

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 635.21:631.526.325(470+476)
DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-019



Источники хозяйственно ценных признаков среди межвидовых гибридов, созданных в ВИР, и их использование в селекции картофеля Республики Беларусь

А. В. Чашинский¹, В. А. Козлов¹, Д. В. Башко¹, Н. В. Русецкий¹, И. А. Родькина¹, Н. А. Чалая², Е. В. Рогозина²

¹ Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, Самохваловичи, Беларусь

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Владимирович Чашинский, a.chashinski@rambler.ru

Для повышения эффективности картофелеводства необходимо вести постоянную работу по созданию новых высокопродуктивных сортов с комплексом хозяйственно ценных признаков. Эта работа возможна лишь при наличии достаточного количества нового генетически разнообразного материала для селекции картофеля. Поэтому пополнение, изучение и сохранение коллекций генетических ресурсов картофеля в условиях Республики Беларусь для обеспечения отечественной селекции картофеля новыми источниками хозяйственно ценных признаков является важной задачей. Целью наших исследований являлось изучение межвидовых гибридов картофеля, созданных в отделе генетических ресурсов картофеля Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), по основным хозяйственно ценным признакам (продуктивность, устойчивость к вирусным болезням, фитофторозу, черной ножке, содержание крахмала, пригодность к промышленной переработке на картофелепродукты и др.) для последующего вовлечения в селекционный процесс и маркерный анализ на наличие эффективных аллелей генов, связанных с синтезом углеводов.

В результате проведенных исследований выделены источники устойчивости к оомицету *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, возбудителям черной ножки, вирусным болезням, источники высокой продуктивности и пригодности к промышленной переработке на картофелепродукты после 5 месяцев холодного хранения без рекондиционирования. По результатам ПЦР-анализа выделены гибриды с наличием маркеров Stp23-8b, InvGF-4d и InvGF-4b эффективных аллелей генов, отвечающих за синтез углеводов в клубнях. Выделенные гибриды рекомендуются в качестве источников хозяйственно ценных признаков для селекции картофеля.

Ключевые слова: источники хозяйственно ценных признаков, устойчивость, фитофтороз, черная ножка, вирусные болезни, продуктивность, пригодность к промышленной переработке

Благодарности: работа выполнялась в рамках Государственной программы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021–2025 гг., подпрограммы 3 «Изучение, идентификация и рациональное использование коллекций генетических ресурсов растений»; создание межвидовых гибридов картофеля в отделе генетических ресурсов картофеля ВИР выполнено в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2025-0005 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда клубнеплодных культур (картофель, топинамбур) и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».

Для цитирования: Чашинский А.В., Козлов В.А., Башко Д.В., Русецкий Н.В., Родькина И.А., Чалая Н.А., Рогозина Е.В. Источники хозяйственно ценных признаков среди межвидовых гибридов, созданных в ВИР, и их использование в селекции картофеля Республики Беларусь. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2026;187(1):74-87. DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-019

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-o19

Sources of valuable agronomic traits among interspecific hybrids developed at VIR and their utilization in potato breeding in the Republic of Belarus**Anatol V. Chashynski¹, Victor A. Kozlov¹, Diana V. Bashko¹, Nicolai V. Rusetski¹, Inna A. Rodkina¹, Nadezda A. Chalaya², Elena V. Rogozina²**¹ *Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing, Samokhvalovichy, Belarus*² *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Anatol V. Chashynski, a.chashinski@rambler.ru

Enhancing the efficiency of potato farming requires continuous development of new highly productive cultivars with a set of valuable agronomic traits. Such work is impossible without a sufficient stock of new, genetically diverse source material for potato breeding. Therefore, expanding, studying, and preserving potato genetic resources collections in the Republic of Belarus is an important task to provide the domestic potato breeding practice with new sources of valuable traits. The objective of this research was to examine interspecific potato hybrids developed at the Potato Genetic Resources Department of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) for their key agronomic characters (productivity; resistance to viruses, late blight, and blackleg; starch content; suitability for industrial processing into potato products, etc.) through breeding-oriented assessment and marker analysis searching for effective alleles of genes associated with carbohydrate synthesis.

The research identified sources of resistance to the oomycete *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, blackleg pathogens, and viruses, as well as sources of high productivity and suitability for industrial processing into potato products after five months of cold storage without reconditioning. The PCR analysis helped to identify hybrids carrying the markers Stp23-8b, InvGF-4d, and InvGF-4b – effective alleles of genes responsible for carbohydrate synthesis in tubers. The identified hybrids are recommended as sources of valuable agronomic traits for potato breeding practice.

Keywords: valuable agronomic trait sources, resistance, *Phytophthora*, blackleg pathogens, viral diseases, productivity, suitability for industrial processing

Acknowledgments: the research work was performed out within the framework of the State Program “Scientific and Innovative Activities of the National Academy of Sciences of Belarus” for 2021–2025, subprogram 3 “Study, Identification, and Rational Use of Collections of Plant Genetic Resources”; the development of interspecific potato hybrids was carried out within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2025-0005 “Improving approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of tuber crops (potato, and Jerusalem artichoke) and their wild relatives, and developing technologies for their effective use in breeding”.

For citation: Chashynski A.V., Kozlov V.A., Bashko D.V., Rusetski N.V., Rodkina I.A., Chalaya N.A., Rogozina E.V. Sources of valuable agronomic traits among interspecific hybrids developed at VIR and their utilization in potato breeding in the Republic of Belarus. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2026;187(1):74-87. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2026-1-o19

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal’s opinion is neutral to the presented materials, the authors or their employers.

Введение

Создание новых высокопродуктивных сортов картофеля с комплексом хозяйственно ценных признаков возможно лишь при наличии достаточного количества нового генетически разнообразного материала для селекции данной культуры. Как показывает мировая практика, те страны, у которых хорошо поставлена работа с генетическими ресурсами, добились на современном этапе значительных успехов в селекции картофеля. Поэтому сохранение уже имеющегося в Беларуси генофонда культурного картофеля (белорусские и иностранные сорта, источники и доноры селекционно ценных признаков, близкородственные и отдаленные гибриды картофеля) и его обогащение новыми генами, способными повысить конкурентоспособность белорусского картофеля, является важнейшей государственной задачей, обеспечивающей продовольственную безопасность Республики Беларусь. В связи с этим лаборатория генетики картофеля Научно-практического центра НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству ведет целенаправленную работу по поиску генетических ресурсов картофеля, их изучению в условиях республики для последующего вовлечения выделенных источников хозяйственно ценных признаков в селекционный процесс.

Сотрудничество между Республикой Беларусь и Российской Федерацией в области селекции картофеля имеет многолетнюю историю. Белорусское отделение Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур, открытое по предложению Н. И. Вавилова в 1925 г., первоначально проводило оценку наиболее урожайных в условиях Беларуси зарубежных сортов картофеля. В 1930-е годы в республике началась селекция картофеля методом межвидовой гибридизации, сначала на основе образцов культурного андийского вида *Solanum andigenum* Juz. et Buk. и дикоого североамериканского вида *S. demissum* Lindl. из коллекции ВИР (Всесоюзного института растениеводства). В дальнейшем, под руководством П. И. Альсмика, сотрудники Белорусского НИИ плодоводства, овощеводства и картофелеводства расширяли перечень диких родичей картофеля, вовлекаемых в скрещивания, проводили масштабную работу по межвидовой гибридизации, что позволило создать сорта с повышенным содержанием крахмала, протеина, устойчивые к фитофторозу, картофельной нематоде (Kolyadko et al., 2007). Источником генетического разнообразия для селекции картофеля в Беларуси, как в прошлые годы, так и в настоящее время, являются сорта, клоны межвидовых гибридов, образцы диких и культурных видов картофеля из коллекции ВИР (Kozlov et al., 2007; Kozlov, Rogozina, 2014).

