что вышеприведенные зарубежные авторы несмотря на то, что анализировали различные регионы, в целом выделили достаточно однородные группы проблем – такие, как высокая стоимость и возможное отсутствие спроса на инновационные продукты, а также низкий уровень квалификации персонала.

Российские ученые уделили внимание также изучению барьеров инновационного развития. Так, К.А. Кафян и Е.Е. Шидакова выделяют всего 4 основных препятствия: внутренние проблемы крупного бизнеса; препятствия со стороны рынков; барьеры для инновационного развития поставщиков; барьеры, связанные с регулированием и государственной поддержкой [9].

Наряду с отмечаемыми иностранными учеными факторами многие российские авторы выделили институциональные барьеры инновационного развития. Так, О.С. Кашаев в своей статье «Институциональные барьеры современного инновационного развития России» выделил институциональные барьеры, возникающие на различных стадиях жизненного цикла инноваций [10].

Л.А. Горбач выделяет слабую институциональную поддержку инновационной деятельности и считает ее одним из доминирующих барьеров на пути инновационного развития отечественной экономики [7]. Л.И. Макаева указала на недостаточный уровень подготовки и образования работников предприятий и в качестве ключевого барьера инновационного развития выделила человеческий капитал [11]. В.А. Власичева в качестве основных определила неформальные институциональные барьеры инновационного развития экономики нашей страны [5]. Безусловно, тип возникающих барьеров находится в серьезной зависимости и взаимосвязи от уровня (национальный, мезо-, микро-) субъекта инновационной деятельности, отраслевой специфики предприятия, особенностей территориального размещения бизнес-структур, отрасли и специализации хозяйствующего субъекта в каждом конкретном случае.

Несмотря на наличие научных работ, посвященных исследованию проблематики имеющих ограничения инновационного развития социально-экономических систем, нам не удалось обнаружить достаточно полную, на наш взгляд, их классификацию, и тем более классификацию, отражающую конкретную отраслевую специфику. Исследования позволили сгруппировать выявленные барьеры инновационного развития применительно к отрасли наших исследований – АПК.

Материал и методика исследований

В качестве основы для проведенных исследований использованы данные сети Интернет, наукометрические базы цитирования Elibrary, Scopus. В работе использованы инструменты системного анализа, семантический анализ и контент-анализ. Для обработки и визуализации результатов исследований использовано открытое программное обеспечение «Gephi».

Результаты и их обсуждение

По нашему мнению, следует выделять две основные группы барьеров: факторы внешней и внутренней среды хозяйствующего субъекта.

К внешним ограничениям следует отнести макроэкономическое воздействие, господдержку и госрегулирование, высокую степень риска внедрения инноваций в производство, а также отраслевую специфику аграрного бизнеса. Внутренние барьеры инновационного развития – это система менеджмента сельскохозяйственного предприятия, финансовые возможности организации, ее персонал и особенности организации производственного процесса хозяйствующего субъекта (рис. 1).

К сожалению, классическая методика проведения теоретических исследований не позволяет проанализировать весь имеющийся массив научных публикаций, посвященных той или иной проблематике. Поэтому следующим этапом анализа стали сплошная выборка и анализ статей из наукометрической базы цитирования Scopus. Нами осуществлен поиск публикаций, содержащих семантическое поле «Барьеры инновационного развития». Всего на 26 апреля 2022 г. было найдено 3487 публикаций за период 1972–2022 гг. Безусловно, выгрузка, обработка и анализ такого объема информации традиционными способами потребуют весьма значительных временных затрат, тем более одним специалистом, и практически не представляется возможным.

Таким образом, для проведения дальнейшего детального исследования считаем необходимым применение методики и инструментария big-data анализа [5, 8, 12, 14]. Основной характеристикой их применения является наличие таких объемов информации, которые превышают типичные возможности хранения, обработки и вычисления привычными методами проведения научных исследований, с целью их последующего применения в конкретной предметной области.

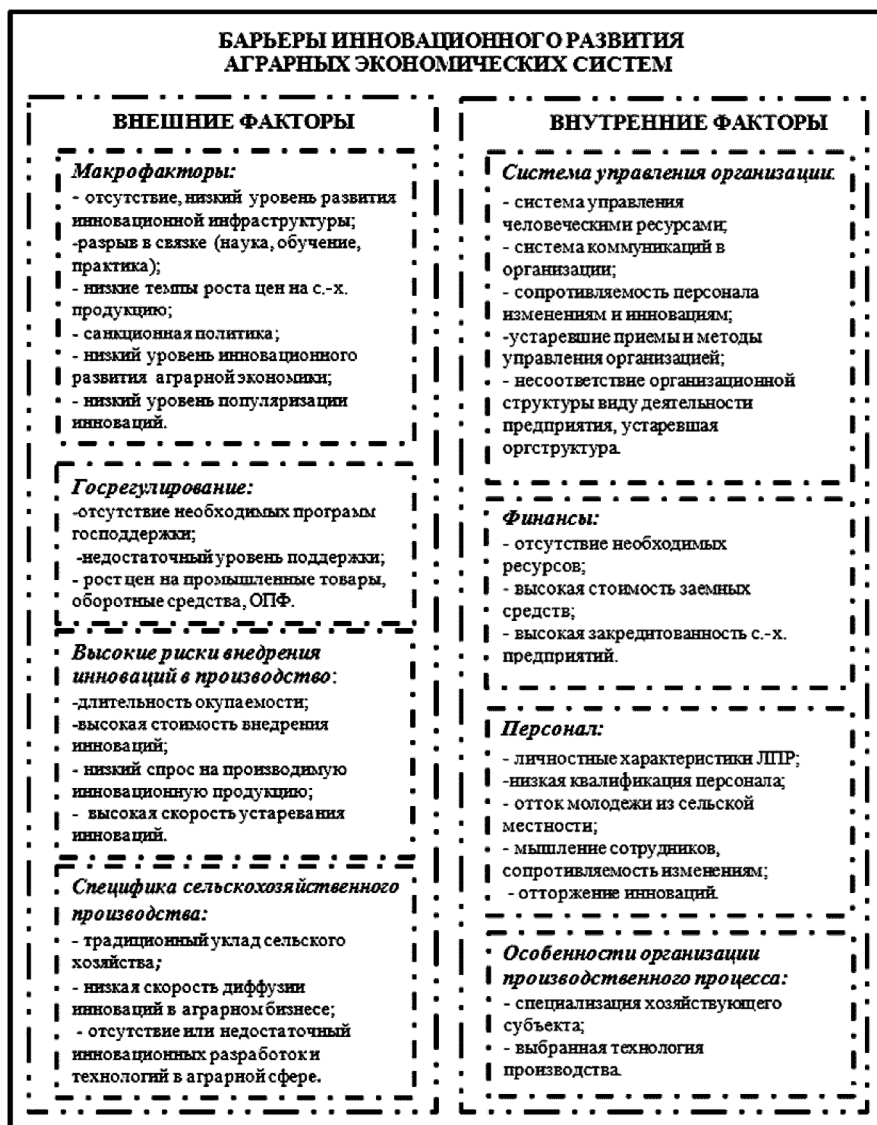


Рис. 1. Барьеры инновационного развития аграрных экономических систем (составлено автором по результатам исследований)

В качестве инструмента визуализации исследований был использован программный продукт «Gerhi», являющийся средством визуализации семантических представлений анализируемых больших данных и позволяющий из массивного текстового корпуса в качестве входных данных строить синтаксическое дерево из взаимосвязанных смысловых векторов слов в качестве выходных данных. Дерево взаимосвязей, полученное в результате обработки 3487 публикаций из базы цитирования Scopus, содержащее категорию «Барьеры инновационного развития» в заголовке и ключевых словах научных трудов, представлено на рисунке 2.

Визуально заметно, что обработанный массив данных полученный в результате семантического анализа состоит из двух кластеров: центрального и периферийного. К центральному кластеру относятся такие категории, как «Инновация», «Технологии», «Развитие», «Политика», «Менеджмент», «Знания», организационные категории.

