

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.11:631.559:631.847.2126

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-81-93



Продукционный процесс растений яровой пшеницы в системе биологического земледелия

Н. Н. Шулико, О. А. Юсова, А. А. Киселёва, Е. В. Тукмачева, В. С. Юсов, Е. В. Кубасова,
И. А. Корчагина, А. Ю. Тимохин

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Наталья Николаевна Шулико, shuliko@anc55.ru

Актуальность. Анализ фотосинтетических процессов в растении позволяет судить об активности его роста и развития. Помимо классических физиологических методик, на данный момент возрастает интерес к спектрометрии, которая по значениям вегетационных индексов предоставляет возможность определять наличие или отсутствие стрессового состояния растений в режиме реального времени.

Материалы и методы. Работу выполняли в условиях Западной Сибири на сортах яровой мягкой пшеницы 'Омская 42', 'Омская 44', 'Тарская 12' и яровой твердой пшеницы 'Омский Коралл'. Предпосевную бактеризацию семян осуществляли инокулянтom диазототрофных бактерий родов *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium* sp.

Результаты. Для идентификации повышенной активности роста и развития растений возможно применение вегетационных индексов в фазу колошения: TCARI – 27,32; MCARI – 106,4; SPAD – 40,6; CPHLT – 25,02; CPHLB – 14,5; CPHLA – 8,46; CCI – 27,5; в фазу налива зерна: CPHLT – 10,4; CPHLB – 7,2; CPHLA – 4,7. Наибольшим уровнем азотфиксирующей активности был в ризосфере мягкой пшеницы сорта 'Омская 42' и твердой пшеницы сорта 'Омский Коралл', составляя 150,7–322,0 и 140,0–393,0 нМ C_2H_4 /100 г почвы при интродукции бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7, 149,0–281,0 и 86,2–554,5 нМ C_2H_4 /100 г почвы при внесении *Flavobacterium* sp. соответственно. Отмечена сильная сопряженность индексов TCARI и SPAD с активностью азотфиксации ($r = 0,69$ – $0,96$ и $r = 0,45$ – $0,98$ соответственно) и с урожайностью ($r = 0,76$ – $0,99$ и $r = 0,75$ – $0,94$ соответственно).

Заключение. Стабильно высокие значения процесса ассоциативной азотфиксации зафиксированы в вариантах бактеризации семян пшеницы сортов 'Омская 42' и 'Омский Коралл' препаратами фунгицидно-стимулирующего действия «Мизорин» и «Флавобактерин». По значениям индексов TCARI и SPAD можно судить о потенциальной активности азотфиксации и урожайности сорта.

Ключевые слова: пшеница, спектрометрический и газохроматографический анализ, вегетационные индексы, ризосферные бактерии, ассоциативная фиксация азота, урожайность

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10064, <https://rscf.ru/project/23-76-10064/>.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Шулико Н.Н., Юсова О.А., Киселёва А.А., Тукмачева Е.В., Юсов В.С., Кубасова Е.В., Корчагина И.А., Тимохин А.Ю. Продукционный процесс растений яровой пшеницы в системе биологического земледелия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(4):81-93. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-81-93

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-81-93

The production process of spring wheat plants in the system of biological agriculture

Natalia N. Shuliko, Oksana A. Yusova, Alina A. Kiselyova, Elena V. Tukmacheva, Vadim S. Yusov, Ekaterina V. Kubasova, Irina A. Korchagina, Artem Yu. Timokhin

Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russia

Corresponding author: Natalya N. Shuliko, shuliko@anc55.ru

Background. Analyzing photosynthetic processes in a plant makes it possible to opine on the rate of its growth and development. In addition to classical physiological techniques, an interest is currently growing in spectrometry, which provides a real-time opportunity, based in the values of vegetation indices, to find out whether a plant is under stress or not.

Materials and methods. Spring bread wheat cvs. 'Omskaya 42', 'Omskaya 44', and 'Tarskaya 12', and spring durum wheat cv. 'Omsky Korall' were analyzed in Western Siberia. Seeds were bacterized before sowing with an inoculant of diazotrophs belonging to *Arthrobacter mysorens* 7 and *Flavobacterium* sp.

Results. Identification of increased plant growth and development rates is possible with the following vegetation indices in the ear emergence phase: TCARI = 27.32, MCARI = 106.4, SPAD = 40.6, CPHLT = 25.02, CPHLB = 14.5, CPHLA = 8.46, and CCI = 27.5, and those in the grain filling phase: CPHLT = 10.4, CPHLB = 7.2, and CPHLA = 4.7. The highest nitrogen-fixing activity level was observed in the rhizosphere of bread wheat cv. 'Omskaya 42' and durum wheat cv. 'Omsky Korall', amounting to 150.7–322.0 and 140.0–393.0 nM C₂H₄/100 g of soil, respectively, with the introduction of *Arthrobacter mysorens* 7 bacteria, and 149.0–281.0 and 86.2–554.5 nM C₂H₄/100 g of soil, respectively, with *Flavobacterium* sp.

Conclusion. Consistently high values of the associative nitrogen fixation process were recorded in the variants involving bacterization of wheat seeds of cvs. 'Omskaya 42' and 'Omsky Korall' with the stimulating fungicide drugs Mizorin and Flavobacterin. According to the values of the TCARI and SPAD indices, it is possible to opine on the potential nitrogen-fixing activity and the yield of a cultivar.

Keywords: wheat, spectrometry and gas chromatography analyses, vegetation indices, rhizosphere bacteria, associative nitrogen fixation, yield

Acknowledgments: the research was supported by a grant from the Russian Science Foundation, No. 23-76-10064, <https://rscf.ru/project/23-76-10064/>.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Shuliko N.N., Yusova O.A., Kiselyova A.A., Tukmacheva E.V., Yusov V.S., Kubasova E.V., Korchagina I.A., Timokhin A.Yu. The production process of spring wheat plants in the system of biological agriculture. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(4):81-93. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-81-93

Введение

Современное сельскохозяйственное производство невозможно осуществлять без применения цифровых технологий, что в свою очередь требует более совершенной методологической и инструментальной базы информационного обеспечения. Своевременный контроль развития растений требует идентификации его стрессовых состояний, что в настоящее время основывается на визуальном мониторинге посевов. Для облегчения данной задачи применяется метод спектрометрии (Yakushev, 2018).

С помощью листового спектрометра, на основе различных спектров отражения, определяется количество соединений – хлорофилла, антоцианов, каротиноидов. Полученные спектральные данные применяются для лучшего понимания физиологических процессов растений в режиме реального времени в полевых условиях (Kinhal, 2022).

Для понимания фотосинтетической деятельности растений важное значение приобретают представления о взаимосвязи этого процесса с азотным обменом, а именно с ассоциативной азотфиксацией в агроценозе.

Анализ фотосинтеза растений является на данный момент одним из самых широко используемых методов, доступных физиологам и экофизиологам (Maxwell, Johnson, 2000). В данное время разрабатываются и применяются различные приборы и методики для контроля за происходящими в растениях процессами (Smashkevsky, 2014). Результаты изучения реакции растительного покрова на климатические факторы посредством спектрометрии показывают высокую зависимость динамики растительности от условий возделывания (Essaadia et al., 2022).

Путем применения метода спектрометрии получают большой объем информации о состоянии растений, который выражается вегетационными индексами. Они рассчитываются путем проведения операций с разными световыми каналами и позволяют классифицировать исследуемые объекты по состоянию биомассы (Zharikova et al., 2022). Главным преимуществом применения вегетационных индексов является возможность оценить с их помощью степень угнетенного состояния растений в режиме реального времени.

Основным путем снабжения небобовых растений биологическим азотом признается ассоциативная азотфиксация (Westhoff, 2009). Фактором, определяющим ее эффективность, является применение биологических препаратов, созданных на основе активных штаммов микроорганизмов, обладающих повышенной способностью к ассоциации с культурными растениями и интенсивной азотфиксацией (Tikhonovich, Provovov, 2011; Tikhonovich, Zavalin, 2016). Микробная азотфиксация играет ключевую роль в балансе азота в биосфере и по своей значимости для живой природы сравнима только с другим глобальным процессом – фотосинтезом (Umarov, 2009). Активизация азотфиксации может происходить как при бактериализации семян, так и при синтезе физиологически активных веществ (Zlotnikov, 1998).