В ВИР на основе коллекционных образцов, представителей разных групп картофеля, созданы уникальные межвидовые гибриды: устойчивые к фитофторозу, Y-вирусу картофеля (YVK), золотистой картофельной нематоде и возбудителю рака картофеля, с комплексом хозяйственно полезных признаков. У картофеля продуктивность, качество клубней, устойчивость к бактериальным и некоторым грибным болезням контролируют полигены, и проявление таких признаков зависит от взаимодействия конкретного генотипа с определенными условиями среды (Slater et al., 2014). Поэтому для объективной и всесторонней оценки селекционного материала лучшие коллекционные образцы сортов и клонов межвидовых гибридов картофеля постоянно изучаются в филиалах ВИР и в научно-исследовательских учреждениях, расположенных в разных агроклиматических зо-

нах Российской Федерации (Simakov et al., 2017; Khlopyuk et al., 2021; Ivashchenko et al., 2024). Испытание образцов из коллекции картофеля ВИР в Республике Беларусь представляет особый интерес, поскольку почвенно-климатические условия республики в целом оптимальны для получения высоких, стабильных и дешевых урожаев картофеля (Rudenko, Kovalchuk, 1971). Однако изменение климата, наблюдаемое на планете в последнее время, происходит и на территории Беларуси, где отмечено устойчивое потепление, увеличение продолжительности безморозного периода, чередование засушливых периодов с выпадением осадков ливневого характера (Piskun, 2021). Известно, что потепление климата приводит к усилению вредоносности распространенных и появлению новых фитопатогенов. В Республике Беларусь в последние годы отмечено проявление фитофтороза в ранние (во второй декаде июня) сроки (Busko et al., 2014).

Из бактериозов картофеля наиболее вредоносным и широко распространенным в Республике Беларусь является черная ножка (возбудители – пектолитические бактерии родов *Pseudomonas*, *Erwinia*, *Dickeya*). В условиях несоблюдения агротехнических мероприятий возделывания картофеля, а также при использовании для посадки низкокачественных семян потери урожая от поражения черной ножкой могут достигать 50–75% (Izrailsky, 1979). По данным В. Г. Иванюка с соавторами, при хранении потери клубней составляют 10–20%, а в особо благоприятные для возбудителя годы – 30–50% (Ivanjuk et al., 2005). В России черная ножка – один из наиболее вредоносных бактериозов картофеля – встречается повсеместно, причиняя ущерб, в зависимости от погодных условий и агрессивности патогена, от 1–2 до 50–75% урожая (Ignatov et al., 2018).

Вирусные болезни картофеля широко распространены и являются основной причиной вырождения сортов, приводя к значительным потерям урожая. Из описанных в литературе вирусов картофеля 6–9 причиняют значительный вред посадкам картофеля (Schuhmann, 1994). Так как большинство вирусов передаются с большими клубнями, то без постоянной замены семенного материала происходит быстрое снижение урожая, потери которого могут достигать значительных размеров. Наличие в посадках только 1% растений, пораженных наиболее опасными вирусами, приводит к снижению общего урожая на 0,5–0,6% (Spaag et al., 2004).

Вирусы распространены во всех странах, где возделывается картофель, однако видовой их состав и степень пораженности посадок картофеля различны в зависимости от природных и хозяйственных условий, сортов, состояния семеноводства. К настоящему времени в мире известно около 50 вирусов картофеля. В Республике Беларусь повсеместно распространены вирусы X (PVX), Y (PVY), M (PVM), S (PVS). Ограниченное распространение имеют: вирус L (PLRV), вирус A (PVA), вирус F (PAMV), вирус метельчатости верхушки картофеля, или моп-топ-вирус (PMTV), вирус черной пятнистости томатов (TBRV), вирус мозаики люцерны, или калико (AMV), вирус пестростебельности картофеля, или Rattle-вирус (TRV) (Blotskaya, 2000).

В этой связи оценка образцов из коллекции картофеля ВИР на устойчивость к возбудителям болезней, по продуктивности и качеству клубней в условиях Беларуси имеет важное значение для более полной характеристики селекционного потенциала созданных гибридных клонов картофеля. Цель исследования – комплексное изучение межвидовых гибридов картофеля, созданных

в отделе генетических ресурсов картофеля Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), по основным хозяйственно ценным признакам (продуктивность, устойчивость к вирусным болезням, фитофторозу, черной ножке, содержание крахмала, пригодность к промышленной переработке на картофелепродукты и др.) для последующего вовлечения в селекционный процесс и маркерный анализ на наличие эффективных аллелей генов, связанных с синтезом углеводов.

Материалы и методы

В течение 2021–2023 гг. в условиях Республики Беларусь 19 межвидовых гибридов картофеля, созданных в отделе генетических ресурсов картофеля ВИР (табл. 1), изучены по основным хозяйственно ценным признакам (продуктивность, устойчивость к вирусным болезням, фитофторозу, черной ножке, содержание крахмала, пригодность к промышленной переработке на картофелепродукты).

Таблица 1. Межвидовые гибриды картофеля из коллекции ВИР, оцененные в условиях Беларуси в 2021–2023 гг.

Table 1. Interspecific potato hybrid clones from the VIR collection tested in Belarus in 2021–2023