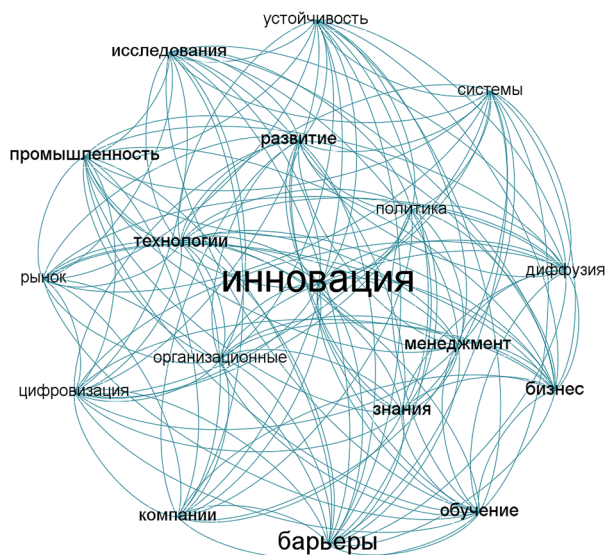


Рис. 2. Визуализация аналитических данных 3487 публикаций из базы цитирования Scopus за 1972–2022 гг., семантического поля «Барьеры инновационного развития», 26 апреля 2022 г. (составлено автором по результатам исследований)

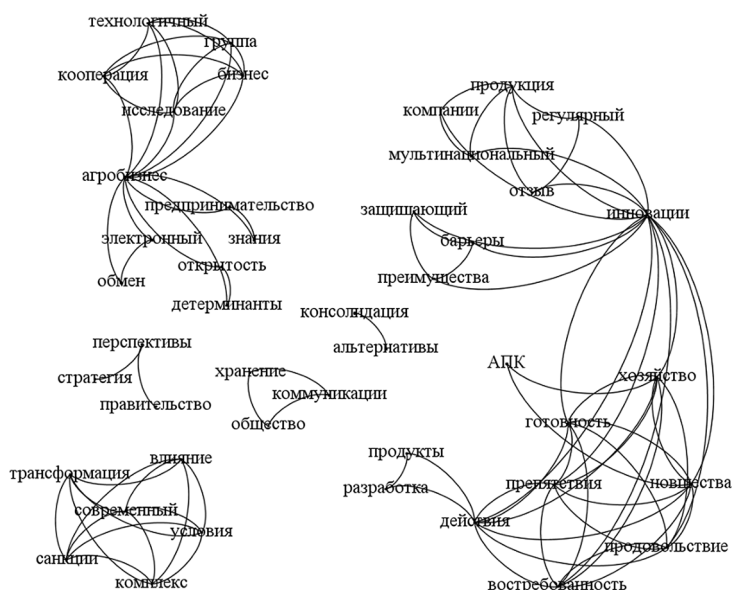


Рис. 3. Визуализация аналитических данных 17 публикаций из базы цитирования Scopus за 1997–2021 гг., семантического поля «Барьеры инновационного развития агробизнеса», 23 мая 2022 г. (составлено автором по результатам исследований)

Удаленные категории указывают на меньшее число взаимосвязей выявленных категорий и соответственно на меньшее количество научных разработок, исследующих проблемное поле «Барьеры инновационного развития». Это может свидетельствовать о потенциальном интересе ученых для проведения последующих исследований в данной предметной области.

В периферийный кластер вошли следующие такие категории, как «Исследования», «Устойчивость», «Системы», «Диффузия», «Бизнес», «Обучение», «Барьеры», «Компании», «Цифровизация», «Рынок», «Промышленность».

Далее, в рамках проводимых исследований, нами был осуществлен контент-анализ семантического поля «Барьеры инновационного развития агробизнеса», содержащегося в заголовках статей базы цитирования Scopus. Всего по состоянию на 23 мая 2022 г. выявлено 17 научных трудов, опубликованных в период с 1997 по 2022 гг. и содержащих искомую категорию, против 3487 публикаций, содержащих категорию «Барьеры инновационного развития». Это напрямую указывает на недостаточное количество имеющихся научных разработок, посвященных поиску и решению проблем и ограничений активного внедрения нововведений именно в аграрной сфере экономики.

Полученное синтаксическое дерево можно подразделить на 6 кластеров, а выявленные разрывы являются косвенным свидетельством наличия не только «белых пятен» в научных исследованиях, но и отсутствия системности в инновационной деятельности в АПК, в том числе за счет непреодолимости некоторых барьеров.

Следует отметить, что большинство дефиниций из сформированных путем проведения семантического анализа синтаксических деревьев так или иначе (учитывая разницу в переводах) присутствует и в ранее приведенной (рис. 1) авторской классификации. В свою очередь, это подтверждает логику и правильность сделанных выводов и служит своего рода обоснованием их правильности и верификацией проводимого исследования.

Выводы

Проведенный в исследованиях анализ указал на достаточно широкий спектр имеющихся барьеров инновационного развития. Однако несмотря на наличие работ, посвященных данной проблематике, отсутствуют, на наш взгляд, единые подходы к классификации факторов, затрудняющих инновационное развитие как на мезо-, макроуровне, так, и конкретных бизнес-единиц.

Предложен авторский подход к разработке классификации существующих барьеров инновационного развития аграрных экономических систем, с применением инструментария системного подхода и анализа «больших данных», позволяющий не только отражать достаточно полную картину исследуемой области, но и выявлять перспективные направления для последующих исследований. В свою очередь, они могут быть взяты за основу при разработке программ инновационного развития хозяйствующих субъектов различного уровня.

Различные по своему уровню и характеру барьеры инновационного развития социально-экономических систем по-разному воспринимаются субъектами и влияют на внедрение в практической деятельности нововведений. Нами выделены две основные их группы, хотя порой граница между ними является весьма условной (внешние и внутренние), и, по нашему глубокому убеждению, негативное влияние и значимость внешних факторов гораздо сильнее и воздействуют на конкретный хозяйствующий субъект. За основу оценки степени их негативного воздействия вполне можно взять принцип Вильфредо Парето (правило 80/20), и соответственно решение выявленных проблем на макроуровне позволит предприятиям повысить уровень своей инновационной активности [13].

Указанное обстоятельство никоим образом не снимает ответственности с лиц, принимающих решения на местах, которым необходимо менять свое мышление на инновационное, поскольку именно менеджер должен выступать в качестве катализатора изменений в организации, а в сложившихся условиях отсутствие стратегических инновационных изменений в деятельности хозяйствующих субъектов может привести не только к риску дамнификации, но и к их гибели.

Библиографический список

1. *Gargallo-Castel A., Esteban-Salvador L. & Pérez-Sanz J.* Barriers to innovation in Spanish rural small and medium-sized enterprises // *Organizational Studies and Innovation Review*. – 2017. – № 3 (3). – Pp. 55–64.
2. *Saatcioglu O. & Ozmen O.* Analysis of barriers arising in the innovation process through interpretive structural modeling: data from Turkey *Yonetim Ve Ekonomi*. – 2010. – № 17 (2). – 207–225.
3. *Sieradzka K.* Barriers to innovation of Polish small and medium-sized enterprises // *Przedsiębiorstwo i Region*. – 2014 – № 6. – Pp. 88–96.
4. *Байдаков А.Н., Запорожец Д.В.* Системная закономерность инновационного развития экономических систем // *Экономика и управление: проблемы, решения*. – 2019. – Т. 1, № 7. – С. 3–10.
5. *Власичева В.А.* Неформальные институциональные барьеры инновационного развития // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2011. – № 23. – С. 205–210.