Фиксация азота и выработка фитогормонов микроорганизмами считаются наиболее важными элементами стимулирования роста растений. Интенсивность стимулирования культур, особенно зерновых, включая перенос фиксированного азота от бактерий к растению, зависит от эффективного взаимодействия генотипа расте-

ния, вида бактерий и типа почв (Almetov et al., 2001; Souza et al., 2014).

Известно, что фотосинтетическая деятельность растений существенно влияет на динамику и интенсивность азотфиксации, а также повышает продуктивность сортов в экосистеме. Отмечается положительный эффект комплексной обработки растений препаратами микро- и макроэлементов как одного из способов снижения нарушений процесса азотного питания. При этом увеличивается адаптационный потенциал растений (Mudrik, Luchitskaya, 2014).

Небобовые растения образуют расширенную нишу для различных видов азотфиксирующих бактерий. Эти бактерии развиваются внутри растения, успешно колонизируя корни, стебли и листья. Во время ассоциации бактерии приносят пользу хозяину, заметно увеличивая активность развития растения и урожайность. В этом отношении богатство азотфиксирующей флоры небобовых растений и степень их взаимодействия с хозяином определенно вселяют надежду на разработку экологически чистой альтернативы азотным удобрениям. Внесение в почву (с семенами) активных штаммов ризосферных микроорганизмов в большинстве случаев обеспечивает существенный рост интенсивности связывания атмосферного азота в злаковых агроценозах (Schott, 2007).

Интродукция ризосферных бактерий *Arthrobacter mysoarens* 7 и *Flavobacterium* sp. стимулирует рост растений вследствие подавления фитопатогенных микроорганизмов, увеличения доступности в почве и поглощения растениями питательных элементов и активизации микробиологической азотфиксации в ризосфере (Shabayev, 2006; Glick et al., 2007).

Вопросы эффективности внесения бактерий в ризосферу зерновых, их воздействия на активность процесса ассоциативной азотфиксации, рост и развитие растений, а также урожайность возделываемых сортов в условиях Западной Сибири изучены недостаточно.

Цель исследования – анализ продукционного процесса растений яровой пшеницы и формирование продуктивности сортов под воздействием бактериальных препаратов комплексного действия в условиях Омского Прииртышья.

Материалы и методы

Исследования проведены в южной лесостепи Омской области, в полевом опыте определяли влияние биопрепаратов «Мизорин» и «Флавобактерин» (производство ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, г. Санкт-Петербург, Пушкин) на интенсивность роста и развития растений новых сортов пшеницы омской селекции в зависимости от активности процесса азотфиксации ризосферы.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: агрокультура (фактор А) – сорта яровой мягкой пшеницы 'Омская 42', 'Омская 44', 'Тарская 12' и сорт яровой твердой пшеницы 'Омский Коралл'; бактериальный препарат для инокуляции семян (фактор В) – без препарата, с биопрепаратом «Мизорин», с биопрепаратом «Флавобактерин». Действующее начало биопрепарата «Мизорин» – *Arthrobacter mysoarens* 7, действующее начало биопрепарата «Флавобактерин» – *Flavobacterium* sp.

Инокуляцию семян проводили в день посева рекомендованной дозой. Площадь одной делянки – 13,5 м² (15 × 0,9 м), предшественник – пар. Повторность вариантов 4-кратная. Площадь под опытом – 942 м². Отбор проб

ризосферы проводили в фазы развития растений: кущение (июнь), колошение (июль), налив зерна (август). Посев культур выполнен в оптимальные сроки с проведением комплекса весенне-полевых работ и рекомендованной нормой высева.

Почва опытного участка лугово-черноземная средне-мощная среднегумусная тяжелосуглинистая, с содержанием в пахотном (0–20 см) слое гумуса – 6,5%, общего азота – 0,32%, pH водн. – 6,5. Содержание нитратного азота в почве – до 10 мг/кг в слое 0–20 см (очень низкое), подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно 120 и 297 мг/кг (высокое и очень высокое).

Азотфиксирующую активность ризосферы определяли при помощи ацетиленового метода по восстановлению ацетилена в этилен методом газовой хроматографии на газовом хроматографе «Хроматэк – Кристалл 5000», отбор проб проводили в течение двух лет исследований ($n = 6$) три раза за вегетационный период в фенологические фазы «кущение», «колошение» и «налив зерна») (Umarov, 1976).

Спектрометрический анализ растений проведен посредством портативного миниспектрометра CI-710 по 37 вегетационным индексам (Electronic Supplementary Materials)¹.

Портативный миниспектрометр CI-710 работает в следующих режимах измерения: коэффициент отражения (показывает свет, который был отражен или рассеян от образца), коэффициент пропускания (сравнивает свет, прошедший через образец, с непрошедшим светом), режим поглощения, диапазон спектров (The use of vegetation indices..., 2022; <https://cid-inc.com/plant-science-tools/leaf-spectroscopy/ci-710-miniature-leaf-spectrometer/>). Измерения проводились на 10 флаговых листьях каждого сорта в фазах колошения и налива зерна.

Проведена математическая обработка данных (вариационная статистика, корреляционный анализ) (Dosev, 1985) с использованием программного пакета Microsoft Office Excel 2007. Анализ главных компонент (Principal Component Analysis – PCA) спектрометрических характеристик проведен с помощью пакета программ Office и R version 4.2.2.

Результаты и обсуждение

В полевых опытах при выращивании сортов яровой пшеницы и предпосевной обработке семян биопрепаратами «Мизорин» и «Флавобактерин» установлено усиление азотфиксирующей активности в ризосфере. Процесс азотфиксации усиливался и достигал максимума к периоду налива зерна. Уровень азотфиксирующей активности в процессе роста инокулированных растений яровой мягкой пшеницы сорта 'Омская 42' был на 123 и 122% выше контроля в период кущения, на 87 и 63% – в период налива зерна (таблица).

В процессе роста растений яровой мягкой пшеницы сортов 'Тарская 12' и 'Омская 44' наблюдали усиление активности азотфиксации в ризосфере при внесении диатрофных бактерий. Азотфиксирующая активность в ризосфере инокулированных растений сорта 'Тарская 12' была наибольшей при применении флавобактерина, увеличиваясь, в зависимости от фазы, на 35–50% относительно контроля. Применение мизорина приводило

к снижению процесса в фазу кущения; можно предположить конкуренцию внесенных микроорганизмов с аборигенной микрофлорой; в дальнейшем, по мере развития культуры, азотфиксирующая способность несущественно возрастала по отношению к контролю. На активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере пшеницы 'Омская 44' также наибольшее благоприятное воздействие оказала интродукция в почву бактерий рода *Flavobacterium* sp.: усиление процесса составило от 37 до 48% в сравнении с вариантом контроля.

Влияние *Arthrobacter mysorens* 7 оказало достоверный стимулирующий эффект, рост интенсивности процесса составил от 36 до 45%. Обнаружение азотфиксирующей активности в ризосфере зерновых культур при инокуляции фиксирующими атмосферный азот бактериями подтверждает, что происходит образование ассоциаций внесенных бактерий с аборигенными диатрофными бактериями, также обладающими способностью к фиксации азота воздуха. Усиление азотфиксирующей активности в ризосфере при внесении бактерий *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium* sp. может быть связано с увеличением доступности в почве химических элементов, участвующих в микробиологической фиксации молекулярного азота (Mineev et al., 1992).

В ризосфере растений сорта яровой твердой пшеницы 'Омский Коралл' в фазу колошения при применении флавобактерина наблюдали снижение активности азотфиксации на 37% к контролю, к фазе налива спад численности тестируемой группы сменился стимуляцией их роста. Известно, что эффективность применяемых препаратов во многом определяется взаимодействием с коренными обитателями почвы. При инокуляции в почву попадают микроорганизмы, способные оказывать определенное воздействие (в том числе и негативное) на аборигенную микрофлору и вмешиваться в ход микробных сукцессий с нарушением определенного равновесного сообщества (Kozhevnikov, 2023).

Спектрометрический анализ показал, что предпосевная обработка семян биопрепаратами оказывает благоприятное воздействие на рост и развитие растений в течение всего периода вегетации. Также очевидна сортовая специфика.