Номер по каталогу ВИР*	Гибрид	Гибридная формула
П-551	24-1	Atzimba × <i>S. alandiae</i> к-21240
П-564	39-1-2005	Atzimba × <i>S. alandiae</i> к-21240
П-264	135-1-2006	Свитанок Киевский × (Atzimba × <i>S. alandiae</i> к-21240)
П-242	99-4-1	[Runo × F2 (Sunia × <i>S. stoloniferum</i> к-2490)] × Hertha
б. н.	8-3-2004	<i>S. okadae</i> к-20921 × <i>S. chacoense</i> к-19759
П-260	135-5-2005	<i>S. okadae</i> к-20921 × <i>S. chacoense</i> к-19759
П-596	12/01-09	F4 (<i>S. pinnatisectum</i> × Fausta)
к-25627	13/11-09	F2 (<i>S. pinnatisectum</i> × Gitte) × ♂ МГ
к-25618	190-4	Гибридный 14 × /Приекульский ранний × {F2 [Wilja × (<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4)]}/
к-24522	99-6-10	{F2 [Wilja × (<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4)] × CIP-1039} × Hertha
П-591	118-6-2011	F2 (Bobr × /{[(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Atzimba] × [(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Tunika]} × CIP-1035/)
к-25615	171-3	F2 (Bobr × /{[(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Atzimba] × [(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Tunika]} × CIP-1035/)
П-247	160-1	F2 (Bobr × /{[(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Atzimba] × [(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Tunika]} × CIP-1035/)
П-589	138-3-2006	Загадка Питера × (Bobr × /{[(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Atzimba] × [(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Tunika]} × CIP-1035/)
П-238	97-152-8	/ {[Primerosa × (<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4)] × (Sunia × <i>S. stoloniferum</i> к-2490-5)} / × /{[(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Atzimba] × [(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Tunika]} × I-1035/
к-24517	97-159-3	/ {[Primerosa × (<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4)] × (Sunia × <i>S. stoloniferum</i> к-2490-5)} × CIP-1035/ × /CIP-1035 × {[(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Atzimba] × [(<i>S. andigenum</i> US-W 1793 × <i>S. rybinii</i> к-2890-4) × Tunika]}/
к-25616	40-2000	F2 /{[(<i>S. polytrichon</i> × MPI 50-140/5) × Umbra] × Fausta} × {[(<i>S. simplicifolium</i> × MPI 50-140/5) × Gitte] × Hera}/
б. н.	38 КВА	Фермер × /F4{F2 [(<i>S. polytrichon</i> × MPI 50-140/5) × MPI 50-140/5]} × F2 {[(<i>S. simplicifolium</i> × MPI 50-140/5) × Gitte] × Gera}/
к-25628	16/27-09	[[(<i>S. berthaultii</i> × Tajga) × Омега] × F2[(<i>S. polytrichon</i> × MPI 50-140/5) × MPI 50-140/5] × F2{[(<i>S. simplicifolium</i> × MPI 50-140/5) × Gitte] × Gera}] × Наяда

Примечание: * – П – временный каталог; б. н. – номер отсутствует; к – постоянный каталог

Note: * – П – temporary catalogue; б. н. – no number; к – permanent catalogue

Полевые опыты закладывали на полях селекционно-севооборота Научно-практического центра НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству. Почва опытных участков дерново-подзолистая, легкосуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке. Предшественник – озимый рапс. Агротехника общепринятая для селекционных питомников.

Метеорологические условия 2021–2023 гг. способствовали эпифитотийному развитию фитофтороза, что позволило в полевых условиях на естественном инфекционном фоне дать объективную оценку устойчивости к заболеванию исследуемых образцов. Оценка устойчивости гибридов картофеля к фитофторозу листьев вычисляли с помощью показателя «площадь нарастания под кривой развития болезни» – AUDPC (area under the disease progress curve) по формуле (Fry, 1978):

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(x_{i+1} + x_i)}{2} \times (t_{i+1} - t_i) \right],$$

где AUDPC – площадь нарастания под кривой развития болезни; x_i – доля пораженной ткани к i -ому наблюдению; t – время (дни) после инокуляции до i -го наблюдения; n – число наблюдений.

Ежегодно проводили не менее трех учетов поражения растений фитофторозом.

Оценку гибридов по устойчивости клубней к фитофторозу и черной ножке проводили в баллах (1 – низкая устойчивость, 9 – очень высокая) в соответствии с методическими рекомендациями «Методы оценки картофеля, овощных и плодовых культур на устойчивость к болезням» (Dorozhkin, Ivanyuk, 1987). Оценка устойчивости образцов картофеля к вирусам выполняли по методике Н. П. Складаровой и Р. В. Черепановой (Sklyarova, Cherepanova, 1978).

Фенологические наблюдения проводили согласно «Методическим указаниям по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля» (Bukasov et al., 1976).

Учет урожая и его структуру, определение содержания крахмала выполняли в соответствии с «Методикой исследований по культуре картофеля» (Andryushina et al., 1967). Оценка гибридов по пригодности к промышленной переработке на картофелепродукты проводили после 5 месяцев холодного хранения без рекондиционирования в баллах (1 – низкая пригодность, 9 – очень высокая пригодность к переработке). О пригодности гибридов судили по цвету ломтиков хрустящего картофеля, обжаренных на растительном масле. Цвет ломтиков определяли согласно «Методическим рекомендациям по специализированной оценке сортов картофеля» (Banadysev et al., 2003).

Тестирование гибридов картофеля на наличие X-, Y-, S-, M-, L-, A-вирусов выполняли с использованием иммуноферментного диагностического набора для определения вирусов картофеля производства НПО «Биотехнологии» при Федеральном исследовательском центре картофеля имени А.Г. Лорха (Москва, Коренево) согласно рекомендации производителя (Instruction for using..., 1993). Межвидовые гибриды протестированы на наличие эффективных аллелей генов, кодирующих ферменты, которые функционируют в углеводном обмене картофеля: *StpL*, кодирующего фермент крахмалфосфорилаза L-типа; *Stp23*, кодирующего фермент альфа-глюкан фосфорилаза; *AGPaseS-a*, кодирующего фермент АДФ-глюкозопирофосфорилаза; *Inv-ap-b*, кодирующего фермент инвертаза; *Pain1*, кодирующего фермент кислая вакуолярная инвертаза. Наличие или отсутствие эффективных аллелей генов, связанных с синтезом углеводов, определяли с использованием ДНК-маркеров: *StpL-3e*, *StpL-3b*, *Stp23-8b*, *AGPsS-10a*, *AGPsS-9a*, *InvGF-4d*, *InvGF-4b* и *Pain 1-8c* (Li et al., 2005, 2008, 2013) (табл. 2). Праймеры синтезировали в ОДО «Праймтех» (Республика Беларусь).

Для выделения ДНК применяли набор реагентов «АртСпин» (ООО «АртБиоТех») согласно протоколу производителя. Премикс для постановки классической ПЦР

Таблица 2. Маркеры и условия для идентификации отдельных локусов, связанных с синтезом углеводов методом ПЦР

Table 2. Markers and conditions for identification of individual loci associated with carbohydrate synthesis by PCR

Маркер	Последовательность праймера (5'→3')	T ^m , °C	Размер маркерного фрагмента, пн
Pain 1-8c	F CACATAATCAACGTGATGTTTAAGTA R GGTAATAGTAATTGCTTCTAACCCG	65	703
Stp23-8b	F CGCATCAGAAAAACCTCGG R ACCTCCTCCTGACCATCTTT	65	348
StpL-3b	F GAAGAAGTTTCTCTGTAGCCAC R CGAGTGACGTCTGTAGTTATACTAG	65	1236
StpL-3e	F GGACCCTTTGTATTTTCAGGA R AAAGCTTTCCCTGAAAGAAC	65	360
AGPsS-9a	F CTGCTTTCTTGCTTAGTTTTACC R CATTTTTCAGAAATTATATCAGGTG	63	210
AGPsS-10a	F GAAAAATTATCCTGAACAAACACCCA R GTTAATAGGAAGCTAACCTCCTC	65	449
InvGF-4b	F GGGCTTTGCCAGTTATCTTAGTT R GTTGTTCAGATGGTAAGTACTGG	61	296
InvGF-4d	F TGGGCTTTGCCAGTTATCTTA R GGTGTTCAGATGGTAAGTATAG	63	248

включал: готовую смесь для ПЦР-анализа Quick-loadTaq 2XMasterMix (ОДО «Праймтех», Республика Беларусь), соответствующие праймеры (прямой и обратный), матрицу ДНК (2 мкл) и деионизированную воду в количестве, необходимом для доведения объема смеси до 25 мкл. В состав Quick-load Taq 2X Master Mix входили все необходимые компоненты ПЦР: ДНК полимеразы, dNTPs, Mg²⁺ и реакционный буфер, а также красители для непосредственного нанесения реакционной смеси на гель при проведении электрофоретического анализа. Визуализацию продуктов амплификации проводили разделением в 2-процентном агарозном геле, окрашенном бромистым этидием, с последующей регистрацией результатов с помощью оборудования системы гель-документирования DOC-PRINT-VX2 (<http://primetech.by/index.php?route=module/downloads>).