6. Глобальный инновационный индекс. – [Электронный ресурс]. – URL: https://www.wipo.int/global_innovation_index/ru/ (дата обращения: 02.05.2022).
7. Горбач Л.А. Институциональные барьеры инновационного развития в России // Актуальные вопросы экономической безопасности: Сборник научных трудов I Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2018. – С. 89–93.
8. Задорожная Р.П. Big data – новый информационный феномен цифровой эпохи // Экономика и управление АПК. – 2016. – Т. 1, № 126. – С. 64–72.
9. Кафян К.А., Шидакова Е.Е. Текущее состояние инновационного развития России и барьеры на пути развития // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития: Сборник материалов XXXII Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 38–45.
10. Кашаев О.С. Институциональные барьеры современного инновационного развития России // Вестник Финансового университета. – 2012. – № 3 (69). – С. 77–86.
11. Макаева Л.И. Институциональные барьеры инновационного развития: сущность и виды // Российский экономический вестник. – 2020. – Т. 3, № 1.
12. Мартыщенко Д.О. Data warehouse и проблема «больших данных» (big data) // Лучшая исследовательская работа-2022 // Сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса. – Пенза, 2022. – С. 59–61.
13. Попов В.Н., Касьянов В.С., Савченко И.П. Системный анализ в менеджменте: Учебное пособие / Под ред. д-ра экон. наук, проф. В.Н. Попова. – М.: КНОРУС, 2007. – 304 с.
14. Шаталова В.В., Лихачевский Д.В., Казак Т.В. Большие данные: как технологии big data меняют нашу жизнь // Big Data and Advanced Analytics. – 2021. – № 7–1. – С. 188–192.

IDENTIFICATION OF BARRIERS TO INNOVATIVE DEVELOPMENT OF AGRARIAN ECONOMIC SYSTEMS

D.V. ZAPOROZHETS

(Stavropol State Agrarian University)

Global transformations of world economy pose new challenges to the science and practice, economic instability, high dynamics of changes of the external environment, push the economy to an innovative way of its development as introduction of innovations in practice becomes practically a unique source of sustainable competitive advantage of existence of any economic system. The analysis carried out in the work indicated the presence of very significant factors impeding innovation development of both economic systems and its individual subsystems. The article proposes the author's approach to the development of classification of existing barriers to innovative development of agrarian economic systems based on application of systematic approach and big data analysis. In the course of the research, methods of logical, semantic analysis, big data analysis and visualization of analytical data were used.

Key words: *innovations, barriers to innovation development, agricultural economic systems.*

References

1. Gargallo-Castel A., Esteban-Salvador L., & Pérez-Sanz J. Barriers to innovation in Spanish rural small and medium-sized enterprises. *Organizational Studies and Innovation Review*. 2017; 3 (3); 55–64.
2. Saatcioglu O., Ozmen O. Analysis of barriers arising in the innovation process through interpretive structural modeling: data from Turkey *Yonetim Ve Ekonomi*. 2010; 17 (2): 207–225.

3. *Sieradzka K.* Barriers to innovation of Polish small and medium-sized enterprises. *Przedsiębiorstwo i Region*. 2014; 6: 88–96.
4. *Baydakov A.N., Zaporozhets D.V.* Sistemnaya zakonomernost' innovatsionnogo razvitiya ekonomicheskikh system [System regularity of innovative development of economic systems]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2019; 1 (7): S. 3–10. (In Rus.)
5. *Vlasicheva V.A.* Neformal'nye institutsional'nye bar'ery innovatsionnogo razvitiya [Informal institutional barriers of innovative development]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2011; 23: 205–210. (In Rus.)
6. Global'niy innovatsionniy indeks [Global Innovation Index]. [Electronic source]. URL: https://www.wipo.int/global_innovation_index/ru/ (Access date: 02.05.2022) (In Rus.)
7. *Gorbach L.A.* Institutsional'nye bar'ery innovatsionnogo razvitiya v Rossii [Institutional barriers to innovative development in Russia]. *Aktual'nye voprosy ekonomicheskoy bezopasnosti. Sbornik nauchnykh trudov I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. 2018: 89–93. (In Rus.)
8. *Zadorozhnaya R.P.* Big data – noviy informatsionniy fenomen tsifrovoy epokhi [Big data – a new information phenomenon of the digital era]. *Ekonomika i upravlenie APK*. 2016; 1 (126): 64–72. (In Rus.)
9. *Kafyan K.A., Shidakova E.E.* Tekushchee sostoyanie innovatsionnogo razvitiya Rossii i bar'yry na puti [Current state of Russia's innovative development and barriers to development]. *Ekonomika i upravlenie: analiz tendentsiy i perspektiv razvitiya. Sbornik materialov XXXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2017: 38–45. (In Rus.)
10. *Kashaev O.S.* Institutsional'nye bar'ery sovremennogo innovatsionnogo razvitiya Rossii [Institutional barriers of modern innovative development of Russia]. *Vestnik Finansovogo universiteta*. 2012; 3 (69): 77–86. (In Rus.)
11. *Makaeva L.I.* Institutsional'nye bar'ery innovatsionnogo razvitiya: sushchnost' i vidy [Institutional barriers to innovative development: essence and types]. *Rossiyskiy ekonomicheskii vestnik*. 2020; 3 (1). (In Rus.)
12. *Martyshchenko D.O.* Data warehouse i problema “bol'shikh dannykh” (big data) [Data warehouse and the problem of “big data”]. *Luchshaya issledovatel'skaya rabota 2022. Sbornik statey III Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa*. Penza. 2022: 59–61. (In Rus.)
13. *Popov V.N., Kas'yanov V.S., Savchenko I.P.* Sistemniy analiz v menedzhmente: uchebnoe posobie [System analysis in management: textbook]. Ed. by DSc (Econ), Prof. V.N. Popov. M.: KNORUS, 2007: 304. (In Rus.)
14. *Shatalova V.V., Likhachevskiy D.V., Kazak T.V.* Bol'shie dannye: kak tekhnologii big data menyayut nashu zhizn' [Big data: how big data technologies are changing our lives]. *Big Data and Advanced Analytics*. 2021; 7–1: 188–192. (In Rus.)

Запорожец Дмитрий Васильевич, доцент кафедры менеджмента и управленческих технологий, канд. экон. наук, доцент, Ставропольский государственный аграрный университет (355000, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12; тел.: (918) 777–01–01; e-mail: dz44@yandex.ru)

Dmitriy V. Zaporozhets, PhD (Econ), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management and Management Technologies, Stavropol State Agrarian University (12 Zootekhnicheskii Lane, Stavropol, 355017, Russian Federation; phone: (918) 777–01–01; E-mail: dz44@yandex.ru)

К 85-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ЗАСЛУЖЕННОГО АГРОНОМА
ВЛАДИМИРА ИВАНОВИЧА СУСОВА

А.В. ЗУБКОВ, В.М. ИНДОЛОВ, М.В. ТИССЕН

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

Статья посвящена 85-летию юбилею со дня рождения и памяти заслуженного агронома, кандидата сельскохозяйственных наук Владимира Ивановича Сусова. Описан его вклад в развитие агротехнических мероприятий возделывания традиционных для средней полосы европейской части России яблони, груши, вишни, сливы и малораспространенных культур: абрикоса, айвы обыкновенной, персика, ореха грецкого и многих других ценных культур.

Ключевые слова: В.И. Сусов, биография, научная деятельность, садоводство, плододоводство, яблоня, штамбообразователь.



25 мая 1937 г. исполнилось 85 лет со дня рождения заслуженного агронома, кандидата сельскохозяйственных наук Владимира Ивановича Сусова – талантливого ученого и замечательного руководителя.

В.И. Сусов родился в городе-герое Москве. В годы Великой Отечественной войны, с 1941 по 1945 гг., он проживал на родине своих родителей в Луховицком районе Московской области, где испытал все трудности войны: голод, потерю родных и близких.

С шестилетнего возраста Владимир Сусов обучался у большого мастера по плододоводству Ивана Ивановича Булычева важным агротехническим приемам садоводства: обрезке и прививке. С 1946 по 1955 гг., во время каникул, Владимир работал в колхозе имени М.И. Калинина в деревне Курово и выполнял основные, порой весьма тяжелые сельскохозяйственные работы: уход за садом, сбор урожая, заготовка сена.