Так, сорта яровой мягкой пшеницы 'Омская 42' (рис. 1) и яровой твердой пшеницы 'Омский Коралл' характеризовались повышенными вегетационными индексами по отношению к контролю (как в фазе колошения, так и налива зерна) на фоне обработки семян флавобактерином:

- TCARI в фазе колошения составил 28,9 и 32,2 у сортов 'Омская 42' и 'Омский Коралл' соответственно;
- MCARI – 108,1 и 110,5 в фазе колошения; 43,5 у сорта 'Омский Коралл' в фазе налива зерна;
- SPAD – 40,5 ('Омская 42') и 38,2 ('Омский Коралл') в фазе колошения; 5,6 ('Омская 42') в фазе налива зерна.

Значительное влияние на развитие растений, в зависимости от применения биопрепаратов, подтверждается индексами хлорофилла. У сортов 'Омская 42' и 'Омский Коралл' отмечен рост данных индексов на фоне обработки флавобактерином в фазе колошения: CPHLT – 19,0 и 20,2; CPHLB – 12,0 и 12,8; CPHLA – 7,0 и 7,4 соответственно, – что превышало значения индексов у растений с обработкой мизорином, но оставалось на уровне контроля.

В следующей фазе показатели индексов хлорофилла у сортов 'Омская 42' и 'Омский Коралл' несколько снижаются, но достоверно превышают аналогичные показатели контроля и участка с обработкой мизорином: CPHLT –

¹ Приложение представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-4-81-93> / Electronic Supplementary Materials. The online version of this article: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-4-81-93>

Таблица. Влияние бактериальных препаратов на активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере зерновых культур, нМ C_2H_4 / 100 г почвы ($n = 6, \bar{x} \pm S_x$)

Table. The effect of bacterial preparations on the activity of associative nitrogen fixation in the rhizosphere of cereals, нМ C_2H_4 / 100 g of soil ($n = 6, \bar{x} \pm S_x$)

Фазы развития растений / Phases of plant development	Варианты		
	Контроль (без инокуляции) / Control (without inoculation)	Мизорин / Mizorin	Флавобактерин / Flavobacterin
Пшеница мягкая 'Омская 42'			
Кущение	67,3 ± 10,3	150,7 ± 13,3*	149,0 ± 30,4*
Колошение	134,3 ± 13,4	237,0 ± 15,9*	269,0 ± 48,5*
Налив зерна	172,0 ± 4,0	322,0 ± 39,1*	281,0 ± 22,6*
Пшеница мягкая 'Тарская 12'			
Кущение	114,3 ± 7,7	79,8 ± 2,0**	154,3 ± 12,2*
Колошение	160,0 ± 14,4	166,0 ± 5,1	189,3 ± 16,3*
Налив зерна	120,3 ± 7,7	142,7 ± 11,7	180,7 ± 34,9*
Пшеница мягкая 'Омская 44'			
Кущение	124,7 ± 15,8	131,7 ± 17,2	184,0 ± 15,6*
Колошение	138,7 ± 11,1	188,3 ± 6,2*	189,5 ± 35,0*
Налив зерна	192,0 ± 33,2	278,0 ± 37,3*	269,7 ± 12,6*
Пшеница твердая 'Омский коралл'			
Кущение	133,7 ± 12,8	217,6 ± 23,1*	181,0 ± 28,9*
Колошение	136,3 ± 12,2	140,0 ± 14,6	86,2 ± 12,1**
Налив зерна	375,4 ± 25,3	393,2 ± 31,7	554,5 ± 112,1*
НСП _{05(фаза кущения)} = 12,3; НСП _{05(фаза колошения)} = 14,3; НСП _{05(фаза налива зерна)} = 35,5			

Примечание: $\bar{x} \pm S_x$ – средняя арифметическая ± стандартная ошибка средней арифметической; * – значения достоверно выше контроля; ** – значения достоверно ниже контроля; n – количество аналитических определений

Note: $\bar{x} \pm S_x$ – arithmetic mean ± standard error of the arithmetic mean; * – values significantly higher than the control; ** – values significantly lower than the control; n – number of analytical definitions

12,2 и 16,1; CPHLB – 8,1 и 9,4; CPHLA – 4,1 и 6,6. Отмечено повышение индекса содержания хлорофилла (CCI) по сравнению с предыдущей фазой – 2,0 и 3,8.

Сорт яровой мягкой пшеницы 'Тарская 12' в фазе колошения демонстрировал активное развитие растений на фоне обработки семян флавобактерином: TCARI – 29,0; SPAD – 42,0; MCARI – 110,7; CPHLT – 24,3; CPHLB – 15,2; CPHLA – 9,0; CCI – 26,2. В фазе налива зерна повышенное значение вегетационных индексов у сорта 'Тарская 12' отмечено уже на фоне обработки семян мизорином: TCARI – 53,0; SPAD – 7,6; MCARI – 63,1.

Характерной особенностью сорта яровой мягкой пшеницы 'Омская 44' является интенсивное развитие растений на двух фонах в фазе колошения: TCARI – 22,6 и 23,9 по флавобактерину и мизорину соответственно; SPAD – 41,1 и 41,2; MCARI – 107,5 и 95,2; CPHLT – 30,7 и 20,9; CPHLB – 19,3 и 13,2; CPHLA – 11,3 и 7,6; CCI – 31,5 и 24,8.

В фазе налива зерна вегетационные индексы сорта 'Омская 44' по опытам с флавобактерином и мизорином

составили: SPAD – 4,2 и 8,8; MRESRI – 9,6 и 8,1; MCARI – 4,2 и 4,5; FRI – 2,4 и 3,1; Ctr1 – 4,4 и 2,6; CPHLT – 10,2 и 12,9; CPHLB – 6,8 и 8,6; CPHLA – 3,4 и 4,2; CCI – 1,7 и 2,6 соответственно.

Таким образом, исследование вегетационных индексов показало их увеличение по отношению к контролю на фонах применения биопрепаратов. То есть улучшение питания растений способствует изменению метаболизма в сторону приспособления к меняющимся условиям вегетации.

Для анализа исходных данных мы выбрали метод главных компонент (Principal Component Analysis – PCA), который является одним из основных способов уменьшения размерности данных; при этом потери информации минимальны. Целью применения PCA являлась проверка гипотезы о линейной зависимости развития растений от применения биопрепаратов. Имеющиеся данные по вегетационным индексам используются на диаграмме в качестве обозначения точек в системе координат, построенной по методу PCA (рис. 2, 3).