Анализ экспериментальных данных проводили в программе Statistica 13, методами описательного, корреляционного и кластерного анализов.

Результаты и обсуждение

В результате трехлетних исследований 19 клонов межвидовых гибридов картофеля из коллекции ВИР (см. табл. 1) установлено, что 10 клонов по устойчивости к фитофторозу листьев превосходят белорусские сорта-стандарты (табл. 3). Лучшие по этому показателю – гибриды 24-1 и 16/27-09, у которых размер площади под кривой нарастания болезни (AUDPC) составляет 0,15–0,17 (см. табл. 3). Данные образцы могут быть использованы в селекции как источники фитофтороустойчивости. Средней устойчивостью к фитофторозу листьев характеризовались гибриды 40-2000, 97-152-8, 160-1, 190-4, 13/11-09, 39-1-2005, 99-4-1 и 171-3. Остальные образцы имели низкую устойчивость к фитофторозу.

В период хранения межвидовые гибриды в лабораторных условиях изучены по устойчивости клубней к фитофторозу и черной ножке (рис. 1, 2).

Относительно высокой устойчивостью к фитофторозу клубней характеризовались гибриды 97-152-8 и 99-4-1 (балл устойчивости – 7,0–7,3). Средняя устойчивость (на уровне сорта 'Здабытак') отмечена у образцов 118-6-2011 и 16/27-09. Остальные гибриды и сорта картофеля показали низкий уровень устойчивости клубней к фитофторозу (см. рис. 1).

Высокой устойчивостью к черной ножке клубней характеризовались гибриды 190-4, 38 КВА и 118-6-2011. Относительно высокая устойчивость (на уровне сорта 'Вектор') отмечена у образцов 99-6-10, 40-2000, 97-152-8, 135-1-2006, 135-5-2005, 24-1, 8-3-2004, 97-159-3. 39-1-2005, 99-4-1 и 138-3-2006 (см. рис. 2). Остальные образцы характеризовались средней устойчивостью клубней к черной ножке.

Среди межвидовых гибридов картофеля выявлены образцы с групповой устойчивостью к фитофторозу и черной ножке. Гибриды 97-152-8 и 99-4-1 показали относительно высокую устойчивость клубней к фитофторозу и черной ножке (более 7 баллов в обоих тестах). У образца 118-6-2011 отмечена высокая устойчивость клубней к черной ножке (8 баллов) и устойчивость к фитофторозу клубней на уровне 6,9 балла. У гибрида 24-1 выявлена относительная высокая устойчивость к фитофторозу листьев и к черной ножке клубней. Корреляции между устойчивостью к фитофторозу листьев и клубней у изученных гибридов картофеля не выявлено.

В период вегетации в фазу «бутонизация – цветение» проведен отбор листовых проб и анализ на наличие скрытой вирусной инфекции у изучаемых образцов. Характеристика образцов по пораженности вирусными болезнями представлена в таблице 4.

Таблица 3. Характеристика гибридов и сортов картофеля по устойчивости к фитофторозу листьев, 2021–2023 гг.

Table 3. Characterization of potato hybrids and cultivars for leaf resistance to late blight, 2021–2023

Гибрид	Поражение ботвы фитофторозом в последнюю декаду августа, %	AUDPC*	Гибрид	Поражение ботвы фитофторозом в последнюю декаду августа, %	AUDPC*
24-1	25	0,15	160-1	40	0,18
39-1-2005	40	0,20	138-3-2006	80	0,38
135-1-2006	90	0,56	97-152-8	50	0,20
99-4-1	45	0,20	97-159-3	80	0,49
8-3-2004	80	0,46	40-2000	50	0,20
135-5-2005	75	0,37	38 КВА	75	0,37
12/01-09	75	0,37	16/27-09	25	0,17
13/11-09	40	0,18	'Лиля'	95	0,58
190-4	40	0,18	'Манифест'	95	0,58
99-6-10	75	0,37	'Скарб'	95	0,57
118-6-2011	85	0,38	'Вектар'	80	0,46
171-3	40	0,19	'Здабытак'	75	0,37

Примечание: * – AUDPC – площадь нарастания под кривой развития болезни

Note: * – AUDPC is the area under the disease progress curve

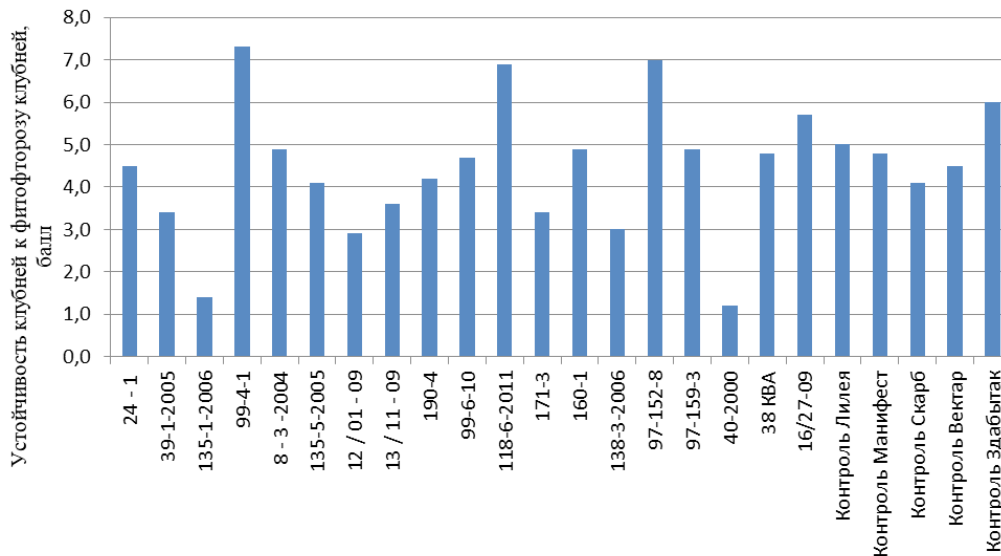


Рис. 1. Характеристика гибридов и сортов картофеля по устойчивости клубней к фитофторозу, 2021–2023 гг.
Fig. 1. Characterization of potato hybrids and cultivars for tuber resistance to late blight, 2021–2023

