

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.1:581.192:543.421/.424

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-61-70



Экспресс-оценка основных хозяйственно значимых показателей в зерне озимых и яровых форм тритикале с помощью инфракрасной спектроскопии

В. С. Попов¹, Н. Г. Конькова¹, Т. В. Шеленга¹, В. И. Хорева¹, И. А. Кибкало¹, М. Х. Гаджимагомедова², Л. Г. Суварян^{1,3}

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция, Дербентский район, Россия

³ Гюмрийская селекционная станция, Ширакская область, Армения

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Васильевна Шеленга, tatianashelenga@yandex.ru

Актуальность. Получены калибровочные модели для экспресс-оценки хозяйственно ценных показателей (цветность, зольность, влажность, содержание белка, крахмала, амилозы, клетчатки) в зерновках озимых и яровых форм тритикале из коллекции ВИР методом ближней инфракрасной спектроскопии (БИК-спектроскопии). С помощью разработанных калибровочных моделей можно будет определить направление наиболее оптимального использования отдельных образцов тритикале.

Материалы и методы. Показатели хозяйственной ценности (цветность, зольность, влажность, содержание белка, крахмала, амилозы, клетчатки) изучались на выборке из 32 образцов зерна озимых и яровых форм тритикале (*Triticosecale* Wittm. & A. Samus), репродуцированных в 2021–2022 гг. на Дагестанской опытной станции – филиале ВИР. Калибровочные модели для определения цветности, зольности, влажности, содержания белка, амилозы, крахмала, клетчатки в зерне тритикале созданы на базе ИК-анализатора MATRIX-I (Bruker Optics, Германия). Калибровочные модели разрабатывались на основе значений, полученных классическими методами биохимического анализа, принятыми в ВИР.

Результаты. Достоверность калибровочных моделей проверялась на рандомно взятой партии образцов зерна тритикале путем сравнения результатов, полученных с помощью новых калибровок и методов биохимического анализа. В результате проверки установлено, что показатели, полученные с помощью калибровочных кривых для определения содержания белка и зольности, являлись достоверными, другие модели нуждаются в доработке.

Заключение. Калибровочные модели для определения белка и зольности, полученные с помощью ИК-анализатора MATRIX-I, могут применяться для экспресс-оценки зерна озимых и яровых форм тритикале. Использование метода дает возможность ускорить процесс получения характеристики культуры по ряду основных хозяйственно ценных показателей и сохранить ценный селекционный материал.

Ключевые слова: яровые и озимые формы тритикале, калибровочная модель, метод БИК-спектроскопии, цветность, зольность, влажность, белок, крахмал, амилоза, клетчатка

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке государственного проекта «Хлеба России» (соглашение № 075-15-2021-1066 от 28 сентября 2021 г.).

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

Для цитирования: Попов В.С., Конькова Н.Г., Шеленга Т.В., Хорева В.И., Кибкало И.А., Гаджимагомедова М.Х., Суварян Л.Г. Экспресс-оценка основных хозяйственно значимых показателей в зерне озимых и яровых форм тритикале с помощью инфракрасной спектроскопии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):61-70. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-61-70

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-61-70

Rapid assessment of main agronomic indicators in the grain of winter and spring forms of triticale using infrared spectroscopy

Vitaliy S. Popov¹, Nina G. Konkova¹, Tatiana V. Shelenga¹, Valentina I. Khoreva¹, Ilya A. Kibkalo¹,
Mina Kh. Gadjimagomedova², Lusine G. Suvaryan^{1,3}

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station, Derbent, Russia

³ Gyumri Breeding Station, Shirak Marz, Armenia

Corresponding author: Tatiana V. Shelenga, tatianashelenga@yandex.ru

Background. Calibration models were developed for rapid assessment of crucial agronomic indicators in the grain of winter and spring triticale from the VIR collection using near-infrared spectroscopy (NIRS). These calibration models will enable users to find the most optimal utilization trends for individual triticale accessions.

Materials and methods. Indicators of agronomic value (coloration, moisture, and the content of ash, protein, starch, amylose and fiber) were studied on a set of 32 grain samples collected from winter and spring triticale forms (*Triticosecale* Wittm. & A. Camus) reproduced in 2021–2022 at the Dagestan Experiment Station, a branch of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). Calibration models for the assessment of the said agronomic characters in triticale grain were developed on the platform of the MATRIX-I IR analyzer (Bruker Optics, Germany) and based on the values obtained by classical methods of biochemical analysis adopted at VIR.

Results. Reliability of the calibration models was tested on a randomized batch of triticale grain samples: the results of the new calibrations were compared with those of the conventional biochemical analysis. This verification showed that the data obtained through the use of calibration curves were reliable for protein and ash content, while other models required further improvement.

Conclusion. Calibration models for measuring protein and ash content developed on the basis of the MATRIX-I IR analyzer can be used to perform rapid assessment of the winter and spring triticale grain. This method makes it possible to accelerate the process of obtaining crop characteristics for a number of basic agronomic characters and preserve valuable breeding material.

Keywords: spring and winter triticale forms, calibration model, near-infrared spectroscopy, coloration, ash content, protein, moisture, starch, amylase, fiber

Acknowledgements: the work was supported by the funds of the state project “Bread of Russia” (Agreement No. 075-15-2021-1066 of September 28, 2021).