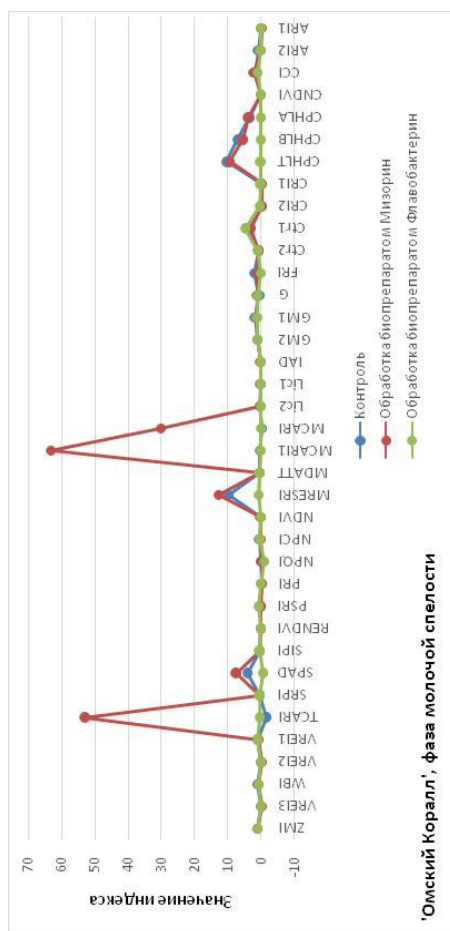
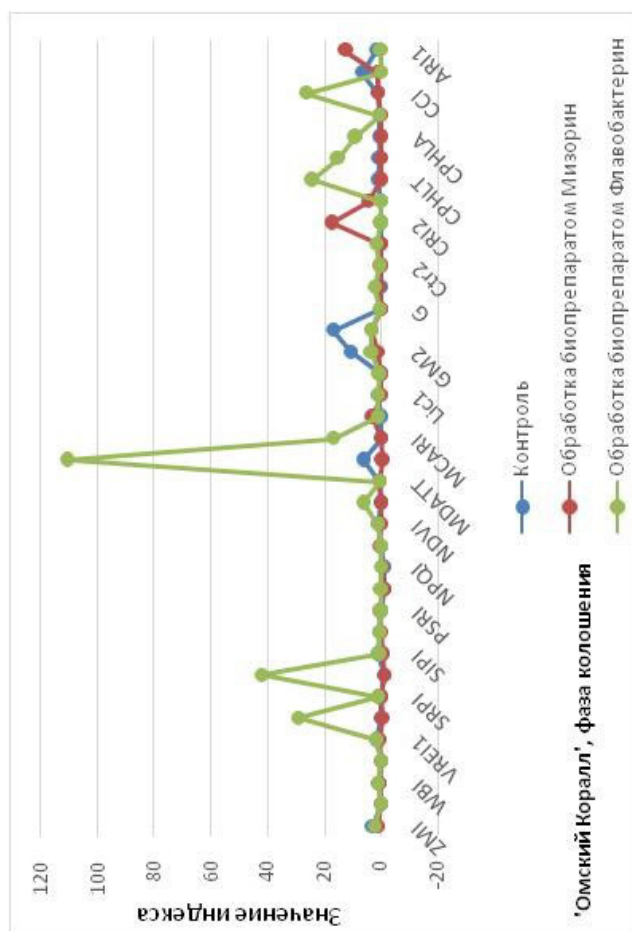
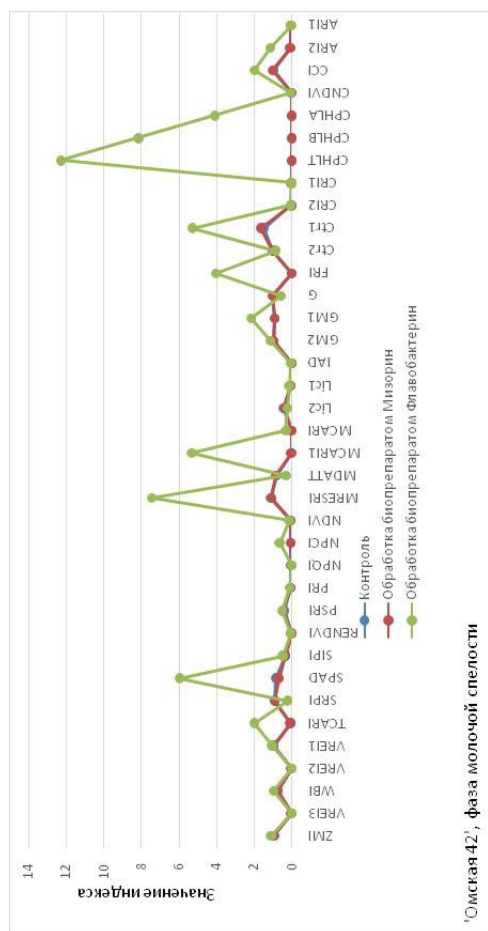
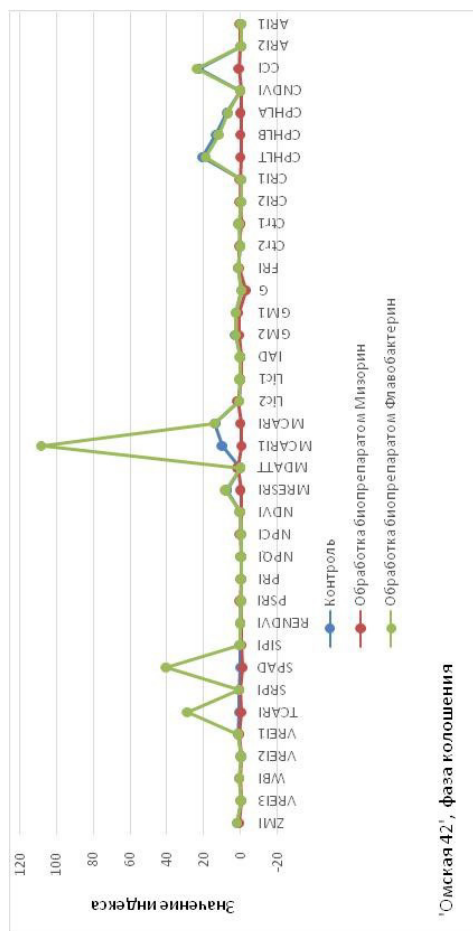


Рис. 1. Вегетационные индексы сортов яровой мягкой и твердой пшеницы

Fig. 1. Vegetation indices of spring bread and durum wheat cultivars

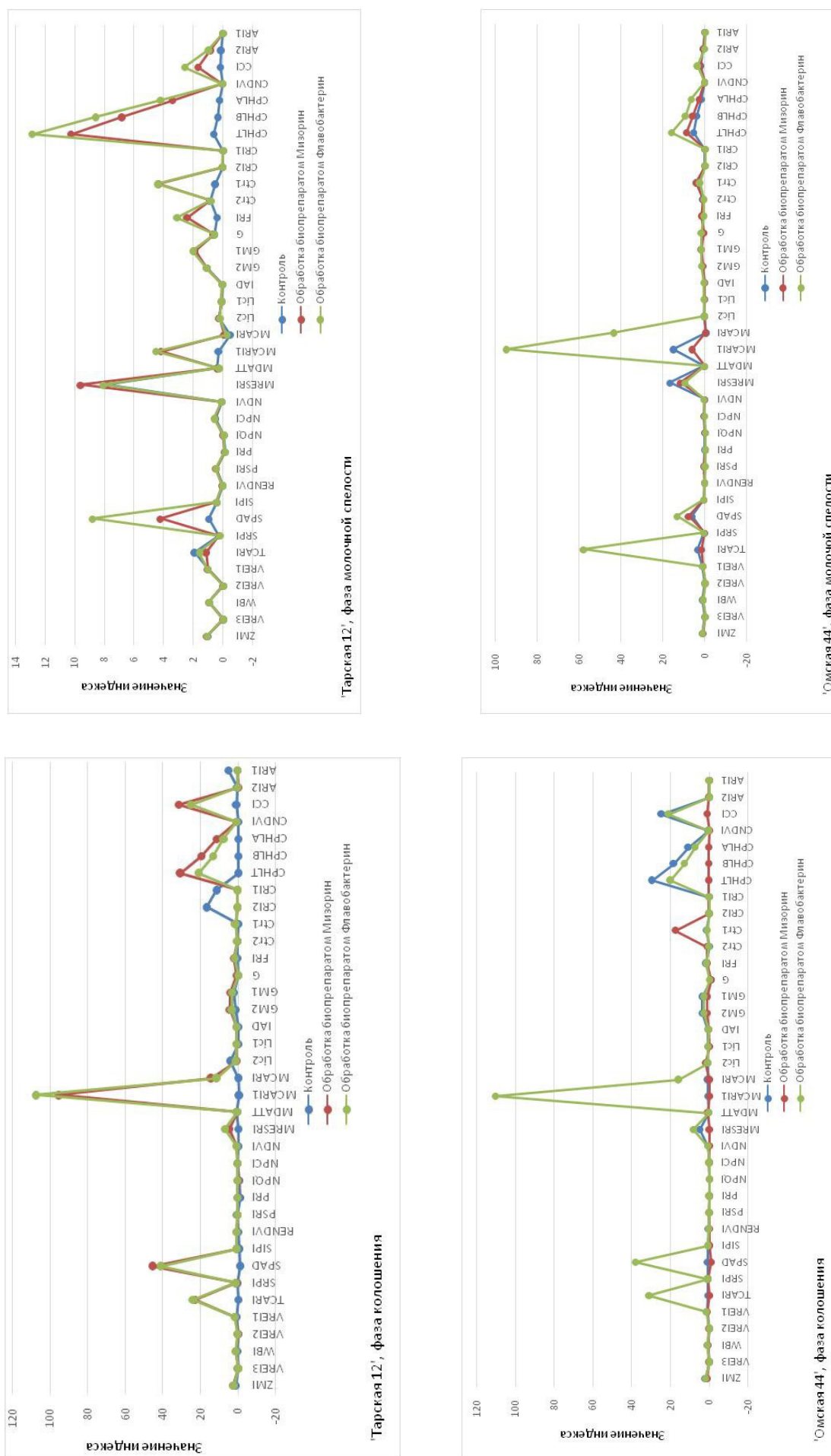


Рис. 1. Вегетационные индексы сортов яровой мягкой и твердой пшеницы (окончание)
Fig. 1. Vegetation indices of spring bread and durum wheat cultivars (the end)