С учетом непреодолимой тяги к плодовым растениям выбор в дальнейшем обучении был очевидным: Владимир Сусов поступил на плодоовощной факультет Московской ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева (ТСХА). Здесь он проходил обучение с 1955 по 1962 гг. Владимир Иванович всегда очень дорожил Тимирязевкой и гордился тем, что обучался именно в ней.

Большой практический опыт в сфере плододоводства В.И. Сусов приобрел сначала в плодовом питомнике Плавского лесхоза Тульской области, работая техникум-технологом, затем – в плододопитомническом совхозе «Память Ильича» Пушкинского района Московской области в должности старшего агронома [7].

В период работы по специальности на производстве у Владимира Ивановича возникло желание расширить свои знания в биологии плодовых растений, и в 1968 г. он поступил в аспирантуру на кафедру плодоводства ТСХА. Здесь в 1971 г. он защитил кандидатскую диссертацию по теме «Повышение зимостойкости и урожайности яблони в культуре на штамбо и скелетообразователях». Тема повышения зимостойкости плодовых деревьев стала основной в научных исследованиях Владимира Ивановича Сусова на долгие годы.

Научные труды В.И. Сусова широко известны среди садоводов средней полосы России. На протяжении всей своей сознательной жизни он уделял большое внимание активному продвижению садоводства в северные регионы России и определяющую роль в продвижении садов отводил методам и приемам повышения их зимостойкости. Его научные работы отличались изобретательностью и неизменной направленностью на решение важных задач, актуальных для северного садоводства. Особенность научной деятельности В.И. Сусова заключалась в решении проблем, имеющих важное прикладное значение, получении результатов, пригодных для использования в практическом садоводстве.

Проведенные В.И. Сусовым исследования, предложенные и разработанные им оригинальные приемы и способы повышения зимостойкости и урожайности плодовых деревьев активно применяются в садоводстве средней полосы России. Особенно полюбили садоводы-любители агротехнические приемы повышения зимостойкости семечковых (яблони, груши) и косточковых (вишни, черешни, сливы) культур. Благодаря использованию высокзимостойких, с высокой пластичностью штамбообразователей и скелетообразователей, рекомендованных Владимиром Ивановичем Сусовым, стало возможным выращивание требовательных к теплообеспеченности сортов груши и зимних сортов яблони в местах, где ранее плодоводство было абсолютно бесперспективным.

Именем В.И. Сусова названа улица в деревне Мешено Ржевского района Тверской области в знак благодарности и глубокого уважения к нему. Приняв во внимание советы ученого, жители создали и успешно выращивают плодовые деревья в местах, ранее считавшихся непригодными для этого.

Весьма значительна и многообразна научно-организационная деятельность В.И. Сусова. Она плодотворно осуществлялась им в научном подразделении плодоовощного факультета Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Им создана большая научная школа, среди нескольких поколений его учеников и последователей – высококлассные специалисты в сфере садоводства и известные ученые. Как талантливый ученый, организатор и незаурядный человек, Владимир Иванович Сусов пользовался высоким авторитетом в области садоводства.

В.И. Сусов является одним из основателей и руководителей Мичуринского сада лаборатории плодоводства (в настоящее время – отдел плодовых культур (Мичуринский сад) УНПЦ садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна), известного учебного и научного центра. Его научная тематика формировалась под влиянием обширных научных интересов В.И. Сусова в сфере садоводства.

Большое внимание Владимир Иванович уделял преемственности научных школ. С особым уважением он вспоминал ученых с мировым именем: академика Виталия Ивановича Эдельштейна и заслуженного деятеля науки и техники Петра Генриховича Шитта, которые в 1920 г. основали плодоовощное отделение, кафедру и опытную станцию овощеводства (В.И. Эдельштейн), кафедру и опытную станцию плодоводства (П.Г. Шитт).

В.И. Сусов всегда подчеркивал значимость научных трудов Петра Генриховича Шитта, который с целью расширения учебной, научной базы академии



Фото 1. Владимир Иванович Сусов со своим учителем Борисом Никифоровичем Анзиным

и под непосредственным руководством старшего научного сотрудника плодовой опытной станции Бориса Никифоровича Анзина (фото 1), учителя В.И. Сусова, в 1939 г. заложил Мичуринский сад на площади 8,8 га. Владимир Иванович с большой благодарностью вспоминал своего учителя, отмечая его поддержку и помощь в своем становлении как ученого плодовода. Он подчеркивал значимость научных трудов

Б.Н. Анзина, основными темами научно-исследовательских работ которого являются сортоизучение и сортоиспытание яблони, груши, вишни и сливы, а также совершенствование технологии обрезки плодовых деревьев и ягодных кустарников.

По этим темам было опубликовано более 30 научных работ Б.Н. Анзина, в том числе 3 книги: «Слива и вишня» (1946 г.), «Слива» (1956 г.), «Обрезка плодовых деревьев и ягодных кустарников» (1958 г.) [1–3]. Б.Н. Анзин руководил этими исследованиями с 1939 по 1970 гг., а с 1971 г., переняв ценный опыт своего учителя, Владимир Иванович Сусов продолжил исследования в области плодоводства (фото 2).

С целью дальнейшего расширения учебной, научной и производственной баз в 1976 г. В.И. Сусовым под общим руководством заведующего кафедрой плодоводства, профессора Михаила Трофимовича Тарасенко (основателя в 1935 г. школы зеленого черенкования), площадь Мичуринского сада была увеличена до 20 га. Благодаря расширению производственной базы Мичуринский сад в настоящее время успешно обеспечивает прохождение учебных практик студентами Института садоводства и ландшафтной архитектуры, Института агробиотехнологии.

В.И. Сусовым проводились многолетние сортоиспытания значительного количества культур: яблоня – 191 сорт; груша – 167 сортов; вишня – 40 сортов; слива – 40 сор-

тов; черешня – 23 сорта; алыча – 22 сорта; абрикос – 20 сортов; грецкий орех – 20 сортов; рябина – 6 сортов; айва обыкновенная – 3 сорта. Работы по сортоизучению и сортоиспытанию плодовых культур проводятся сотрудниками Мичуринского сада, учениками Владимира Ивановича, и в настоящее время.

Большое внимание Владимир Иванович Сусов уделял организации работ по селекции груши, алычи, яблони,



Фото 2. Владимир Иванович Сусов со своими сотрудниками (опытная станция плодоводства), 1971 г.

айвы обыкновенной и другим породам. Учениками Сергея Тихоновича Чижова, сотрудниками кафедры селекции и семеноводства овощных, плодовых и декоративных культур Николаем Васильевичем Агафоновым, Александром Викторовичем Исачкиным, Борисом Николаевичем Воробьёвым выведено 5 сортов алычи и 3 сорта груши, маточные насаждения которых находятся в Мичуринском саду. Непосредственно В.И. Сусовым были переданы на государственные сортоиспытания по одному сорту яблони, груши и айвы обыкновенной. Много времени Владимир Иванович отводил на отбор перспективных для средней полосы России высокозимостойких и слаборослых подвоев для груши.

Кроме работ по сортоиспытанию, В.И. Сусовым успешно осуществлялась научно-исследовательская работа по таким темам [4–10], как:

1. Повышение зимостойкости и урожайности плодовых деревьев всех пород путем прививки на штамбо, скелето- и кронообразователи;
2. Изучение летней формировки саженцев с целью ускорения их плодоношения.
3. Совершенствование обрезки и летней формировки молодых плодовых деревьев с целью ускорения их плодоношения и уменьшения размеров кроны.
4. Совершенствование технологии выращивания плодоносящих высокозимостойких саженцев плодовых деревьев с закрытой корневой системой.
5. Углубление корневой системы карликовых подвоев яблони, груши и алычи путем изменения форм посадочных ям с целью повышения устойчивости растений и возможности без шпалерного выращивания.
6. Разработка технологии выращивания в Центральном регионе России нетрадиционных и малораспространенных культур: абрикоса, алычи, грецкого ореха, черешни, шелковицы и многих других – с целью повышения их зимостойкости и урожайности.
7. Изучение привитой и корнесобственной культур косточковых пород.