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

For citation: Popov V.S., Konkova N.G., Shelenga T.V., Khoreva V.I., Kibkalo I.A., Gadjimagomedova M.Kh., Suvaryan L.G. Rapid assessment of main agronomic indicators in the grain of winter and spring forms of triticale using infrared spectroscopy. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):61-70. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-61-70

Введение

Тритикале – зерновая культура, созданная путем скрещивания пшеницы и ржи, представляет собой амфидиплоид пшенично-ржаных гибридов (Grabovets, Krokhmal, 2019). Тритикале относится к семейству Мятликовые (Poaceae), в настоящее время выделена в отдельный самостоятельный полиморфный ботанический род *Triticosecale* Wittm. & A. Camus.

По химическому составу зерно тритикале представляет собой типичный злак, характеризующийся высоким содержанием углеводов и белка, варьирующим в очень широких пределах в зависимости от сорта, применяемой агротехники и других факторов (Kazakov, 1980; Chikida et al., 2015; Kondratenko et al., 2015). В Российской Федерации тритикале имеет три основных направления хозяйственного использования: фураж, хлебопечение, зеленая кормовая масса (Gruzdev et al., 1976; Kurkiev, 2000; Grabovets, Krokhmal, 2019). Оценка основных хозяйственно ценных показателей зерна у озимых и яровых форм тритикале, таких как цветность, зольность, влажность, содержание белка, амилозы, крахмала, клетчатки, является одним из ключевых звеньев для определения направления использования того или иного образца.

Химические (традиционные) методы определения показателей зерна (Ermakov et al., 1987) требуют больших затрат расходных материалов, реактивов, являются трудоемкими и довольно длительными; кроме того, на проведение анализов расходуется ценный зерновой материал в виде муки. Поэтому одним из оптимальных методов экспресс-оценки качества являются ИК-анализаторы в ближней области инфракрасного спектра (Efimenko et al., 2015, 2016; Abd Manaf, Chung, 2018; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2019). Метод основан на получении индивидуальной ИК-спектральной характеристики образца (Heise et al., 2009). Сам спектр (в шкале волновых чисел) образуется после выполнения специальных математических расчетов интерферограммы (обратное преобразование Фурье) и в дальнейшем сопоставляется с данными, полученными рутинными биохимическими методами, что выражается в структуре новой калибровочной модели, которую можно использовать для экспресс-оценки качества той или иной культуры. При этом можно пользоваться как мучным, так и зерновым модулем подачи материала для анализа, что значительно расширяет возможности сохранения ценного материала для последующих селекционных работ (Khoreva et al., 2022; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2022).

В настоящей статье описано получение калибровочных моделей для оценки основных показателей хозяйственной ценности зерна тритикале с помощью ИК-анализатора MATRIX-I (Bruker, Германия) при использовании зернового модуля подачи материала.

Цель работы – разработка калибровочных моделей для оценки цветности, зольности, влажности, содержания белка, амилозы, крахмала, клетчатки в образцах зерна озимых и яровых форм тритикале (32 образца); апробация разработанных калибровочных кривых и оценка достоверности результатов, полученных с применением ИК-анализатора MATRIX-I.

Ценность полученных калибровочных кривых состоит в снижении стоимости скрининга образцов зерна озимых и яровых форм тритикале по основным показателям хозяйственной ценности (цветность, зольность, влажность, содержание белка, крахмала, амилозы, клетчат-

ки), увеличении производительности труда (количество образцов в единицу рабочего времени). При необходимости разработанные ИК-модели калибровочных кривых можно обновлять и дополнять новыми данными, полученными для образцов последующих лет репродукций в условиях различных регионов РФ, что дает возможность увеличения достоверности ИК-моделей для зерна тритикале.

Материалы и методы

Исходным материалом для исследований послужили образцы тритикале различного происхождения и типа развития из мировой коллекции ВИР. Всего для построения калибровочной модели была взята выборка из 32 образцов зерна озимых (12) и яровых (20) форм различного происхождения (табл. 1).

Работа проводилась в 2021–2022 гг. на Дагестанской опытной станции – филиале ВИР. Дагестанская ОС расположена в южной плоскостной зоне Дагестана, на 8,0 м ниже уровня моря. Рельеф выровненный. Почвы каштановые, среднегумусные, глубоко столбчатые солонцы, тяжелосуглинистой разности. Климат сухой, субтропический. Среднее количество осадков составляет 200–500 мм, сумма активных температур – 3400–4500°C (Batasheva, Abdullaev, 2012).

Полевые опыты закладывали в зернопаропропашном севообороте в оптимальные для озимого (октябрь) и ярового (март) тритикале сроки в соответствии с методическими разработками ВИР (Merezhko et al., 1999). Учитывая особенности репродукции культуры в условиях Дагестанской ОС по сравнению с другими регионами РФ, данная работа будет иметь значение для оценки образцов тритикале, включенных в селекционный процесс в условиях Северо-Кавказского федерального округа.

Зерно тритикале предварительно измельчалось на лабораторной мельнице LabMill-1 (LaborMim, Венгрия) до состояния мелкодисперсной муки с размером частиц до 10 мкм. Из однородной средней пробы брали навески муки на биохимический анализ, который проводили в отделе биохимии и молекулярной биологии по методикам, принятым в ВИР (Ermakov et al., 1987).