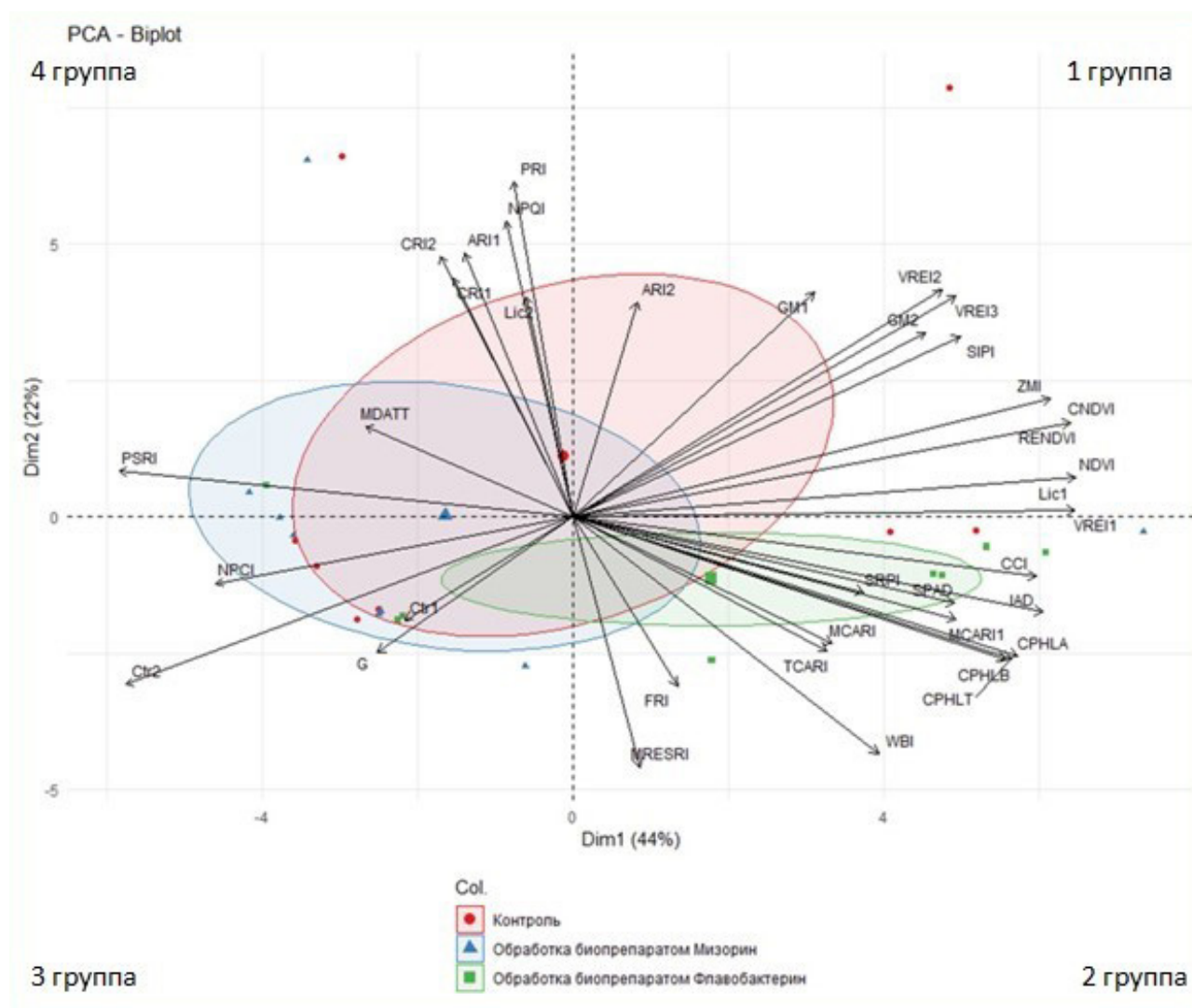


Рис. 2. Анализ главных компонент индексов спектрометра CI-710 в зависимости от применения биопрепаратов (здесь и далее – ось Dim1 показывает вклад в дисперсию первой главной компоненты, ось Dim2 – вклад в дисперсию второй главной компоненты; эллипс концентрации характеризует достоверность каждой группы)

Fig. 2. Principal component analysis of the CI-710 spectrometer indices depending on the use of biological products (here and further, the Dim1 axis shows the contribution of the first principal component to the dispersion, and the Dim2 axis shows the contribution of the second principal component to the dispersion; the concentration ellipse characterizes the statistical significance of each group)

Согласно данным биплота (см. рис. 2), все вегетационные индексы разделились на четыре группы (квадранта); угол между векторами указывает на коэффициент корреляции между индексами. В квадрант первой группы вошли индексы ARI2, GM1, GM2, VREI2, VREI3, ZMI, SIPI, CNDVI, RENDVI, NDVI, Lic1, имеющие обратную корреляцию с индексами третьей группы (G, Ctr1, Ctr2, NPCI). Индексы второй группы (VREI1, CCI, SPAD, SRPI, IAD, MCARI, MCARI1, CPHLT, CPHLB, CPHLA, WBI, FRI, TCARI, MRESRI) отрицательно коррелируют с индексами квадранта четвертой группы (PSRI, MDATT, CRI1, CRI2, ARI1, PRI, NPCI, Lic2).

Каждый вектор биплота (см. рис. 2) указывает направление резкого увеличения значений для соответствующих индексов. Так, для контрольного варианта характерны индексы Лихтеналера 1 и 2 (Lic1, Lic2), Зарко-Техады и Миллера (ZMI), а также индекс отражения антоцианина 1 (ARI1), которые свидетельствуют о стрессовом состоянии растений на данном фоне. О преждевре-

менной дихромации свидетельствуют также индексы фотохимического отражения (PRI), отражения каротиноидов (CRI1) и антоцианов (ARI1 и ARI2); отмечается высокая изменчивость индекса поверхности листьев (SIPI).

На фоне применения биопрепаратов наблюдается увеличение содержания хлорофилла в листьях, о чем свидетельствуют индексы: по мизорину – NPCI, Ctr 1, Ctr 2, G; по флавобактерину – MCARI 1, MCARI, TCARI, CCI, CPHLA, CPHLB, CPHLT. Также на фоне флавобактерина увеличились индексы отражения флавонолов (FRI), анализа почвы и растений (SPAD) и водный индекс (WBI).

Длина вектора указывает на вклад, вносимый каждым показателем в общий анализ данных. Согласно данному биplotу, все представленные индексы важны для анализа состояния растений. Наиболее важными показателями являются индекс отражения старения растений (PSRI) и индекс Картера2 (Ctr2), которые указывают на содержание хлорофилла и его сравнение с объемом каротиноидов. Наименее важны (согласно длине вектора) ин-