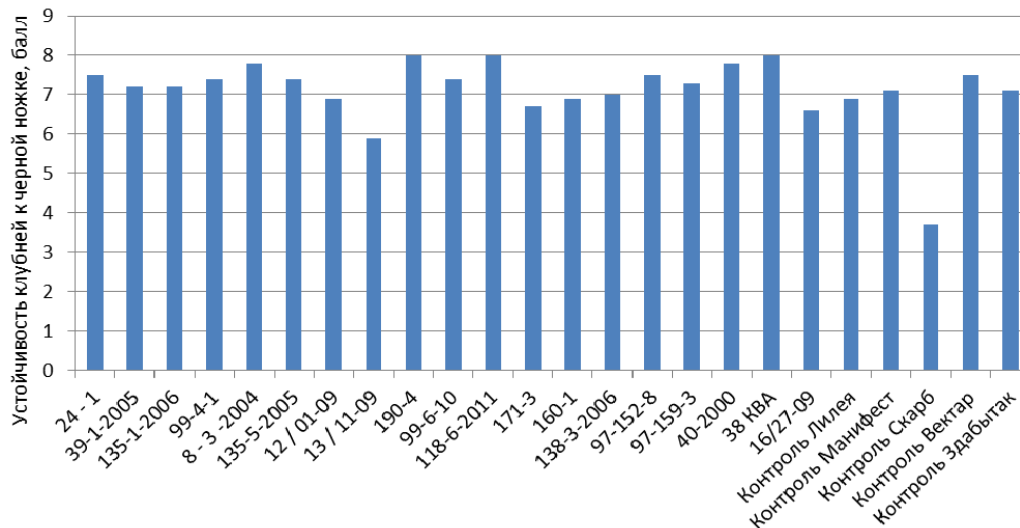


Рис. 2. Характеристика гибридов и сортов картофеля по устойчивости клубней к черной ножке, 2021–2023 гг.
Fig. 2. Characterization of potato hybrids and cultivars for tuber resistance to blackleg, 2021–2023

Изучение наличия скрытой вирусной инфекции методом ИФА показало, что все образцы содержали инфекцию М-вируса картофеля на уровне 100%, за исключением гибридов 171-3 и 138-3-2006 с уровнем поражения 78 и 86% соответственно (см. табл. 3).

Среди исследуемого материала не содержали инфекцию S-вируса картофеля только два гибрида: 138-3-2006 и 8-3-2004. Невысокий уровень поражения данным вирусом на уровне 10–25% был отмечен у образцов: 38 КВА, 160-1, 39-1-2005, 99-4-1, 16/27-09 и 135-1-2006. Средний уровень поражения (29%) наблюдался у гибрида 118-6-2011. Остальные образцы были поражены вирусом S от 71 до 100%.

Пораженность испытываемых образцов Y-вирусом картофеля была невысокой и выявлена только у четырех гибридов: 99-4-1, 16/27-09, 171-3 и 38 КВА – 12, 10, 11 и 20% соответственно.

Поражение X-вирусом на уровне 10% отмечено лишь у одного исследуемого гибрида – 16/27-09, остальные

образцы не содержали данный вирус. Вирусы L и A у изученных образцов не выявлены.

На основе результатов оценки гибридов картофеля по устойчивости к болезням в условиях Республики Беларусь проведена их группировка методами кластерного анализа: иерархического и k-средних. Установлено, что 19 изученных гибридов картофеля представляют два кластера, объединяющих 10 и 9 гибридов соответственно (рис. 3).

В первый кластер входят гибриды с более высокой устойчивостью к фитофторозу листьев (среднее значение – 4,5 балла) и к вирусу Y картофеля (8,6 баллов). Во второй кластер входят гибриды с более высокой устойчивостью клубней к фитофторозу и черной ножке (средние значения – 4,7 и 7,4 балла соответственно) и вирусу S картофеля (7,4 балла). Отметим, что в разные кластеры сгруппированы гибриды, имеющие общее происхождение: 24-1 и 39-1-2005 или 8-3-2004 и 135-5-2005 (см. табл. 1, рис. 3). Различия между сибсами (потомками од-

Таблица 4. Поражение гибридов картофеля вирусной инфекцией по результатам ИФА, 2021–2023 гг.
Table 4. Infestation of potato hybrids with viruses based on the ELISA test, 2021–2023

Гибрид	Пораженность вирусами, %						Устойчивость к вирусам, балл					
	X	Y	S	M	L	A	X	Y	S	M	L	A
24-1	0	0	71	100	0	0	9	9	3	1	9	9
39-1-2005	0	0	22	100	0	0	9	9	7	1	9	9
135-1-2006	0	0	17	100	0	0	9	9	7	1	9	9
99-4-1	0	12	25	100	0	0	9	5	7	1	9	9
8-3-2004	0	0	0	100	0	0	9	9	9	1	9	9
135-5-2005	0	0	100	100	0	0	9	9	1	1	9	9
12/01-09	0	0	100	100	0	0	9	9	1	1	9	9
13/11-09	0	0	100	100	0	0	9	9	1	1	9	9
190-4	0	0	75	100	0	0	9	9	3	1	9	9
99-6-10	0	0	100	100	0	0	9	9	1	1	9	9
118-6-2011	0	0	29	100	0	0	9	9	5	1	9	9
171-3	0	11	78	78	0	0	9	5	1	1	9	9
160-1	0	0	14	100	0	0	9	9	7	1	9	9
138-3-2006	0	0	0	86	0	0	9	9	9	1	9	9
97-152-8	0	0	100	100	0	0	9	9	1	1	9	9
97-159-3	0	0	100	100	0	0	9	9	1	1	9	9
40-2000	0	0	100	100	0	0	9	9	1	1	9	9
38 КВА	0	20	20	100	0	0	9	5	5	1	9	9
16/27-09	10	10	10	100	0	0	9	7	9	1	9	9

Примечание: устойчивость к вирусам оценена по шкале 1–9, где 9 – очень высокая устойчивость, 8 – высокая, 7 – относительно высокая, 5 – средняя, 3 – низкая и 1 – очень низкая устойчивость

Note: virus resistance is assessed according to the scale of 1–9, where 9 is very high resistance, 8 is high resistance, 7 is relatively high resistance, 5 is medium resistance, 3 is low resistance, and 1 is very low resistance

ной пары родителей) наиболее заметны по реакции на S-вирус и при заражении фитофторозом клубней (см. рис. 1, табл. 4).

На основе совокупности полученных данных о реакциях межвидовых гибридов картофеля на инфицирование возбудителями фитофтороза, черной ножки и вирусных заболеваний в условиях Республики Беларусь определена их селекционная ценность как источников групповой устойчивости к болезням. Результаты кластеризации методом двухходового объединения представлены на рисунке 4.

Среди 19 межвидовых гибридов картофеля, изученных в течение трех лет в Республике Беларусь, у образца 16/27-09 выявлена комбинация лучших показателей при оценке на устойчивость к болезням (см. рис. 4). Гибрид 16/27-09 проявляет высокую устойчивость к фитофторозу листьев, среднюю – к фитофторозу и черной ножке клубней, отличается невысоким уровнем поражения Y-вирусом. Гибриды 118-6-2011 и 97-152-8 проявляют устойчивость клубней к фитофторозу и черной ножке, но восприимчивы к фитофторозу листьев, поражаются вирусом S в средней и сильной степени соответственно.

В послеуборочный период гибриды картофеля изучены по продуктивности и содержанию крахмала в клубнях. После пяти месяцев хранения проведена оценка образцов по пригодности к промышленной переработке на картофелепродукты. Результаты приведены в таблице 5.