Содержание белка/азота определяли по методу Кьельдаля (коэффициент для тритикале – 5,7) на автоматическом анализаторе белка Kjeltec 2200 (Швеция); содержание крахмала – поляриметрическим методом Эверса (коэффициент перерасчета для тритикале – 183,4) на автоматическом поляриметре-сахариметре SAC-i (Япония); содержание амилозы в зерне – спектрофотометрическим методом по калибровочной кривой, построенной по чистым растворам амилозы на спектрофотометре Novaspec II (Англия); содержание клетчатки – по весовому методу Венде на экстракционной установке Dosi-Fiber FIWE-6 (VELP, Италия); содержание сухого вещества (влажности) – методом, основанном на взвешивании части измельченной средней пробы до и после высушивания при температуре 100–102°C до постоянной массы с использованием сушильного шкафа Memmert (Германия); зольность определяли методом, принятым в лаборатории технической оценки ВИР (Ermakov et al., 1987); цветность – по ГОСТ 10967-2019 (GOST 10967-2019..., 2019). Для построения калибровочной модели использовали средние значения показателей двух биологических повторностей каждого образца тритикале. Спектры образцов зерна озимых и яровых форм тритикале регистрировались в диапазоне 4000–12 800 см⁻¹

Таблица 1. Список образцов озимых и яровых форм тритикале, взятых в исследование**Table 1. List of winter and spring triticale accessions selected for the study**

№ по каталогу ВИР	Происхождение	Название
Яровые		
3676	Ленинградская обл.	Скорый
4008	Польша	Dublet
4092	Владимирская обл.	Россия
4140	Ростовская обл.	Саур
4150	Владимирская обл.	Доброе
4153	Мексика	МХ-51
4204	Дагестан	ПРАГ 580
4210	Краснодарский край	Ярик 11
4211	Краснодарский край	Савва
4212	Владимирская обл.	Дорофея
4222	Владимирская обл.	Слово
4225	Тюменская обл.	236-2СП 1-16
4226	Тюменская обл.	237-2СП 1-16
4237	Краснодарский край	Явор
4247	Краснодарский край	Хавр
4252	Краснодарский край	Тимур
4281	Дагестан	ПРАГ 612
4289	Белоруссия	Гелио
4290	Белоруссия	Браво
4291	Белоруссия	Э 2460
Озимые		
3589	Ростовская обл.	Кентавр
4054	Дагестан	ПРАГ 532 /1
4093	Воронежская обл.	Вято
4114	Новосибирская обл.	Сирс 57
4164	Ленинградская обл.	Белинда
4183	Краснодарский край	Тихон
4208	Липецкая обл.	Норд
4209	Московская обл.	Тимирязевская 155
4223	Ростовская обл.	Арион
4228	Дагестан	ПРАГ 584
4262	Дагестан	ПРАГ 593
4274	Дагестан	ПРАГ 605

(0,780 ÷ 2,500 мкм) с разрешением 16 см⁻¹ в соответствии с руководством для Фурье-спектрометра MATRIX-I фирмы Bruker Optik GmbH (Германия) (рис. 1).

Спектры для каждого образца регистрировались в трех повторностях с пересыпанием зерна образца в кювете диаметром 51 мм (навеска около 30 г). В результате получены 96 спектров, из них 60 для яровых и 36 для озимых форм тритикале. Необходимо отметить, что в процессе разработки моделей для повышения коэффициента детерминации из таблицы спектров была удалена часть зарегистрированных спектров: цветность – 1, зольность – 5, влажность – 9, крахмал – 6, амилоза – 29 и клетчатка – 6. С использованием полученных спектров методом векторной нормализации в зерне тритикале были построены калибровочные модели по определению цветности, зольности, влажности, содержания белка, крахмала, амилозы, клетчатки. Получение спектральных характеристик, обработка биохимических данных, построение моделей калибровочных кривых осуществлялись с помощью программного обеспечения OPUS Software и пакета программ Microsoft Office 2016. Работа спектрометра контролировалась программным обеспечением (ПО) OPUS™, версии 6.5 и 7.0. Также в состав ПО входит приложение OPUS Validation Program (OVP) – прикладная программа, обеспечивающая автоматическую проверку спектрометра, выполняющая Тест Качества Работы (PQ) и Тест Качества Функционирования (OQ).

Результаты и их обсуждение

Значения основных показателей хозяйственной ценности влияют на направление использования отдельных образцов тритикале. Для разработки калибровочных моделей необходимо установить зависимость содержания каждого из показателей хозяйственной ценности от характеристик спектров соответствующих образцов зерна тритикале с помощью программного обеспечения OPUS.

Исследования показали, что объединение всех образцов в одну калибровочную модель позволяет повысить устойчивость такой модели за счет максимально широкого диапазона изменчивости признака содержания исследуемого показателя в зерне. Диапазон изменчивости показателя цветности в зерне тритикале составил от 80,7 до 83,5%; зольности – от 1,55 до 2,24%; влажности – от 9,0 до 10,5%; белка – от 10,1 до 16,9%; амилозы – от 11,08 до 18,07%; крахмала – от 55,45 до 64,15%; клетчатки – от 1,3 до 2,8%. При этом диапазон изменчивости по данным показателям составил для озимого тритикале 80,7–83,2 (цветность), 1,63–2,24 (зольность), 9,0–10,0 (влажность), 10,6–16,9 (белок), 11,08–18,07 (амилоза), 55,45–63,63 (крахмал), 1,3–2,8 (клетчатка); для ярового – 81,5–83,5 (цветность); 1,55–2,05 (зольность); 9,0–10,5 (влажность); 10,1–14,3 (белок); 11,53–17,84 (амилоза); 56,83–64,15 (крахмал); 1,8–2,8 (клетчатка).