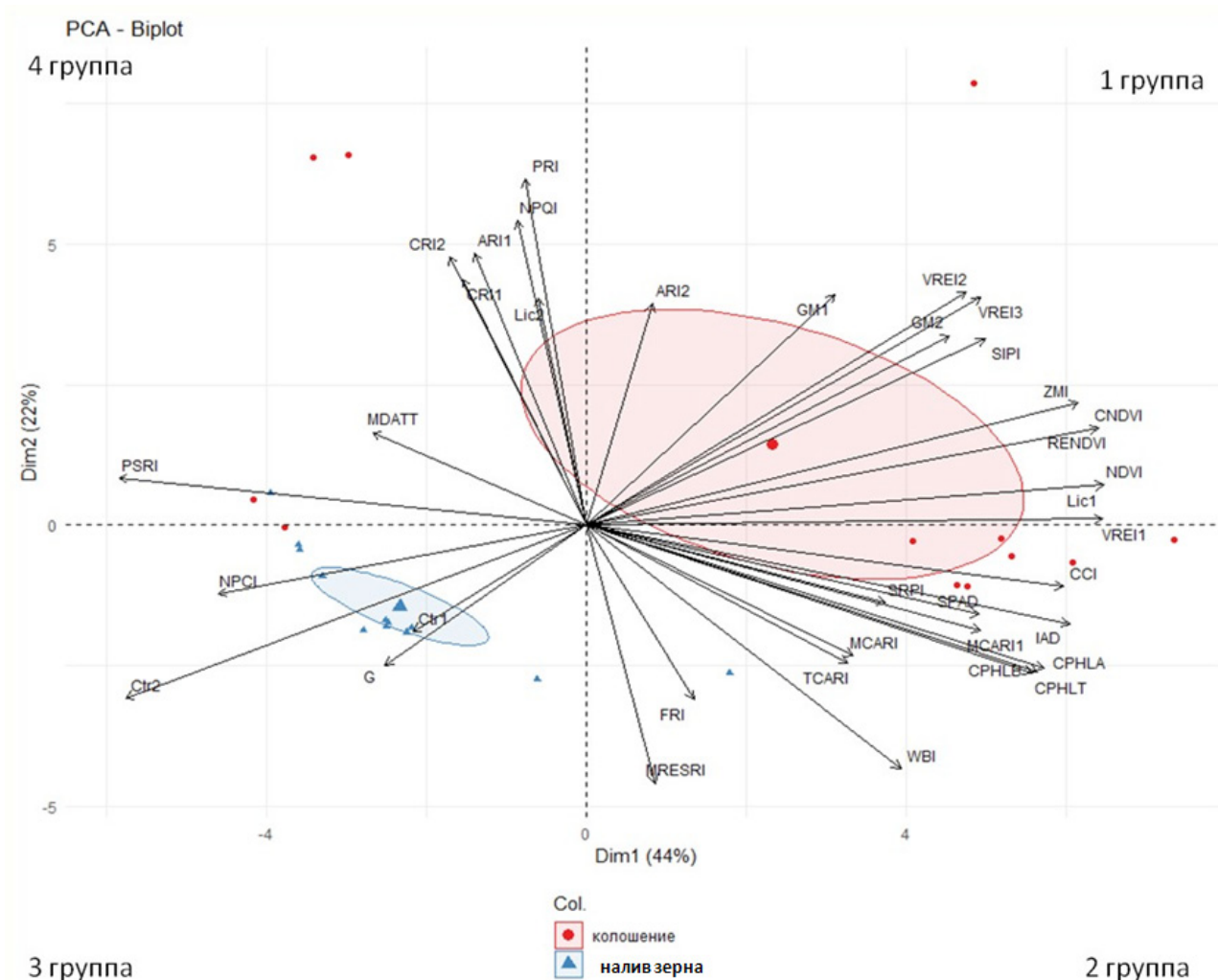


Рис. 3. Анализ главных компонент индексов спектрометра CI-710 в зависимости от фенологической фазы
Fig. 3. Principal component analysis of the CI-710 spectrometer indices depending on the phenological phase

дексы Ctr1, MDATT, Lic2, ARI2 и GM1, которые в некотором роде дублируются аналогичными индексами.

Поскольку первая компонента (Dim1) определена таким образом, что основная доля информации содержится именно в ней (дисперсия в направлении этой компоненты максимальна), и вторая компонента (Dim2) определяется аналогичным образом, то анализируя собственные значения осей (представляющих дисперсию), можно определить количество главных компонент, объясняющих исходные данные. Так, большую часть вариации первой компоненты (Dim1) объясняют индексы стрессового состояния растений (ZMI = 2,0%; Lic1 = 1,1%), оценки хлорофилла (VREI1 = 0,8%; NDVI = 1,1%; GM1 = 3,7%; GM2 = 3,2%), объем каротиноидов к объему хлорофилла (SIPI = 0,5%) и густоты растительности (CNDVI = 1,4%).

Ко второй компоненте (Dim 2) также относятся индексы оценки хлорофилла VREI2 и VREI3 (2,13 и 2,14% соответственно); к третьей (Dim3) – модифицированный индекс чувствительности к антоцианам (ARI2 = 0,9%) и ксантофилловым пигментам (PRI = 0,5%).

Согласно данным рисунка 3, в фазу колошения преобладающими являлись индексы первой группы (ARI2, GM1, GM2, VREI2, VREI3, SIPI, ZMI, CNDVI, RENDVI, NDVI, Lic1), второй (VREI1, CCI, SPAD, SRPI) и четвертой (CRI1, CRI2, ARI1, Lic2, PRI, NPCI). Для фазы налива зерна харак-

терны индексы квадранта третьей группы (G, Ctr1, Ctr2, NPCI). Именно по перечисленным индексам можно судить о степени развития растений в указанные фенологические фазы.

Таким образом, исследование вегетационных индексов показало их увеличение по отношению к контролю на фонах с применением биопрепаратов. То есть улучшение питания растений способствует изменению метаболизма в сторону приспособления к меняющимся условиям вегетации (Essaadia et al., 2022).

Урожайность является важнейшим показателем сорта, определяющим его производственную ценность (Yusova et al., 2020).

Применение биопрепаратов ассоциативных азотфиксаторов для инокуляции семян пшеницы оказало по одним сортам положительное влияние на урожайность зерна, а по другим снизило их продуктивность. Положительный эффект от инокуляции семян мизорином был получен у пшеницы сорта 'Омская 42' (+0,41 т/га к контролю) (рис. 4).

Предпосевная обработка семян флавобактерином увеличивала урожайность пшеницы сорта 'Омская 42' на 0,64 т/га; отрицательной на инокуляцию вышеупомянутым биопрепаратом по урожайности зерна была реакция сортов 'Тарская 12' и 'Омская 44' (снижение в пределах ошибки опыта).

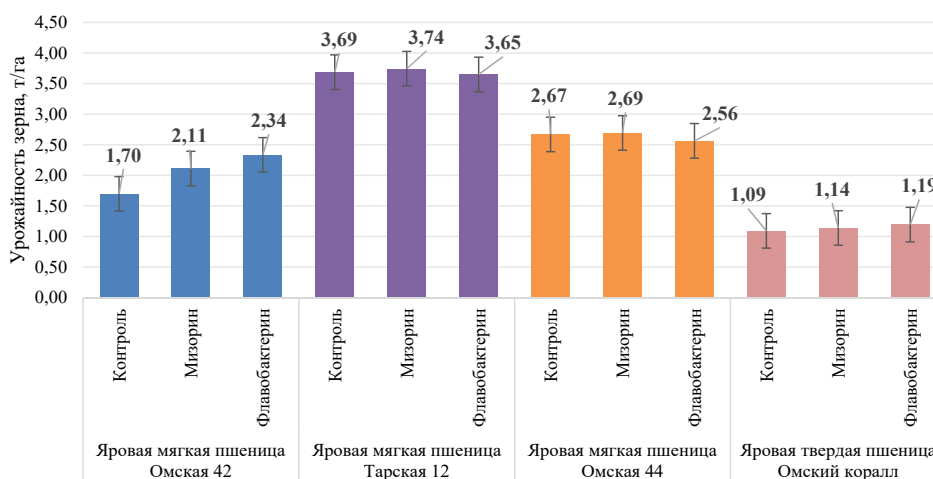


Рис. 4. Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от применения биопрепаратов
(HCP₀₅A-‘Омская 42’, ‘Тарская 12’, ‘Омская 44’, ‘Омский Коралл’ = 0,44; HCP₀₅B-контроль, «Мизорин», «Флавобактерин» = 0,31; HCP₀₅AB-взаимодействие вариантов агрокультура × биопрепарат = 0,77)

Fig. 4. Crop yield depending on the use of biological products (SSD₀₅A-‘Omskaya 42’, ‘Tarskaya 12’, ‘Omskaya 44’, ‘Omskiy Korall’ = 0.44; SSD₀₅B-control, Mizerin, Flavobacterin = 0.31; SSD₀₅AB-interaction of the variants of crop × biological product = 0.77)

Таким образом, подтвердилось мнение, что для установления эффективных ассоциативных взаимоотношений между растениями и микроорганизмами необходим тщательный подбор соответствующего штамма не только к культуре, но и к сорту (Vorobeykov et al., 2011).

Возможно, что для получения стабильного результата от применения ассоциативных штаммов бактерий требовалось внесение оптимальной дозы минеральных удобрений с целью компенсации возможных дефицитов и для стимуляции ростовых процессов растений.