16 апреля 2004 г. Указом Президента Российской Федерации Владимиру Ивановичу Сусову присвоено почетное звание «Заслуженный агроном Российской Федерации».

Научная и организаторская работа Владимира Ивановича Сусова является продолжением великого наследия нашей Тимирязевки по преемственности школ и поколений, которую следует продолжать и совершенствовать.

Библиографический список

1. Анзин Б.Н. Обрезка плодовых растений и ягодных кустарников: М. – М.: Московский рабочий, 1962.
2. Анзин Б.Н., Еникеев Х.К., Рожков М.И. Слива: М. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 460 с.
3. Анзин Б.Н., Еникеев Х.К., Рожков М.И. Слива: М. – М.: Колос, 1969. – 85 с.
4. Сусов В.И., Индолов В.М., Зубков А.В. Влияние штамбообразователей на зимостойкость молодых деревьев черешни // Известия ТСХА. – 2005. – № 4. – С. 166–169.
5. Сусов В.И. Новое в плодоводстве Мичуринского сада ТСХА: М. – М.: Изд-во МСХА, 2001. – 142 с.
6. Сусов В.И. Обрезка и формировка плодовых деревьев: М. – М.: КолосС, 2009. – 47 с.
7. Сусов В.И. Повышение зимостойкости плодовых деревьев: М. – М.: ООО «Типография СТД РФ», 2009. – 85 с.
8. Перспективные сорта плодовых деревьев в Тимирязевской сельскохозяйственной академии: М. – М.: Товарищество «ДеКонт», 1993. – 30 с.
9. Повышение зимостойкости и урожайности плодовых деревьев: М. – М.: Товарищество «ДеКонт», 1993. – 126 с.
10. Повышение зимостойкости и урожайности плодовых деревьев: М. – М.: Изд-во МСХА, 1993. – 118 с.

TO THE 85TH ANNIVERSARY OF HONORED AGRONOMIST
VLADIMIR IVANOVICH SUSOV

A.V. ZUBKOV, V.M. INDOLOV, M.V. THYSSEN

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The article is dedicated to the memory of the honored agronomist, PhD (Ag) Vladimir Ivanovich Susov. The article describes the contribution of V.I. Susov in the development of agronomic measures for the cultivation of fruit trees traditional for the middle zone of the European part of Russia (apple, pear, cherry, plum) and less common ones (apricot, quince, peach, walnut and many other valuable trees). The article is dedicated to the 85th anniversary of V.I. Susov.

Key words: *Susov V.I., biography, scientific activity, horticulture, fruit growing, apple tree, stembuilder.*

References

1. Anzin B.N. Obrezka plodovykh rasteniy i yagodnykh kustarnikov [Pruning fruit plants and berry bushes]. M.: Moskovskiy rabochiy, 1962. (In Rus.)
2. Anzin B.N., Enikeev Kh.K., Rozhkov M.I. Sliva [Plum tree]. M.: Sel'khozgiz, 1956: 460. (In Rus.)
3. Anzin B.N., Enikeev Kh.K., Rozhkov M.I. Sliva [Plum tree]. M.: Kolos, 1969: 85. (In Rus.)
4. Susov V.I., Indolov V.M., Zubkov A.V. Vliyanie shtamboobrazovateley na zimostoykost' molodykh derev'ev Chereschni [Effect of stembuilders on winter hardiness of young cherry trees]. M.: Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2005; 4: 166–169. (In Rus.)
5. Susov V.I. Novoe v plodovodstve Michurinskogo sada TSKhA [New in horticulture at the Michurin orchard of RSAU-MTAA]. M.: Izd-vo MSKhA, 2001: 142. (In Rus.)
6. Susov V.I. Obrezka i formirovka plodovykh derev'ev [Pruning and forming of fruit trees]. M.: KolosS, 2009: 47. (In Rus.)
7. Susov V.I. Povyshenie zimostoykosti plodovykh derev'ev [Improving the winter hardiness of fruit trees]. M.: ООО “Типография STD RF”, 2009: 85. (In Rus.)
8. Perspektivnye sorta plodovykh derev'ev v Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii [Promising fruit tree cultivars at the Timiryazev Agricultural Academy]. M.: Tovarishchestvo “DeKont”, 1993: 30. (In Rus.)
9. Povyshenie zimostoykosti i urozhaynosti plodovykh derev'ev [Improving winter hardiness and yield of fruit trees]. M.: Tovarishchestvo “DeKont”, 1993: 126. (In Rus.)
10. Povyshenie zimostoykosti i urozhaynosti plodovykh derev'ev [Improving winter hardiness and yield of fruit trees]. M.: Izd-vo MSKhA, 1993: 118. (In Rus.)

Зубков А.В., доцент кафедры плодородства, виноградарства и виноделия РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, канд. экон. наук; e-mail: a.zubkov@rgau-msha.ru; тел.: (910) 450–51–00

Индолов В.М., старший преподаватель кафедры плодородства, виноградарства и виноделия, и.о. руководителя УНПЦ садоводства и овощеводства В.И. Эдельштейна; e-mail: indolov@rgau-msha.ru; тел.: (926) 162–44–51

Тиссен М.В., агроном, канд. экон. наук; e-mail: mtissen@yandex.ru; тел.: (910) 478–21–20

Aleksandr V. Zubkov, PhD (Econ), Associate Professor of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (910) 450–51–00; E-mail: a.zubkov@rgau-msha.ru)

Vladimir M. Indolov, Senior Lecturer of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Acting Head of the Research and Production Centre for Horticulture and Vegetable Growing named after V.I. Edelstein, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (926) 162–44–51; E-mail: indolov@rgau-msha.ru)

Maksim V. Tissen, PhD (Econ), agronomist (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (910) 478–21–20; E-mail: mtissen@yandex.ru)

К 200-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПЕРВОГО РУССКОГО
МАГИСТРА ТЕХНОЛОГИИ, ЗАВЕДУЮЩЕГО КАФЕДРОЙ
«СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ЛЕСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ»
ПЕТРОВСКОЙ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ И ЛЕСНОЙ АКАДЕМИИ
ИЛЬДЕФОНСА КАЗИМИРОВИЧА КОССОВА

М.Ш. БЕГЕУЛОВ

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

Приводятся сведения о научно-педагогической деятельности первого заведующего кафедрой «Сельскохозяйственных и лесных производств» Петровской земледельческой и лесной академии (ныне Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева). Описывается период становления и развития творческого и научного потенциала российского ученого-технолога: с момента начала обучения в Ярославской гимназии и Санкт-Петербургском университете до работы заведующим кафедрой «Сельскохозяйственных и лесных производств» Петровской земледельческой и лесной академии.

Ключевые слова: Императорский Санкт-Петербургский университет, Императорский Харьковский университет, Петровская земледельческая и лесная академия, кафедра «Сельскохозяйственных и лесных производств», технологический кабинет, магистр технологии, ординарный профессор, Ильдефонс Казимирович Коссов.



Ильдефонс Казимирович Коссов
(1822–1890 гг.)

«Ильдефонс (Бернард) Казимирович Коссов родился в дворянской семье в 1822 г. в городе Витебске Витебской губернии Российской Империи. Одновременно с будущим великим русским поэтом Николаем Алексеевичем Некрасовым (так же, как и он, выпускником Ярославской гимназии) в 1839 г. юный Ильдефонс экзаменовался и был принят в число студентов Императорского Санкт-Петербургского Университета [6].

Летом 1839 г. министр народного просвещения С.С. Уваров в соответствии с Высочайшим постановлением предложил попечителю Санкт-Петербургского учебного округа подготовить в университете шесть студентов, которые обязывались отработать затраченные на их обучения средства, прослужив в учебном ведомстве не менее шести лет. Для обучения должны были быть отобраны студенты, имеющие достаточно высокий уровень знаний, способностей и склонные к обучению техническим наукам. Перспективным студентам предполагалось дать

специальную направленную подготовку для восполнения научных и педагогических национальных кадров в учебном заведении. В начале следующего, 1840 г., из отделения естественных наук физико-математического факультета в реальное отделение были избраны студенты Андрей Глушицкий, Александр Федоров, Павел Ильенков, Модест Мудров, Константин Андреевский-Александрович и Ильдефонс Коссов [1].