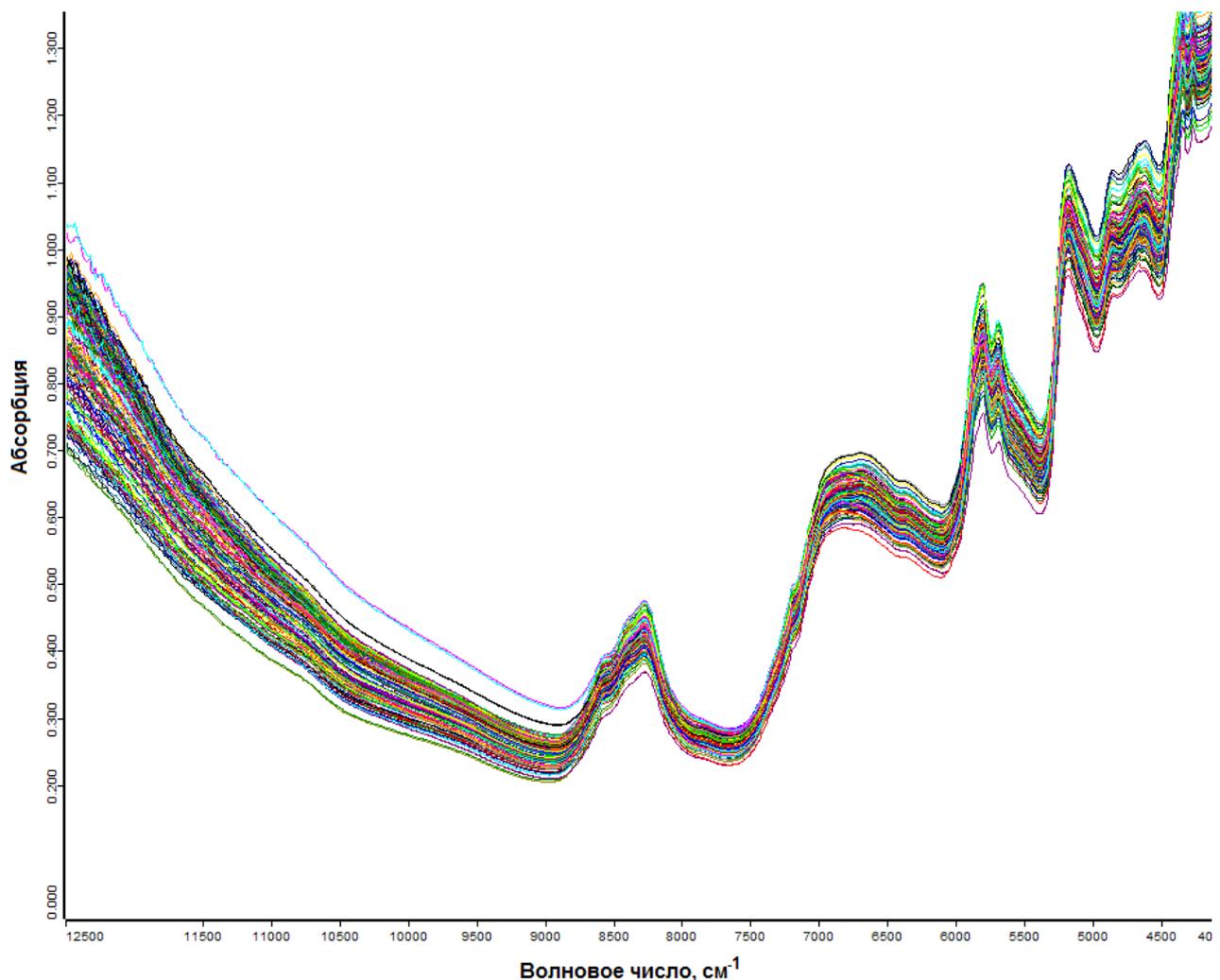


Рис. 1. ИК-спектры образцов зерна озимых и яровых форм тритикале

Fig. 1. IR spectra of winter and spring triticale grain samples

На рисунке 2 представлены калибровочные модели для определения содержания белка (А) и зольности (В) в образцах зерна тритикале.

Почти все прогнозируемые значения трех повторностей располагаются на линии калибровочной кривой. Показатели зольности проявляют небольшую дисперсию по сравнению с содержанием белка. Модели, полученные для белка и зольности, имели достаточно высокий коэффициент детерминации (81,81 и 96,63) при 8-м и 7-м рангах многомерного анализа соответственно. Среднеквадратичная ошибка прогнозирования (RMSECV) для вышеописанных показателей составила 0,067 и 0,257%. Таким образом, полученные калибровочные модели обеспечивают надежную повторяемость результатов. Значения остаточного отклонения прогноза (RPD) составляли 2,35 для белка и 2,22 для зольности, что соответствует «удовлетворительному качеству» построенных калибровочных моделей (Efimenko et al., 2015; Efimenko et al., 2016; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2019, 2022). Разница между истинным значением параметра, полученным с помощью рутинного биохимического анализа, и ожидаемым, то есть показатель смещения, или статистической предвзятости (BIAS), равнялась 0,0728 и 0,0557 для значений белка и зольности соответственно, что подтверждает практически полное их совпадение.