Индексы TCARI и SPAD применяются для анализа содержания хлорофилла в растениях; SPAD – с поправкой на почву, что особенно актуально в наших исследованиях на различных фонах биопрепаратов. Имеются свидетельства, что концентрация пигментов хлорофилла тесно связана с фазой созревания, о чем можно судить по индексу SPAD. Индексы TCARI, SPAD, а также нормализованный индекс разницы вегетации (NDVI) являются точным предиктором фенологической стадии развития (Vincini et al., 2012; Guermazi et al., 2024).

Данные корреляционного анализа показали тесную взаимосвязь активности азотфиксации с урожайностью у всех исследуемых сортов ($r = 0,83-0,93$) в фазе налива зерна. Также, учитывая прямую сильную сопряженность индексов TCARI и SPAD с активностью азотфиксации ($r = 0,69-0,96$ и $r = 0,45-0,98$ соответственно) и с урожайностью ($r = 0,76-0,99$ и $r = 0,75-0,94$ соответственно) в фазе налива зерна, по ним можно судить о потенциальной урожайности сорта.

Согласно литературным источникам, метод оценки по перечисленным индексам имеет тесную взаимосвязь с лабораторными данными (Guermazi et al., 2024), является оптимальной моделью дистанционного зондирования содержания хлорофилла и имеет большое значение для управления сельскохозяйственным производством и повышения урожайности (You et al., 2012).

Заключение

Таким образом, внесенные бактерии усиливали азотфиксирующую активность в ризосфере в большинстве вариантов опыта. В условиях южной лесостепной зоны

Западной Сибири установлено, что стабильно высокие показатели ассоциативной азотфиксации были в ризосфере пшеницы сортов ‘Омская 42’ и ‘Омский Коралл’, составляя 150,7–322,0 и 140,0–393,0 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при интродукции бактерий рода *Arthrobacter* *mysorens* 7, 149,0–281,0 и 86,2–554,5 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при внесении *Flavobacterium* sp. соответственно.

Для идентификации повышенной активности роста и развития растений возможно применение следующих вегетационных индексов: **фаза колошения**: TCARI – 27,32 (Lim. 22,6–32,2); MCARI – 106,4 (Lim. 95,2–110,7); SPAD – 40,6 (Lim. 38,2–42,0); CPHLT – 25,02 (Lim. 19,0–30,9); CPHLB – 14,5 (Lim. 12,0–19,3); CPHLA – 8,46 (Lim. 7,0–11,3); CCI – 27,5 (Lim. 24,8–31,5); **фаза налива зерна**: CPHLT – 10,4 (Lim. 3,1–16,1); CPHLB – 7,2 (Lim. 3,4–6,6); CPHLA – 4,7 (Lim. 3,4–6,6). По значениям индексов TCARI и SPAD можно судить о потенциальной активности азотфиксации и урожайности сорта.

Главными индексами первой компоненты Dim1 являются ZMI (2,0%), Lic1 (1,1%), VREI1 (0,8%), NDVI (1,1%), GM 1 (3,7%) GM2 (3,2%), SIPI (0,5%), CNDVI (1,4%).

Ко второй компоненте (Dim2) относятся VREI2 (2,13%) и VREI3 (2,14%); к третьей (Dim3) – ARI 2 (0,9%) и PRI (0,5%).

Индексы TCARI и SPAD тесно связаны с активностью азотфиксации ($r = 0,69-0,96$ и $r = 0,45-0,98$ соответственно) и с урожайностью ($r = 0,76-0,99$ и $r = 0,75-0,94$) в фазе налива зерна, что можно использовать для управления урожайностью.

References / Литература

Almetov N.S., Berdnikov V.V., Volkov E.G., Semenov P.N. The effectiveness of the use of associative nitrogen-fixing biologicals on cereal crop fields (Effektivnost ispolzovaniya assotsiativnykh azotfiksiruyushchikh biopreparatov na posevakh zernovykh kultur). *Byulleten Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta udobreniy i agropochvovedeniya im. D.N. Pryanishnikova = Bulletin of the D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Fertilizers and Agricultural Soil Science*. 2001;(114):56. [in Russian] [Алметов Н.С., Бердников В.В., Волков Е.Г., Семенов П.Н. Эффективность использования ассоциативных азотфиксирующих биопрепаратов на посевах зерновых культур].

- нов П.Н. Эффективность использования ассоциативных азотфиксирующих биопрепаратов на посевах зерновых культур. *Бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова*. 2001;(114):56.
- CID Bio-Science. CI-710s SpectraVue Leaf Spectrometer. Leaf spectroscopy for rapid non-destructive plant stress measurement: [website]. Available from: <https://cid-inc.com/plant-science-tools/leaf-spectroscopy/ci-710-miniature-leaf-spectrometer/> [accessed Jan. 01, 2024].
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспихов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Essaadia A., Abdellah A., Ahmed A., Abdelouahed F., Kamal E. The normalized difference vegetation index (NDVI) of the Zat valley, Marrakech: comparison and dynamics. *Heliyon*. 2022;8(12):e12204. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e12204
- Glick B.R., Todorovic B., Czarny J., Cheng Z., Duan J., McCorkley B. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2007;26(5-6):227-242. DOI: 10.1080/07352680701572966
- Guermazi E., Wali A., Ksibi M. Combining remote sensing, SPAD readings, and laboratory analysis for monitoring olive groves and olive oil quality. *Precision Agriculture*. 2024;25(1):65-82. DOI: 10.1007/s11119-023-10058-0
- Kanash E.V., Litvinovich A.V., Kovleva A.O., Osipov Yu.A., Salnikov E. Productivity and optical characteristics of three wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under liming and nitrogen fertilization. *Agricultural Biology*. 2018;53(1):61-71. [in Russian] (Канаш Е.В., Литвинович А.В., Ковлева А.О., Осипов Ю.А., Сальников Э. Продуктивность и оптические характеристики трех сортов пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при известковании и внесении азотных удобрений. *Сельскохозяйственная биология*. 2018;53(1):61-71). DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.61rus
- Kinhal V. Essential applications of leaf spectrometers. CID Bio-Science; 2022. Available from: <https://cid-inc.com/blog/6-essential-applications-of-leaf-spectrometers/> [accessed Jun. 01, 2024].
- Kozhevnikov P.A. Soil "health" indicators in soil assessment (review). *Moscow University Bulletin. Series 17. Soil Science*. 2023;78(2):16-25. [in Russian] (Кожевников П.А. Показатели почвенного «здоровья» в оценке почв (обзор). *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. 2023;78(2):16-25). DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-16-25
- Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*. 2000;51(345):659-668. DOI: 10.1093/jxb/51.345.659
- Miner V.G., Safrina O.S., Shabayev V.P. The effect of *Pseudomonas* bacteria on some physiological and biochemical processes in table beet plants (Vliyaniye bakteriy roda *Pseudomonas* na nekotorye fiziologo-biokhimiicheskiye protsessy v rasteniyakh stolovoy svekly). *Doklady Vsesoyuznoy akademii selskokhozyaystvennykh nauk im. V.I. Lenina = Reports of the V.I. Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences*. 1992;(1):16-21. [in Russian] (Минер В.Г., Сафрина О.С., Шабайев В.П. Влияние бактерий рода *Pseudomonas* на некоторые физиолого-биохимические процессы в растениях столовой свеклы. *Доклады Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина*. 1992;(1):16-21).
- Mudrik V.A., Luchitskaya O.A. Effect of microfertilizers activating associative nitrogen fixation on the drought and cold resistance of spring and winter wheat. *Agricultural Chemistry*. 2014;(4):70-73. [in Russian] (Мудрик В.А., Лучицкая О.А. Влияние препаратов микроудобрений, активизирующих ассоциативную азотфиксацию, на засухо- и холодоустойчивость растений яровой пшеницы. *Агрохимия*. 2014;(4):70-73).
- Schott P.R. Fixation of atmospheric nitrogen in annual agrocenoses (Fiksatsiya atmosfernogo azota v odnoletnikh agrotsenozakh). Barnaul: Azbuka; 2007. [in Russian] (Шотт П.Р. Фиксация атмосферного азота в однолетних агроценозах. Барнаул: Азбука; 2007).
- Shabayev V.P. Nitrogen nutrition and productivity of pea and oat plants inoculated with *Pseudomonas fluorescens* 20. *Agricultural Chemistry*. 2006;(10):28-32. [in Russian] (Шабайев В.П. Азотное питание и продуктивность растений гороха и овса при инокуляции бактерией *Pseudomonas fluorescens* 20. *Агрохимия*. 2006;(10):28-32).
- Smashkevsky N. Ecology of photosynthesis. *Astrakhan Bulletin for Environmental Education*. 2014;2(28):165-180. [in Russian] (Смашевский Н.Д. Экология фотосинтеза. *Астраханский вестник экологического образования*. 2014;2(28):165-180).
- Souza E.M., Chubatsu L.S., Huergo L.F., Camilios-Neto D., Wassem R. et al. Use of nitrogen-fixing bacteria to improve agricultural productivity. *BMC Proceedings*. 2014;8 Suppl 4:023. DOI: 10.1186/1753-6561-8-S4-023
- The use of vegetation indices for vegetation analysis (Ispol'zovaniye vegetatsionnykh indeksov dlya analiza rastitelnosti). Proxima; 2022. [in Russian] (Использование вегетационных индексов для анализа растительности. Proxima; 2022). URL: <https://gisproxima.ru/ispolzovanie-vegetatsionnykh-indeksov> [дата обращения: 24.01.2024].
- Tikhonovich I.A., Provorov N.A. Agricultural microbiology as the basis of ecologically sustainable agriculture: fundamental and applied aspects. *Agricultural Biology*. 2011;46(3):3-9. [in Russian] (Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты. *Сельскохозяйственная биология*. 2011; 46(3):3-9).
- Tikhonovich I.A., Zavalin A.A. Application potential of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms for increasing the efficiency of the agroindustrial complex and improving the agroecological situation in Russian Federation. *Plodorodie = Fertility*. 2016;5(92):28-32. [in Russian] (Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ. *Плодородие*. 2016;5(92):28-32).
- Umarov M.M. Acetylene method for studying nitrogen fixation in soil microbiological studies (Atsetilenovyy metod izucheniya azotfiksatsii v pochvenno-mikrobiologicheskikh issledovaniyakh). *Eurasian Soil Science*. 1976;(1):119-123. [in Russian] (Умаров М.М. Ацетиленовый метод изучения азотфиксации в почвенно-микробиологических исследованиях. *Почвоведение*. 1976;(1):119-123).
- Umarov M.M. The associative nitrogen fixation in biosphere. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2009;(2):22-26. [in Russian] (Умаров М.М. Азотфиксация в ассоциациях организмов. *Проблемы агрохимии и экологии*. 2009;(2):22-26).