Интересно, что под влиянием Андрея Глушицкого, Павла Ильенкова и Ильдефонса Коссова будущий великий русский поэт Алексей Некрасов не погрузился в омут тогдашней военной службы в Кадетском корпусе, о чем настаивал его отец, а поступил в Санкт-Петербургский университет, чего желала и его мать. Ярославская гимназия дала Некрасову, как оказалось, лишь «обрывки» нужных знаний. В отличие от своих товарищей, не выдержав вступительных экзаменов, с июля 1839 г. Некрасов стал вольнослушателем университета по философскому факультету [2].

В 1843 г. И.К. Коссов окончил курс Петербургского университета со степенью кандидата. В 1844–1846 гг. он находился в командировке за рубежом с целью «усовершенствования в науках» на передовом опыте промышленного производства в Германии, Франции, Англии.

В регионах Российской Империи того исторического периода имелись затруднения в преподавании технологии и связанных с ней науками, вызванные прежде всего отсутствием специалистов по данному предмету. После отечественной войны 1812 года возникла потребность в замещении преподавательских должностей, занятых иностранными учеными, русскими специалистами. Кафедра технологии Харьковского университета испытывала кадровый голод. Первые штатные преподаватели технологии не были специалистами в этой отрасли. Нехватка технологов-химиков и инженеров была связана с отсутствием соответствующих учебных заведений. Так, торжественное открытие первого в России Санкт-Петербургского Практического технологического института Императора Николая I состоялось только в октябре 1831 г.

В отдельные периоды, с 1811 по 1847 гг., преподавание по кафедре технологии Харьковского университета и заведование технологическим кабинетом осуществлялись профессорами других специальностей. Так, первый профессор кафедры технологии Д.И. Фон-Шмерфельд (1804–1811) был финансистом и политэкономом, следующий за ним И.И. Дьячков (1820–1831) – математиком, а третий профессор А. Озерский (1839–1841) был ученым лесоводом. Такое положение дел на кафедре технологии стало меняться после зачисления преподавателем первого русского магистра технологии И.К. Коссова, который обладал необыкновенной энергией и настойчивостью. Высочайшим приказом 10 января 1847 г. он был назначен к исполнению должностных обязанностей адъюнкт-профессора на кафедру технологии физико-математического факультета Императорского Харьковского университета.

Ильдефонс Казимирович Коссов наладил систему преподавания дисциплин, делился своими знаниями на общедоступных публичных лекциях, расширил материальную базу технологического кабинета и осуществил эффективную связь теории и практики путем изучения промышленных производств не только в России, но и за рубежом, во время многочисленных командировок.

С приходом Коссова технология преподавалась в качестве факультетского предмета на математическом, а дополнительного предмета – на естественном отделении философского факультета. В 1847 г. этот предмет читался на 3 и 4 курсах для математиков и натуралистов соответственно. По инициативе Коссова в 1848 г. на развитие технологического кабинета, выделенного из агрономического кабинета, были предоставлены средства в размере 252 руб. 85 коп., и с этого момента началось энергичное пополнение приборов и оборудования. Во время управления технологическим кабинетом количество технологического инвентаря, образцов товаров и книг увеличилось вдвое [3].

В период с 1848 по 1852 гг. И.К. Коссов являлся также секретарем физико-математического факультета.

В 1850 г. в Харьковском университете Ильдефонс Казимирович успешно защитил магистерскую диссертацию «О механическом прядении льна» на присвоение ученой степени магистра и советом был удостоен этой степени, а затем назначен адъюнкт-профессором.

Летом 1852 г. адъюнкт-профессор И.К. Коссов совершил масштабную поездку на все заводы и фабрики Московского мануфактурно-промышленного района, посетив 49 преимущественно мануфактурных фабрик, а также несколько химических заводов.

Первое представление Коссова к переводу на должность экстраординарного профессора, сделанное физико-математическим факультетом после защиты магистерской диссертации, было признано преждевременным и не поддержано попечителем. В феврале 1854 г. советом Университета св. Владимира ученый был избран профессором и начал ходатайствовать о переводе в указанный университет.

После повторного представления 13 октября 1854 г. совет Харьковского университета принял положительное решение. Экстраординарным профессором И.К. Коссов был утвержден 20 июля 1855 г., а через два года он состоял уже в должности ординарного профессора. Утверждение ординарным профессором состоялось на основании представления совета по результатам рассмотрения представленных на соревнование ученых трудов «О механическом прядении льна. Рассуждения на степень магистра», «О блеске шелковых тканей. Речь, читанная на торжественном акте в 1850 г.», «Краткий очерк химии».

На протяжении пяти лет, с 1854 по 1859 гг., Ильдефонс Казимирович активно занимался развитием технологического кабинета, совмещая эту работу с чтением лекций по химии на медицинском и физико-математическом факультетах Харьковского университета. Так, летом 1859 г. в заграничной командировке профессор изучал современные технологии, новые изобретения, усовершенствованные машины с целью передачи передовых знаний слушателям. Зарубежные научные командировки он удачно использовал также с целью приобретения учебных пособий и оборудования для технологического кабинета. По ходатайству Московского общества сельского хозяйства профессор Коссов совместно с другими профессорами принял активное участие в выставке сельского хозяйства, а в 1865 г. посетил Москву для осмотра мануфактурной выставки и окрестных фабрик и заводов.

Из Харьковского университета И.К. Коссов перешел на должность профессора химической технологии и металлургии Императорского московского технического училища (с 1989 г. – Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана). В день основания Петровской земледельческой и лесной академии 1 декабря 1865 г. он обрел последнее место своей работы: в этот день он был избран заведующим кафедрой «Сельскохозяйственных и лесных производств» академии.

Кафедра «Сельскохозяйственных и лесных производств», существовавшая с первых дней основания Петровской земледельческой и лесной академии, в настоящее время носит название «Технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

За 157-летнюю историю существования Тимирязевки названия старейшей кафедры неоднократно менялись. В 1923–1929 гг. она именовалась кафедрой сельскохозяйственной технологии и кафедрой организации предприятий по переработке сельскохозяйственных продуктов; с 1930 по 2001 гг. носила название кафедры хранения и технологии сельскохозяйственных продуктов; с 2001 г. переименована в кафедру хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства, просуществовав под таким названием до объединения в 2019 г. с кафедрой «Технологии хранения и переработки плодов и овощей» в составе технологического факультета РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [4, 5].

На создание при вышеназванной кафедре технологического кабинета, который расположился на первом этаже 10-го учебного корпуса, в 1865 г. было выделено в три раза больше средств (750 руб.), чем для остальных кабинетов (по 250 руб.). Ежегодно Совет Петровской академии выделял по 500–600 руб. на оснащение технологического кабинета. На выделенные средства профессор Коссов приобретал учебные материалы, наглядные пособия и оборудование.

И.К. Коссов стремился к постоянному усовершенствованию собственных профессиональных знаний. Например, в 1867 г., посещая губернии с более развитой лесной промышленностью (Петербургскую, Новгородскую, Вятскую, Вологодскую, Костромскую, Нижегородскую, Казанскую), он изучил на практике современное состояние технологий лесопереработки. Посетив Всероссийскую мануфактурную выставку в Санкт-Петербурге и Парижскую всемирную выставку, ученый-технолог вооружился передовыми знаниями, для передачи их студентам, о новинках техники и технологий.