Это свидетельствует о полном несоответствии значений ожидаемых, полученных с помощью калибровочной модели, и истинных и, соответственно, о невозможности на данном этапе использовать такую калибровку для анализа. Модели для цветности (А), крахмала (В), амилозы (С) имели средние значения коэффициента детерминации (R^2): 51,32; 58,11 и 48,2 при 5-м, 4-м и 2-м рангах в многофакторном анализе соответственно; модели для влажности (D) и клетчатки (E) – очень низкие значения R^2 – 3,753 и 9,442 при 1-м ранге. RMSECV (%) составила 0,404 для цветности, 0,267 для влажности, 1,14 для крахмала, 1,29 для амилозы и 0,235 для клетчатки, что означает высокую вероятность совпадения предсказанных значений с истинными. Для калибровочных моделей цветности, влажности, содержания крахмала, амилозы и клетчатки RPD равнялся 1,43; 1,02; 1,55; 1,39; и 0,96, а BIAS – 0,00947; 0,00079; –0,04760; 0,01110 и 0,00070 соответственно. Согласно вышеуказанным показателям данные калибровочной модели не являются «устойчивыми» и в настоящий момент не могут быть использованы для экспресс-оценки зерна тритикале. Однако характер расположения значений в калибровочных моделях, полученных для цветности, крахмала и амилозы, является перспективным для последующей доработки при помощи результатов, полученных для образцов зерна тритикале

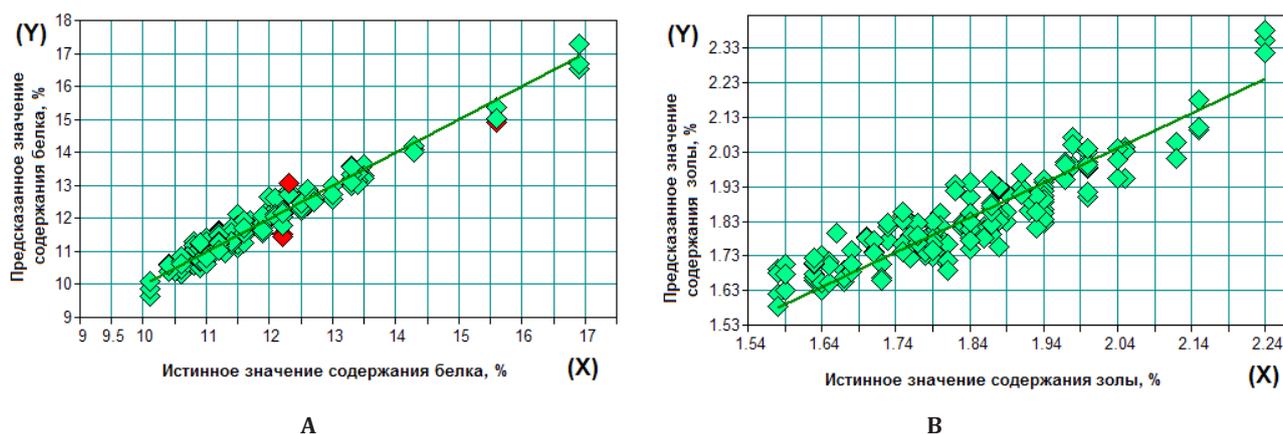


Рис. 2. График предсказанных значений содержания белка (А) и зольности (В) (ось Y) по сравнению с истинными значениями (ось X) согласно калибровочным моделям «Тритикале. Белок» (А) и «Тритикале. Зольность» (В).

При построении калибровочных кривых зеленым отмечены учтенные, красным – неучтенные значения для образцов зерна тритикале

Fig. 2. Graphs showing predicted values of protein content (A) and ash content (B) (Y axis) compared with the true values (X Axis) according to the calibration models “Triticale. Protein” (A) and “Triticale. Ash content” (B).

Green color indicates the values taken into account, and red color indicates the values not taken into account for triticale grain samples when constructing the calibration curve

На рисунке 3 представлены калибровочные кривые для определения цветности (А), содержания крахмала (В), амилозы (С), влажности (D), клетчатки (E) в образцах зерна тритикале.

Предсказанные значения трех повторностей для цветности (А), крахмала (В), амилозы (С) имели значительную дисперсию и четко выраженную тенденцию расположения вдоль калибровочной линии. Величины содержания влажности (D) и клетчатки (E), независимо от степени дисперсии, располагались практически параллельно оси (X), соответствующей истинным значениям показателей, то есть полученным рутинными методами химического анализа. Подобное расположе-

других лет и мест репродукции (Efimenko et al., 2015; Efimenko et al., 2016; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2019, 2022).

Для проверки достоверности значений белка и зольности, полученных с помощью ИК-моделей, была проведена оценка данных химического анализа и ИК-спектроскопии на контрольной выборке образцов зерна озимых и яровых форм тритикале (табл. 2). В контрольную выборку вошло 20 образцов: 12 ярового и 8 озимого тритикале.