Высокой продуктивностью (более 1000 г/куст по результатам трехлетних испытаний) характеризовались образцы 97-159-3, 16/27-09, 160-1, 8-3-2004 и 190-4. По этому показателю данные гибриды соответствуют сортам, что позволяет рекомендовать их для использования в селекционной работе как источники высокой продуктивности. У восьми гибридов продуктивность в среднем за три года составила 746–914 г/куст.

Среднее содержание крахмала (16,6–16,9%) имели гибриды 16/27-09 и 135-1-2006, уступая по этому показателю только сорту 'Здабытак' (см. табл. 5). Крахмалистость на уровне 14,1–14,9% показали образцы 39-1-2005, 24-1, 160-1, 138-3-2006 и 38КВА. У остальных гибридов и сортов картофеля отмечено более низкое содержание крахмала в клубнях.

Относительно высокой пригодностью к промышленной переработке на картофелепродукты после 5 месяцев холодного хранения без рекондиционирования (7 бал-

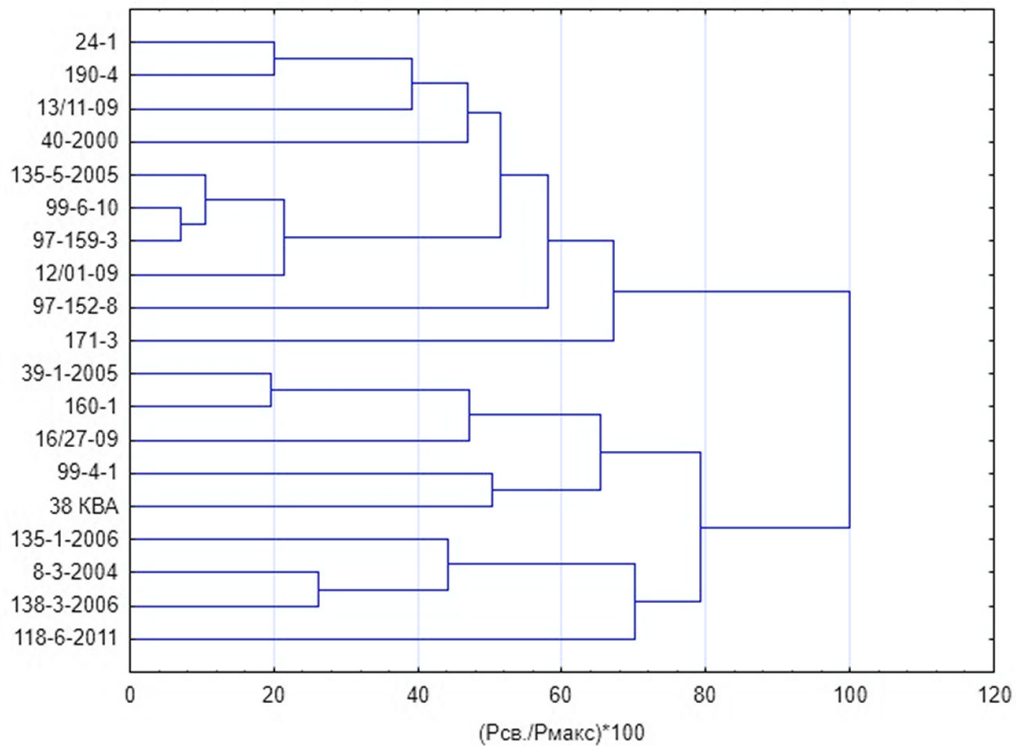


Рис. 3. Иерархическая кластеризация гибридов картофеля по устойчивости к болезням в условиях Беларуси
Fig. 3. Hierarchical clustering of potato hybrids according to disease resistance in Belarus

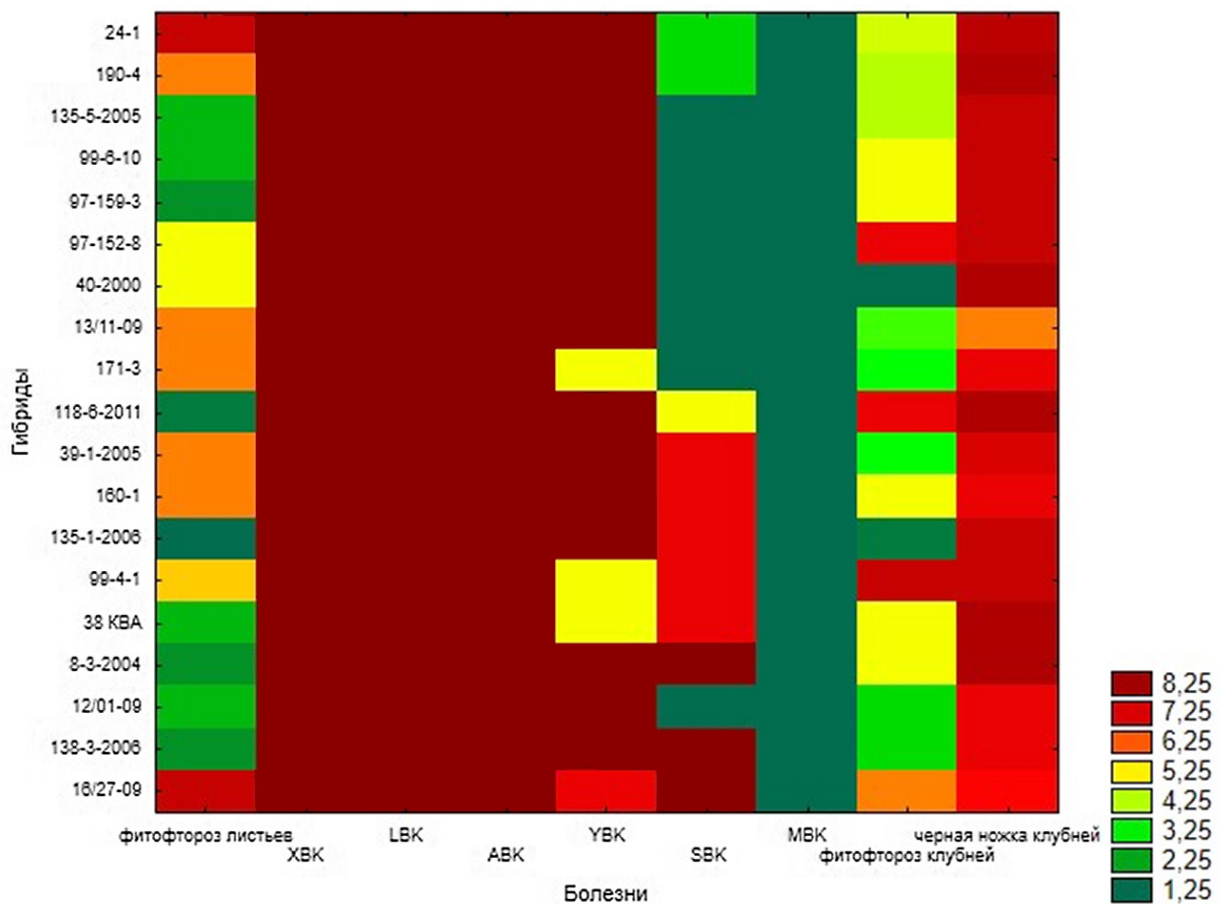


Рис. 4. Дендрограмма распределения гибридов картофеля на основе групповой устойчивости к болезням (устойчивость оценена по шкале 1–9, где 9 – отсутствие поражения)
Fig. 4. Dendrogram showing distribution of potato hybrids according to their resistance to a group of diseases (resistance scores follow the 1–9 scale, where 9 means no damage)