- Umarov M.M., Kurakov A.V., Stepanov A.L. Microbiological transformation of nitrogen in soil (Mikrobiologicheskaya transformatsiya azota v pochve). Moscow: GEOS; 2007. [in Russian] [Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. Москва: ГЕОС; 2007].
- Vincini M., Amaducci S., Frazzi E. Sensitivity of Sentinel-2 Red-Edge bands to leaf chlorophyll concentration in winter wheat. In: L. Ouwehand (ed). *Proceedings of the First Sentinel-2 Preparatory Symposium; 23–27 April, 2012; Frascati, Italy*. Noordwijk: ESA Communications; 2012. p.12.
- Vorobeykov G.A., Pavlova T.K., Kondrat S.V., Lebedev V.N., Yurgina V.S., Muratova R.R. et al. A study of associative rhizobacteria efficiency for economic plants. *Izvestia: Herzen University Journal of Humanities and Sciences*. 2011;(141):114-123. [in Russian] [Воробейков Г.А., Павлова Т.К., Кондрат С.В., Лебедев В.Н., Юргина В.С., Муратова Р.Р. и др. Исследование эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах различных видов растений. *Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена*. 2011;(141):114-123].
- Westhoff P. The economics of biological nitrogen fixation in the global economy. In: D.W. Emerich, H.B. Krishnan (eds). *Nitrogen Fixation in Crop Production. Vol. 52*. Madison, WI: American Society of Agronomy; 2009. p.309-328. DOI: 10.2134/agronmonogr52.c11
- Yakushev V.P. Remote methods and tools in information support of precision agriculture: state and prospects (Distantionnye metody i sredstva v informatsionnom obespechenii tochnogo zemledeliya: sostoyaniye i perspektivy). In: *Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference with International Participation "Application of Earth Remote Sensing Tools in Agriculture"; St. Petersburg, September 26–28, 2018 (Materialy II Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem "Primeneniye sredstv distantionnogo zondirovaniya Zemli v selskom khozyaystve"; Sankt-Peterburg, 26–28 sentyabrya 2018 g.)*. St. Petersburg: Agrophysical Research Institute; 2018. p.3-11. [in Russian] [Якушев В.П. Дистанционные методы и средства в информационном обеспечении точного земледелия: состояние и перспективы. В кн.: *Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве»; Санкт-Петербург, 26–28 сентября 2018 г.* Санкт-Петербург: Агрофизический научно-исследовательский институт; 2018. С.3-11]. DOI: 10.25695/agrophysica.2018.2.18484
- You M.M., Chang Q.R., Tian M.L., Ban S.T., Yu J.Y., Zhang Z.R. Estimation of rapeseed leaf SPAD value based on random forest regression. *Agricultural Research in the Arid Areas*. 2019;37(1):74-81. DOI: 10.7606/j.issn.1000-7601.2019.01.10
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Vasiukevich V.S., Aniskov N.I., Safonova I.V. Spring grain quality of Omsk oat varieties in the extreme environmental conditions. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020;2(55):84-96. [in Russian] [Юсова О.А., Николаев П.Н., Васюкевич В.С., Анисков Н.И., Сафонова И.В. Уровень качества зерна Омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2020;2(55):84-96]. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96
- Zharikova E.P., Grigoriev J.Yu., Grigorieva A.L. Artificial intelligence methods for detecting water pollution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;988:022082. DOI: 10.1088/1755-1315/988/2/022082
- Zlotnikov A.K. Rhizosphere nitrogen-fixing association of *Bacillus firmus* – *Klebsiella terrigena* and its effect on spring barley during inoculation (Rizosferная азотфиксирующая ассоциация *Bacillus firmus* – *Klebsiella terrigena* и ее влияние на яровую пшеницу при инокуляции) [dissertation]. Moscow: Moscow State University; 1998. [in Russian] [Злотников А.К. Ризосферная азотфиксирующая ассоциация *Bacillus firmus* – *Klebsiella terrigena* и ее влияние на яровую пшеницу при инокуляции: дис. ... канд. биол. наук. Москва: Московский государственный университет; 1998). URL: <https://www.disserscat.com/content/rizosferная-azotfiksiruyushchaya-assotsiatsiya-bacillus-firmus-klebsiella-terrigena-i-ee-vliyanie-na-yarovuyu-pshenitsu-pri-inozulatsii> [дата обращения: 03.06.2024].

Информация об авторах

Наталья Николаевна Шулико, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, shuliko@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5641-434X>

Оксана Александровна Юсова, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, yusova@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

Алина Андреевна Киселёва, младший научный сотрудник, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, veybender@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5089-3703>

Елена Васильевна Тукмачева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, tukmacheva@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1312-3881>

Вадим Станиславович Юсов, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, vs_ysov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4159-3872>

Екатерина Владимировна Кубасова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, kubasova@anc55.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3166-0028>

Ирина Анатольевна Корчагина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, korchagina@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5188-7148>

Артем Юрьевич Тимохин, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, Омск, пр. Королева, 26, timokhin@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>

Information about the authors

Natalia N. Shuliko, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia, shuliko@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5641-434X>

Oksana A. Yusova, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia, yusova@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

Alina A. Kiselyova, Associate Researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia, veybender@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5089-3703>

Elena V. Tukmacheva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia, tukmacheva@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1312-3881>

Vadim S. Yusov, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia, vs_ysov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4159-3872>

Ekaterina V. Kubasova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russia, kubasova@anc55.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3166-0028>

Irina A. Korchagina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russia, korchagina@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5188-7148>

Artem Yu. Timokhin, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Omsk Agricultural Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia, timokhin@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 03.07.2024; одобрена после рецензирования 06.10.2024; принята к публикации 03.12.2024.
The article was submitted on 03.07.2024; approved after reviewing on 06.10.2024; accepted for publication on 03.12.2024.