Расхождение $\Delta\bar{X}$ между показаниями ИК-анализатора и значениями, определенными стандартными (химическими) методами, рассчитывали по формуле:

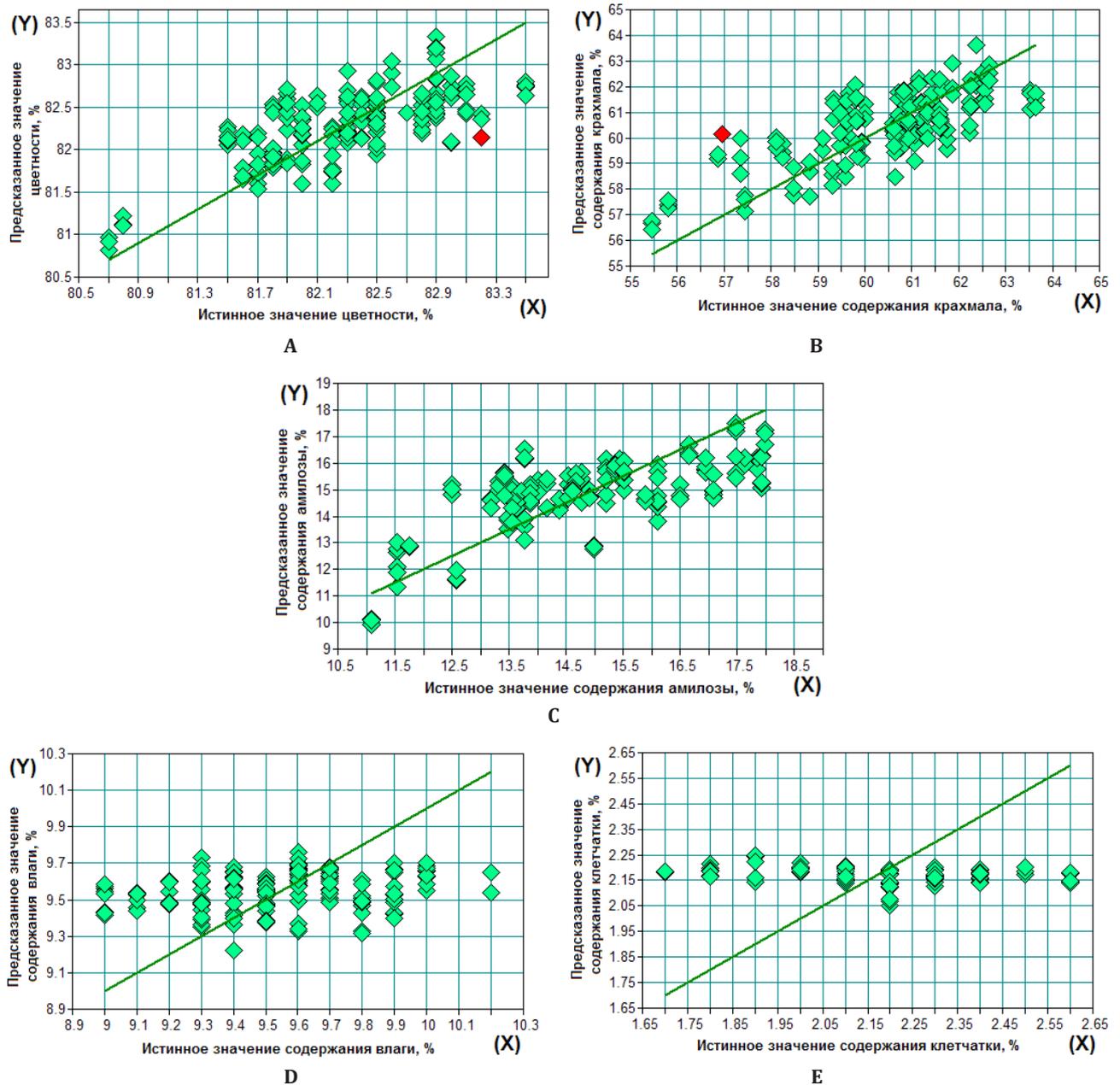


Рис. 3. График предсказанных значений цветности (А), содержания крахмала (В), амилозы (С), влажности (D), клетчатки (Е) (ось Y) по сравнению с истинными значениями (ось X) согласно калибровочным моделям «Тритикале. Цветность» (А), «Тритикале. Крахмал» (В), «Тритикале. Амилоза» (С), «Тритикале. Влажность» (D), «Тритикале. Клетчатка» (Е).

При построении калибровочных кривых зеленым отмечены учтенные, красным – неучтенные значения для образцов зерна тритикале

Fig. 3. Graphs showing predicted values of coloration (A), starch content (B), amylose content (C), moisture (D), and fiber content (E) (Y axis) compared with the true values (X axis) according to the calibration models “Triticale. Coloration” (A), “Triticale. Starch” (B), “Triticale. Amylose” (C), “Triticale. Moisture” (D), and “Triticale. Fiber” (E).

Green color indicates the values taken into account, and red color indicates the values not taken into account for triticale grain samples when constructing the calibration curve

$$\Delta \bar{X} = \frac{\sum |X_{ик} - X_{хим}|}{n}$$

где $X_{ик}$ – значение показателя, полученное методом ИК-спектроскопии;

$X_{хим}$ – значение показателя, полученное химическим методом;

n – количество образцов, использованных для проверки калибровки (20).

Значение $\Delta \bar{X}$ не превышает погрешности химического метода (для белка – 0,39, для зольности – 0,13) (GOST 32749-2014..., 2019).