Таблица 5. Характеристика гибридов и сортов картофеля по продуктивности, содержанию крахмала и пригодности к промышленной переработке на картофелепродукты после 5 месяцев хранения, 2021–2023 гг.**Table 5.** Characterization of potato hybrids and cultivars for productivity, starch content, and suitability for processing into potato products after 5 months of storage, 2021–2023

Гибрид	Продуктивность, г/куст	Содержание крахмала, %	Пригодность к переработке на картофелепродукты после хранения, балл	Гибрид	Продуктивность, г/куст	Содержание крахмала, %	Пригодность к переработке на картофелепродукты после хранения, балл
24-1	535	14,1	6,0	160-1	1033	14,5	6,0
39-1-2005	795	14,1	6,0	138-3-2006	746	14,6	6,0
135-1-2006	694	16,6	7,0	97-152-8	747	12,9	7,0
99-4-1	559	13,3	7,0	97-159-3	1054	11,8	5,0
8-3-2004	1099	13,2	7,0	40-2000	750	12,0	4,0
135-5-2005	757	13,0	6,0	38 КВА	398	14,9	7,0
12//01-09	851	12,3	3,0	16/27-09	1069	16,9	6,0
13//11-09	562	10,5	3,0	'Лиля'	740	11,9	6,4
190-4	1054	13,0	6,0	'Манифест'	967	11,7	7,2
99-6-10	914	12,6	6,0	'Скарб'	883	9,6	3,8
118-6-2011	487	10,8	7,0	'Вектар'	848	13,5	5,3
171-3	891	12,3	5,0	'Здабытак'	630	18,4	6,8

лов) характеризовались гибриды 118-6-2011, 99-4-1, 38 КВА, 97-152-8, 8-3-2004 и 135-1-2006. Средняя пригодность отмечена у образцов 99-6-10, 138-3-2006, 160-1, 190-4, 135-5-2005, 24-1, 39-1-2005 и 16/27-09. Лучшие сорта 'Манифест' и 'Здабытак' имели оценку 7,2 и 6,8 баллов соответственно.

Молекулярный скрининг выявил у изученных образцов межвидовых гибридов ампликоны маркеров, ассоциированных с двумя локусами углеводного обмена картофеля, – *Stp23* и *Inv-ap-b* (см. табл. 5). У гибридов 171-3, 97-152-8, 160-1, 39-1-2005 и 40-2000 установлено наличие двух маркеров: *Stp23-8b* и *InvGF-4d* – одного из двух маркеров, ассоциированных с аллелью гена инвертазы в локусе *Inv-ap-b*. У единственного образца – гибрида 16/27-09 – установлено наличие второго маркера гена – *InvGF-4b*. У гибридов 97-159-3, 135-1-2006, 118-6-2011 и 12/1-09 установлено наличие маркера *Stp23-8b*. У гибридов 138-3-2006, 190-4 и 99-6-10 установлено наличие маркера *InvGF-4d*. У гибридов 24-1, 99-4-1, 8-3-2004, 135-5-2005 и 38 КВА не выявлено ни одного из использованных маркеров. Связи между наличием перечисленных ДНК-маркеров и содержанием крахмала в клубнях гибридов картофеля не обнаружено. Гибриды 16/27-09 и 135-1-2006, у которых выявлено по одному ДНК-маркеру – *InvGF-4b* и *Stp23-8b* соответственно, показали наиболее высокое содержание крахмала (16,6–16,9%) среди изученных образцов (см. табл. 5, 6).

Изучение в условиях Республики Беларусь 19 межвидовых гибридов картофеля из коллекции ВИР, отобранных в потомстве разных комбинаций скрещивания с участием диких и культурных видов, сортов и ин-

тродуцированных форм картофеля, существенно дополнило их характеристику по устойчивости к болезням. Выделены гибриды – источники устойчивости клубней картофеля к черной ножке и к фитофторозу, что позволяет рекомендовать их для использования в селекции на групповую устойчивость картофеля к фитопатогенам.

Сравнительный анализ данных, полученных при изучении гибридов картофеля в Республике Беларусь, в Московской области (Simakov et al., 2017) и в г. Пушкине (Rogozina et al., 2018), выявил совпадение оценок большинства гибридов по устойчивости к фитофторозу и вирусным болезням. Во всех трех регионах гибриды 24-1, 39-1-2005, 99-4-1, 40-2000 и 171-3 проявляют устойчивость к фитофторозу листьев; гибриды 8-3-2004, 135-5-2005, 118-6-2011, 160-1, 190-4, 97-159-3, 97-152-8, 99-6-10 не поражаются вирусом Y в условиях естественного развития инфекции. Стабильная устойчивость к болезням в разных агроклиматических условиях свидетельствует о надежном генетическом контроле устойчивости к фитопатогенам у выделенных гибридов картофеля. Различия по устойчивости к фитофторозу обнаружены для гибридов 135-5-2005 и 8-3-2004, которые по результатам искусственного заражения листьев и клубней фитофторозом в Федеральном исследовательском центре им. А.Г. Лорха охарактеризованы как устойчивые, а в условия Беларуси – как неустойчивые. Образцы 99-6-10 и 138-3-2006 в условиях Республики Беларусь на естественном инфекционном фоне были устойчивы к L- и Y-вирусу, но поразились данными патогенами в условиях Московской области (Simakov et al., 2017). Очевидно,

Таблица 6. Результаты скрининга межвидовых гибридов картофеля на наличие эффективных аллелей генов, связанных с синтезом углеводов

Table 6. Results of screening interspecific potato hybrids for the presence of loci associated with carbohydrate synthesis

Гибрид	ДНК-маркеры генов синтеза углеводов							
	StpL-3e	StpL-3b	Stp23-8b	AGPsS-10a	AGPsS-9a	InvGF-4d	InvGF-4b	Pain 1-8c
24-1	-	-	-	-	-	-	-	-
39-1-2005	-	-	+	-	-	+	-	-
135-1-2006	-	-	+	-	-	-	-	-
99-4-1	-	-	-	-	-	-	-	-
8-3-2004	-	-	-	-	-	-	-	-
135-5-2005	-	-	-	-	-	-	-	-
12/01-09	-	-	+	-	-	-	-	-
190-4	-	-	-	-	-	+	-	-
99-6-10	-	-	-	-	-	+	-	-
118-6-2011	-	-	+	-	-	-	-	-
171-3	-	-	+	-	-	+	-	-
160-1	-	-	+	-	-	+	-	-
138-3-2006	-	-	-	-	-	+	-	-
97-152-8	-	-	+	-	-	+	-	-
97-159-3	-	-	+	-	-	-	-	-
40-2000	-	-	+	-	-	+	-	-
38 КВА	-	-	-	-	-	-	-	-
16/27-09	-	-	-	-	-	-	+	-

что изменения расового или штаммового состава возбудителей болезней картофеля являются причиной отмеченных различий.