В 1869 г. было опубликовано «Обозрение по сельскохозяйственной технологии» (И.К. Коссов. Обозрение по сельскохозяйственной технологии. – Москва: Университетская типография (Катков и К°), 1869–1871. – 34 с.), в котором профессор Коссов описывает научные основы и актуальные особенности технологии хлебопечения, производства солода и пивоварения, превращения крахмала в сахар с помощью солода, винокурения, сахароварения. Особое внимание в работе автор уделил характеристике и описанию современных машин и оборудования, новых ингредиентов в области пищевой технологии. Так, в обозрении описываются совершенные по тем временам тестомесильные машины, хлебопекарные печи, механические сушилки солода, холодильники для сула и затора, терки для корнеплодов сахарной свеклы, прессы для отжима сока из мезги. Большое внимание в работе уделяется новым и усовершенствованным технологиям: приготовления хлеба; применения порошков, заменяющих дрожжи и закваску; использования серной кислоты при производстве картофельного крахмала; превращения крахмала в сахар с помощью солода; определения количества экстракта из солода и непророщенных зерен; выделения азота при спиртовом брожении свекловичного сока; очищения сока в свеклосахарном производстве; транспортирования свекловичного сока по чугунным трубопроводам; выделения сахара из раствора и др.

В 1873 г. профессор И.К. Коссов занимался повышением квалификации за границей и в течение четырехмесячной командировки посетил Венскую выставку, изучил работу передовых фабрик и заводов Германии и Австро-Венгрии.

В этот исторический период в Петровской земледельческой и лесной академии на третьем курсе в осенне-весенний и летний периоды по 2 часа в неделю читалась дисциплина «Технология сельскохозяйственная и лесная». На протяжении трех лет обучения проводились практические занятия по программам дисциплин «Технология сельскохозяйственная» и «Технология лесных производств». Программой первой дисциплины предусматривалось изучение мукомольного, хлебопекарного, винокуренного, пивоваренного, уксусного, маслосеяного, свеклосахарного производства, технологии приготовления крахмала и превращения его в декстрины и сахар. Свойства древесины различных пород деревьев, пороки и способы заготовки леса, сорта, форма и способы обработки, складирования, складки в лесу, способы продажи и транспортировки леса, мочального производства изучались при освоении разделов программы «Технология лесных производств». В рамках освоения этой дисциплины также рассматривались вопросы получения древесной кислоты и уксусно-кислых солей, добытия смолы, скипидара, поташа, приготовления уксусной кислоты.

Теоретические знания закреплялись студентами при посещении ими под руководством профессора Коссова действующих заводов: сахароваренных и винокуренных, паточных и уксусных, пивоваренных и лесоперерабатывающих. К опубликованным результатам исследований И.К. Коссова по превращению крахмала в декстрины и сахар, по механизму спиртового брожения был проявлен немалый интерес в научном сообществе того времени.

В 1879 г., в связи с тем, что состояние здоровья И.К. Коссова заметно ухудшилось, совет академии разрешил ему читать лекции студентам по «Технологии сельскохозяйственной» на дому по субботам с 10.00 до 14.00. Еще в 1874 г. лекции по данной дисциплине были перенесены с 3 на 4 курсы.

Профессор Коссов был уволен из Петровской земледельческой и лесной академии 1 мая 1879 г. по состоянию здоровья. Претендентов на вакантную должность не нашлось, и конкурс в том году не состоялся. В следующем, 1880 г., курс в академии не читался. Дисциплину «Технология лесных производств» в 1881 г. читал видный ученый-лесовод, профессор Митрофан Кузьмич Турский.

В 1882 г. к чтению лекций студентам 4 курса по дисциплине «Технология сельскохозяйственная» (по 4 часа в неделю) приступил магистр химии, титулярный советник, экстраординарный профессор Владимир Матвеевич Руднев, который прошел по конкурсу на вакантную должность 2 января 1882 г. В.М. Руднев продолжил исследования предшественника по переработке крахмала. Кроме того, получили известность его статьи о сухой перегонке дерева, о получении ароматических углеводородов из нефти, о винокурении, о химическом составе и свойствах торфа, о новом углеводороде из сосновой смолы. Также им были написаны статьи по химической технологии для энциклопедического словаря Брокгаузен и Эфрона [6].

Скончался И.К. Коссов 24 апреля 1890 г. в Москве, похоронен на Введенском (Немецком) кладбище в районе Лефортово.

Профессор Ильдефонс Казимирович Коссов внес заметный вклад в развитие российской химии и технологии, вошел в историю как видный ученый и первый русский магистр технологии.

Библиографический список

1. Бондаренко Л.Б. Реальное отделение в Санкт-Петербургском университете и его питомцы // Санкт-Петербургский университет. – 2000. – № 3 (3526). – С. 12.
2. Евгеньев-Максимов В.Е. Н.А. Некрасов и Петербургский-Ленинградский университет // Вестник Ленинградского университета. – 1946. – № 4–5. – С. 186–199.
3. Физико-математический факультет Харьковского университета за первые сто лет его существования (1805–1905): Издание университета / Под ред. проф. И.П. Осипова и проф. Д.И. Багалая. – Харьков: Типография фирмы «Адольф Дарре», 1908. – С. 346–352.
4. Личко Н.М., Бежеулов М.Ш. 150-летний юбилей кафедры хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства Российского государственного аграрного университета МСХА им. К.А. Тимирязева // Хлебопродукты. – 2015. – № 12. – С. 16–17.
5. Личко Н.М., Курдина В.Н., Новиков Н.Н., Бежеулов М.Ш. К 150-летию кафедры хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства: история становления и развития // Известия ТСХА. – 2015. – Вып. 5. – С. 132–146.
6. Личко Н.М., Бежеулов М.Ш. К 195-летию со дня рождения первого заведующего кафедрой «Хранения, переработки и товароведения продукции растениеводства» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Доклады ТСХА. – Вып. 290. – Ч. I. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2018. – С. 146–148.

TO THE 200TH ANNIVERSARY OF IL'DEFONS KAZIMIROVICH KOSOV,
THE FIRST RUSSIAN MASTER OF TECHNOLOGY, THE HEAD
OF THE DEPARTMENT OF AGRICULTURAL AND FORESTRY PRODUCTION
OF THE PETROVSKY ACADEMY OF AGRICULTURE AND FORESTRY

M.SH. BEGEULOV

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The article is devoted to the scientific and pedagogical activities of the first head of the Department of Agricultural and Forestry Production at the Petrovsky Agricultural and Forestry Academy (nowadays Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy).

The article describes the period of formation and development of creative and scientific potential of the Russian scientist-technologist from the moment he began his studies at the Yaroslavl gymnasium and St. Petersburg University to his work as the head of the Department of Agricultural and Forestry Production at the Petrovsky Agricultural and Forestry Academy.

Key words: *Imperial Saint-Petersburg University, Imperial Kharkov University, Petrovsky Agricultural and Forestry Academy, Department of Agricultural and Forestry Production, Technological Department, Master of Technology, typical Professor, Il'defons Kazimirovich Kossov.*

References

1. Bondarenko L.B. Real'noe otdelenie v Sankt-Peterburgskom universitete i ego pitomtsy [Non-classical department at St. Petersburg University and its pupils]. Sankt-Peterburgskiy universitet. 2000; 3 (3526): 12. (In Rus.)
2. Evgen'ev-Maksimov V.E. N.A. Nekrasov i Peterburgskiy-Leningradskiy universitet [N.A. Nekrasov and St. Petersburg-Leningrad University]. Vestnik leningradskogo universiteta. 1946; 4–5: 186–199. (In Rus.)
3. Fiziko-matematicheskii fakul'tet Khar'kovskogo universiteta za pervye sto let ego sushchestvovaniya (1805–1905) [Faculty of Physics and Mathematics of Kharkov University for the first hundred years of its existence (1805–1905)]. Ed. by prof. I.P. Osipova and prof. D.I. Bagaleyeva. Khar'kov: Izdanie universiteta. Tipografiya firmy "Adolf Darre", 1908: 346–352. (In Rus.)
4. Lichko N.M., Begeulov M.Sh. 150-letniy yubiley kafedry khraneniya, pererabotki i tovarovedeniya produktsii rastenievodstva Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta MSKhA im. K.A. Timiryazeva [150th anniversary of the Department of Storage, Processing and Merchandising of Crop Products of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy]. Khleboprodukty. 2015; 12: 16–17. (In Rus.)
5. Lichko N.M., Kurdina V.N., Novikov N.N., Begeulov M.Sh. K 150-letiyu kafedry khraneniya, pererabotki i tovarovedeniya produktsii rastenievodstva: istoriya stanovleniya i razvitiya [To the 150th anniversary of the Department of Storage, Processing and Merchandising of Crop Products: the history of formation and development]. Izvestiya TSKhA. 2015; 5: 132–146. (In Rus.)
6. Lichko N.M., Begeulov M.Sh. K 195-letiyu so dnya rozhdeniya pervogo zaveduyushchego kafedroy "Khraneniya, pererabotki i tovarovedeniya produktsii rastenievodstva" RGAU-MSKhA imeni K.A. [To the 195th anniversary of the birth of the first head of the Department of Storage, Processing and Merchandising of Crop Products of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy]. M.: Doklady TSKhA: Sbornik statey. Izd-vo RGAU-MSKhA. 2018; 290 (I): 146–148. (In Rus.)