Относительная разница между химическими методами анализа зерна и физическим методом, основанным на ИК-спектроскопии, не превышает 5%. В результате нами установлено, что разница между значениями не превышала единицы, что укладывается в рамки технической погрешности прибора Matrix-I.

Таблица 2. Проверка ИК-калибровочных моделей для определения содержания белка и зольности в образцах зерна яровой и озимой форм тритикале из коллекции ВИР**Table 2. Verification of the IR calibration models for measuring protein and ash content in spring and winter triticale grain samples from the VIR collection**

Признак	N	$X_1 \pm Se$	$X_2 \pm Se$	Разница
белок	20	14,41±0,58	14,02±1,64	0,39
зольность	20	1,78±0,10	1,91±0,12	0,13

Примечание: X_1 – средняя значений, полученных с помощью методов биохимического анализа; X_2 – средняя значений, полученных с помощью модельных калибровочных кривых; Se – стандартное отклонение

Note: X_1 is the mean of the values obtained with biochemical methods; X_2 is the mean of the values obtained with the model calibration curves; Se is the standard deviation

Заключение

Экспресс-анализаторы (на основе БИК-технологии) используются на производственных площадках, а также на площадках контроля качества для экспресс-анализа входящего сырья или оценки параметров готовой продукции. Разработанные в программе OPUS LAB калибровочные модели для определения содержания белка и зольности в зерне озимых и яровых форм тритикале подходят для рутинного экспресс-анализа. Это позволит оперативно проводить предварительную оценку селекционного материала одновременно по двум показателям примерно в 100 образцах зерна данной культуры за рабочую смену. При этом данный метод не требует специальной пробоподготовки, дорогих реагентов, посуды и очень прост в обслуживании.

References / Литература:

- Abd Manaf F.Y., Chung A.Y.K. Automatic crude oil dilution control with premium oil segregation using near infrared (NIR) on-line system. *Journal of Oil Palm Research*. 2018;30(2):306-314. DOI: 10.21894/jopr.2018.0012
- Batasheva B.A., Abdullaev R.A. Barley yield under irrigated agriculture condition in Southern Dagestan (Urozhaynost yachmenya v usloviyakh oroshayemogo zemledeliya Yuzhnogo Dagestana). *Problemy razvitiya APK regiona = Problems of Development of the Regional Agro-Industrial Complex*. 2012;11(3):9-13. [in Russian] (Баташева Б.А., Абдуллаев Р.А. Урожайность ячменя в условиях орошаемого земледелия Южного Дагестана. *Проблемы развития АПК региона*. 2012;11(3):9-13).
- Chikida N.N., Okhotnikova T.V., Bekish L.P., Upelnik V.P., Gradskov S.M., Zavgorodny S.V. et al. Characterization of various triticale genomes according to their physicochemical and baking qualities (Kharakteristika raznogenomnykh tritikale po fizikobiokhimičeskim i khlebopekarnym kachestvam). *Zdorovye – osnova chelovečeskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya = Health – the Base of Human Potential: Problems and Ways to Solve Them*. 2015;10(2):1032-1042. [in Russian] (Чикида Н.Н., Охотникова Т.В., Бекиш Л.П., Упелник В.П., Градсков С.М., Завгородний С.В. и др. Характеристика разнотипных тритикале по физикобиохимическим и хлебопекарным качествам. *Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. 2015;10(2):1032-1042).
- Efimenko S.G., Efimenko S.K. Determination of oil and moisture contents in mustard seeds using IR spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2019;4(180):36-44. [in Russian] (Ефименко С.Г., Ефименко С.К. Определение содержания масла и влаги в семенах горчицы с помощью ИК-спектromетрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2019;4(180):36-44). DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-36-44
- Efimenko S.G., Efimenko S.K. Express-estimation of oil content and the main fatty acid contents in oil of turnip rape seeds using IR-spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2022;1(189):34-44. [in Russian] (Ефименко С.Г., Ефименко С.К. Экспресс-оценка массовой доли масла и содержания основных жирных кислот масла в семенах сурепицы с помощью ИК-спектromетрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2022;1(189):34-44). DOI: 10.25230/2412-608X-2022-1-189-34-44
- Efimenko S.G., Efimenko S.K., Kucherenko L.A., Nagalevskaya Ya.A. Quick-assay of the content of the main fatty acids in oil of rapeseed seeds by means of IR-spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2015;4(164):35-40. [in Russian] (Ефименко С.Г., Ефименко С.К., Кучеренко Л.А., Нагалеvская Я.А. Экспресс-оценка содержания основных жирных кислот в масле семян рапса с помощью ИК-спектromетрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2015;4(164):35-40).
- Efimenko S.G., Kucherenko L.A., Efimenko S.K., Nagalevskaya Ya.A. Evaluation of the general qualitative traits of soybean seeds using IR-spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2016;3(167):33-38. [in Russian] (Ефименко С.Г., Кучеренко Л.А., Ефименко С.К., Нагалеvская Я.А. Оценка основных показателей качества семян сои с помощью ИК-спектromетрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2016;3(167):33-38).
- Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruanskiy Yu.V., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. Methods of biochemical research in plants (Metody biokhimičeskogo issledovaniya rasteniy). A.I. Ermakov (ed.). 3rd ed. Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. 3-е изд. Ленинград: Агропромиздат; 1987).
- GOST 10967-2019. Interstate standard. Grain. Methods for determination of odour and colour. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 10967-2019. Межгосударственный стандарт. Зерно. Методы определения запаха и цвета. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166587> [дата обращения: 14.03.2024].

- GOST 32749-2014. Interstate standard. Oilseeds, oilcakes and oilmeals. Determination of moisture, oil, protein and fiber by Near-Infrared Reflectance. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 32749-2014. Межгосударственный стандарт. Семена масличные, жмыхи и шроты. Определение влаги, жира, протеина и клетчатки методом спектроскопии в ближней инфракрасной области. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200111470> [дата обращения: 14.03.2024].
- Grabovets A.I., Krokhnal A.V. Triticale: monograph (Tritikale: monografiya). Rostov-on-Don: Yug; 2019. [in Russian] (Грабовец А.И., Крохмаль А.В. Тритикале: монография. Ростов-на-Дону: Юг; 2019).
- Gruzdev L.G., Zhebrak E.A., Novikov N.V. Fractional amino acid composition and biological value of triticale grain proteins in the process of its formation (Fraktsionny aminokislотноy sostav i biologicheskaya tsennost belkov zerna tritikale v protsesse yego formirovaniya). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1976;(2):98-109. [in Russian] (Груздев Л.Г., Жебрак Э.А., Новиков Н.В. Фракционный аминокислотный состав и биологическая ценность белков зерна тритикале в процессе его формирования. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 1976;(2):98-109).
- Heise H.M. Donald A. Burns, Emil W. Ciurczak (Eds.): Handbook of near-infrared analysis, 3rd ed. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2009;393:1387-1389. DOI: 10.1007/s00216-008-2580-0
- Kazakov E.D. Biochemistry of grain and its processed products (Biokhimiya zerna i produktov yego pererabotki). Moscow: Kolos; 1980. [in Russian] (Казаков Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки. Москва: Колос; 1980).
- Khoreva V.I., Popov V.S., Kon'kova N.G. Application of the IR spectrometry method in the screening study of various oat species. *Ecological genetics*. 2022;20(4):349-357. DOI: 10.17816/ecogen108503
- Kondratenko Ye.P., Konstantinova O.B., Soboleva O.M., Izhmulkina Ye.A. Carbohydrate and fat accumulation in the grain of winter crops depending on varietal features. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015;8(130):27-34. [in Russian] (Кондратенко Е.П., Константинова О.Б., Соболева О.М., Ижмулкина Е.А. Накопление углеводов и жира в зерне озимых культур в зависимости от сортовых особенностей. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015;8(130):27-34).
- Kurkiev U.K. Actual problems of triticale breeding and creation of new initial material. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2000;158:44-58. [in Russian] (Куркиев У.К. Актуальные проблемы селекции тритикале и создание нового исходного материала. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2000;158:44-58).
- Merezhko A.F., Udachin R.A., Zuev E.V., Filatenko A.A., Serbin A.A., Lyapunova O.A., Kosov V.Yu., Kurkiev U.K., Okhotnikova T.V., Navruzbekov N.A., Boguslavskiy R.L., Abdulaeva A.K., Chikida N.N., Mitrofanova O.P., Potokina S.A. Replenishment, preservation in living form and study of the world collection of wheat, Aegilops and triticale: guidelines (Popolneniye, sokhraneniye v zhivom vide i izucheniye mirovoy kolleksii pshenitsy, egilopsa i tritikale: metodicheskkiye ukazaniya). A.F. Merezhko (ed.). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Мережко А.Ф., Удачин Р.А., Зуев Е.В., Филатенко А.А., Сербин А.А., Ляпунова О.А., Косов В.Ю., Куркиев У.К., Охотникова Т.В., Наврузбеков Н.А., Богуславский Р.Л., Абдулаева А.К., Чикида Н.Н., Митрофанова О.П., Потокина С.А. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).

Информация об авторах

Виталий Сергеевич Попов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Нина Григорьевна Конькова, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.konkova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4920-3904>

Татьяна Васильевна Шеленга, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Валентина Ивановна Хорева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

Илья Анатольевич Кибкало, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.kibkalo@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-121X>

Мина Ханмирзаевна Гаджимагомедова, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, 368612 Россия, Республика Дагестан, Дербентский район, с. Вавилово, mina.khanmirzayevna@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7218-3473>

Люсине Гагиковна Суварян, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, старший научный сотрудник, заместитель директора, ЗАО «Гюмрийская селекционная станция» при Министерстве экономики Республики Армения, 3103 Армения, Ширакская область, община Ахурян, suvaryanl@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3581-1342>

Information about the authors

Vitaliy S. Popov, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Nina G. Konkova, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.konkova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4920-3904>

Tatiana V. Shelenga, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Valentina I. Khoreva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

Ilya A. Kibkalo, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.kibkalo@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-121X>

Mina Kh. Gadjimagomedova, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station – branch of VIR, Derbent 368612, Russia, mina.khanmirzayevna@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7218-3473>

Lusine G. Suvaryan, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Senior Researcher, Deputy Director, “Gyumri Breeding Station” CJSC of the Ministry of Economy of the Republic of Armenia, Akhuryan Community, Shirak Marz 3103, Armenia, suvaryanl@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3581-1342>

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 22.04.2024; одобрена после рецензирования 19.06.2024; принята к публикации 04.09.2024.
The article was submitted on 22.04.2024; approved after reviewing on 19.06.2024; accepted for publication on 04.09.2024.