Береулов Марат Шагабанович, доцент кафедры технологии хранения и переработки плодовоовощной и растениеводческой продукции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, кандидат с.-х. наук, доцент. ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (141434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49. E-mail: mbegeulow@rgau-msha.ru. Тел.: (499) 976–12–71)

Marat S. Begeulov, PhD (Ag), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Storage and Processing of Crop Products, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–12–71; E-mail: mbegeulow@rgau-msha.ru)

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

Минникова Т.В., Русева А.С., Колесников С.И. Оценка ферментативной активности нефтезагрязненного чернозема после биоремедиации.....	5
---	---

БОТАНИКА, ПЛОДОВОДСТВО

Есаулко А.Н., Раджабов А.К., Айсанов Т.С., Величко В.Ю., Акимова С.В., Нинулина Е.А., Мацнева А.Е. Изучение эффективности новых питательных сред для производства растений земляники <i>in vitro</i>	21
Соколкина А.И., Ханбабаева О.Е., Бондоруина И.А., Кудусова В.Л., Сорокопудова О.А. Оценка коллекции отечественных сортов флокса метельчатого (<i>Phlox paniculata</i> L.) ГБС им. Н.В. Цицина по морфологическим признакам	35
Крючков С.Н., Вдовенко А.В., Соломенцева А.С. Анализ жизнеспособности древесных видов в защитных лесных полосах аридной территории Волгоградской области	46

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

Щуклина О.А., Завгородний С.В., Аленичева А.Д., Иванова Л.П., Квитко В.Е., Пыльнев В.В., Упельник В.П. Связь элементов структуры колоса с продуктивностью растений образцов × <i>Triticum cziczinii</i> Tzel.....	57
Иванов И.В., Соколова Л.А., Рыбочкин А.Р., Шпаков К.В. О влиянии постоянного магнитного поля на всхожесть семян яровой пшеницы сорта ликамеро.....	70
Заставнюк А.Д., Монахос Г.Ф., Вишнякова А.В., Миронов А.А., Монахос С.Г. Генотипирование устойчивости к киле и оценка комбинационной способности капусты пекинской	77

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО, ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Тараканов Р.И. Оценка устойчивости сортов сои к бактериальным болезням на искусственном инфекционном фоне	92
---	----

ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

Трухачев В.И., Селмонова М.И., Айбазов А.М.М., Гладких М.Ю., Лапина И.А., Сидоренко Д.Д. Характеристика корреляционных связей между компонентами молока коз молочного и комбинированного направлений продуктивности.....	108
Кулинцев В.В., Шевхужев А.Ф., Дорохин Н.А. Влияние уровня кормления на продуктивность бычков симментальской породы	120
Ксенофонтова А.А., Войнова О.А., Иванов А.А., Ксенофонтов Д.А. Воздействие болевого стресса на адаптивные возможности системы крови и благополучие лошадей	133

ЭКОНОМИКА

Запорожец Д.В. Выявление барьеров инновационного развития аграрных экономических систем.....	148
--	-----

УЧЕНЫЕ ТИМИРЯЗЕВКИ

Зубков А.В., Индолов В.М., Тиссен М.В. К 85-летию со дня рождения заслуженного агронома Владимира Ивановича Сусова.....	156
Бегеулов М.Ш. К 200-летию со дня рождения первого русского магистра технологии, заведующего кафедрой «Сельскохозяйственных и лесных производств» Петровской Земледельческой и Лесной Академии Ильдефонса Казимировича Коссова.....	162

CONTENTS

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE AND ECOLOGY

Minnikova T.V., Ruseva A.S., Kolesnikov S.I. Evaluation of the enzymatic activity of haplic chernozem contaminated by petroleum hydrocarbons after bioremediation	5
---	---

BOTANY, POMICULTURE

Esaulko A.N., Radzhabov A.K., Aysanov T.S., Velichko V.Yu., Akimova S.V., Ninulina E.A., Matsneva A.E. Study of the efficiency of new nutrient media for the production of improved strawberry seedlings by <i>in vitro</i>	21
Sokolkina A.I., Khanbabaeva O.E., Bondorina I.A., Kudusova V.L., Sorokopudova O.A. Evaluation by morphological characteristics of the collection of the paniculata phlox (<i>Phlox paniculata</i> L.) domestic cultivars of N.V. Tsitsin's botanical garden of the Russian Academy of Sciences	35
Kruchkov S.N., Vdovenko A.V., Solomentseva A.S. Analysis of the viability of tree species in the protective forest strips of the arid territory of the Volgograd region.....	46

GENETICS, BIOTECHNOLOGY, SELECTION AND SEED BREEDING

Shchuklina O.A., Zavgorodniy S.V., Alenicheva A.D., Ivanova L.P., Kvitko V.E., Pyl'nev V.V., Upelnik V.P. Relationship of elements of the ear structure to plant productivity of samples × <i>Trititrigia cziczinii</i> Tzvel.....	57
Ivanov I.V., Sokolova L.A., Rybochkin A.R., Shpakov K.V. On the effect of a constant magnetic field on the germination of spring wheat seeds of the likamero variety.....	70
Zastavnyuk A.D., Monakhos G.F., Vishnyakova A.V., Mironov A.A., Monakhos S.G. Chinese cabbage clubroot resistance genotyping and evaluation of combining ability.....	77

AGRONOMY, CROP PRODUCTION, PLANT PROTECTION

Tarakanov R.I. Evaluation of the resistance of soybean cultivars to bacterial diseases on an artificial inoculation background	92
--	----

LIVESTOCK BREEDING, BIOLOGY AND VETERINARY MEDICINE

Trukhachev V.I., Selionova M.I., Aybazon A.M.M., Gladikh M.Yu., Lashneva I.A., Sidorenko D.D. Characteristics of the correlations between milk components of dairy goats, meat-dairy goats and dairy-meat ones	108
Kulintsev V.V., Shevkhuzhev A.F., Dorokhin N.A. Effect of the feeding level on the productivity of Simmental young bulls.....	120
Ksenofontova A.A., Voinova O.A., Ivanov A.A., Ksenofontov D.A. Impact of pain stress on the adaptive capabilities of the blood system and welfare of horses.....	133

ECONOMY

Zaporozhets D.V. Identification of barriers to innovative development of agrarian economic systems	148
--	-----

SCIENTISTS OF TIMIRYAZEV UNIVERSITY

Zubkov A.V., Indolov V.M., Thyssen M.V. To the 85 th anniversary of honored agronomist Vladimir Ivanovich Susov.....	156
Begeulov M.Sh. To the 200 th anniversary of Il'defons Kazimirovich Kossov, the first russian master of technology, the head of the department of agricultural and forestry production of the Petrovsky Academy of Agriculture and Forestry	162

Журнал «ИЗВЕСТИЯ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ»

e-mail: izvtsha@rgau-msha.ru

тел.: (499) 976–07–48

Подписано в печать 17.10.2022 г. Формат 70×100/16 Бумага офсетная
Гарнитура шрифта «Times New Roman» Печать офсетная. 10,6 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