Сравнительный анализ данных изучения хозяйственно ценных признаков у гибридов картофеля в Республике Беларусь, Московской области (Khloruyuk et al., 2021) и Камчатском крае (Ivashchenko et al., 2024) выявил согласованность в характеристиках гибридов 135-1-2006, 99-4-1, 138-3-2006 и 135-5-2005, которые во всех регионах отмечены как среднепродуктивные, уступающие по этому показателю сортам-стандартам. Единственный гибрид 8-3-2004, со средней (750–810 г/куст) продуктивностью в Московской области и Камчатском крае, охарактеризован как высокопродуктивный при выращивании в условиях Республики Беларусь.

Межвидовые гибриды картофеля из коллекции ВИР впервые исследованы на наличие ДНК-маркеров генов, участвующих в углеводном обмене картофеля. Ни у одного из гибридов не обнаружены AGPsS-10a и AGPsS-9a – маркеры эффективных аллелей гена АДФ-глюкозо-пирофосфорилазы (*AGPase*), который является одним из ключевых ферментов биосинтеза крахмала у высших растений (Li et al., 2013). Маркеры генов, отвечающих за деградацию крахмала (фермента фосфорилаза) или во-

влеченных в метаболизм сахарозы (фермента кислая вакуолярная инвертаза), также не обнаружены у исследованных гибридов картофеля. В наших опытах не подтвердилась связь между наличием маркера Stp23-8b и повышенным содержанием крахмала в клубнях, ранее обнаруженная у тетраплоидных сортов картофеля (Li et al., 2013). Для скрининга было использовано небольшое число маркеров, что ограничило результативность нашего анализа. Известно, что в метаболизме крахмала картофеля участвуют более восьмидесяти генов, каждый из которых представлен множеством аллельных вариантов. Необходимо продолжение исследований по поиску и валидации ДНК-маркеров генов, участвующих в углеводном обмене картофеля.

В итоге проведенного в условиях Республики Беларусь всестороннего изучения межвидовых гибридов картофеля из коллекции ВИР выделены лучшие образцы, которые включены в гибридизацию для получения новых, перспективных для селекции форм с комплексом хозяйственно ценных признаков. В течение 2021–2024 гг. выполнено 63 комбинации скрещиваний. Ягоды получены в 28 комбинациях. В настоящее время в полевых питомниках проходят изучение 36 новых гибридных форм картофеля.

Заключение

Изучение межвидовых гибридов картофеля, созданных в ВИР, в условиях Республики Беларусь подтвердило высокий уровень устойчивости к фитофторозу и вирусу Y картофеля у гибридов, ранее идентифицированных в качестве источников этих признаков в полевых и лабораторных опытах российских исследователей. Впервые выделены гибриды 190-4 (к-25618), 38 КВА (б. н.) и 118-6-2011 (П-591) с высокой устойчивостью клубней к черной ножке. Выделен гибрид 16/27-09 (к-25628) с высокой продуктивностью и устойчивостью к комплексу болезней – фитофторозу (листьев и клубней) и черной ножке (клубней). Установлено, что гибриды 118-6-2011, 99-4-1 (П-242), 38 КВА, 97-152-8 (П-238), 8-3-2004 (б. н.) и 135-1-2006 (П-264) характеризуются относительно высоким баллом пригодности к промышленной переработке на картофелепродукты после 5 месяцев холодного хранения без рекондиционирования. Выделенные гибриды рекомендуются в качестве источников хозяйственно ценных признаков для селекции.

References / Литература

- Andryushina N.A., Batsanov N.S., Budina L.V., Grinevich V.F., Ilyin V.F., Klyukvina Yu.V., Shmyglya V.A., Yashina I.M. Methods of research on the potato crop (Metodika issledovaniy po culture kartofelya). Moscow: VASKhNIL; 1967. [in Russian] (Андрюшина Н.А., Бацанов Н.С., Будина Л.В., Гриневич В.Ф., Ильин В.Ф., Клюквина Ю.В., Шмыгля В.А., Яшина И.М. Методика исследований по культуре картофеля. Москва: ВАСХНИЛ; 1967).
- Banadysev S.A., Staravoitov A.M., Kolyadka I.I., Makhanko V.L., Fando V.V., Kozlova L.N., Kolyadka O.M., Azarodova L.V., Goncharova N.N., Vologdina L.N., Stadnikov I.A., Gribov A.P. Guidelines for the specialized assessment of potato cultivars (Metodicheskiye rekomendatsii po spetsializirovannoy otsenke sortov kartofelya). Minsk: Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus; 2003. [in Russian] (Банадысев С.А., Старавойтов А.М., Колядка И.И., Маханько В.Л., Фандо В.В., Козлова Л.Н., Колядка О.М., Незаконова Л.В., Гончарова Н.Н., Вологодина Л.Н., Стадников И.А., Грибок А.П. Методические рекомендации по специализированной оценке сортов картофеля. Минск: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь; 2003).
- Blotskaya J.V. Viral, viroid and phytoplasma diseases of potatoes (Virusnye, viroidnye i fitoplazmennye bolezni kartofelya). Minsk: Technologia; 2000. [in Russian] (Блоцкая Ж.В. Вирусные, виroidные и фитоплазменные болезни картофеля. Минск: Тэхналогія; 2000).
- Bukasov S.M., Zykin A.G., Bavuko N.F., Kostina L.I., Rudenko A.I., Sorokin A.I. Methodological guidelines for the maintenance and study of the world potato collection. S.M. Bukasov (ed.). Leningrad: VIR; 1976. [in Russian] (Букасов С.М., Зыкин А.Г., Бавыко Н.Ф., Костина Л.И., Руденко А.И., Сорокин А.И. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля / под ред. С.М. Букасова. Ленинград: ВИР; 1976).
- Busko I.I., Levantsevich I.V., Mihaleny O.N., Mantsevich L.A. Features of late blight during the growing season-2013. *Potato-Growing. Proceedings.* 2014;22:58-62. [in Russian] (Бусько И.И., Леванцевич И.В., Михаленя О.Н., Манцевич Л.А. Особенности проявления фитофтороза картофеля в вегетационный период 2013 года. *Картофелеводство. Сборник научных трудов.* 2014;22:58-62).
- Dorozhkin N.A., Ivanyuk V.G. (eds). Methods for assessing potato, vegetable and fruit crops for disease resistance: methodological recommendations (Metody otsenki kartofelya, ovoshchnykh i plodovykh kultur na ustoychivost k bolezniam: metodicheskiye rekomendatsii). Minsk: Belorussian Research Institute of Potato, Fruit and Vegetable Growing; 1987. [in Russian] (Методы оценки картофеля, овощных и плодовых культур на устойчивость к болезням: методические рекомендации / под ред. Н.А. Дорожкина, В.Г. Иванюка. Минск: Белорусский НИИ картофелеводства и плодоовощеводства; 1987).
- Fry W.E. Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of late blight. *Phytopathology.* 1978;68(11):1650-1655. DOI: 10.1094/Phyto-68-1650
- Ignatov A.N., Panycheva Yu.S., Voronina M.V., Dzhaliilov F.S. Potato bacterial pathogens in Russia. *Potato and Vegetables.* 2018;(1):3-7. [in Russian] (Игнатов А.Н., Панычева Ю.С., Воронина М.В., Джалилов Ф.С. Бактериозы картофеля в Российской Федерации. *Картофель и овощи.* 2018;(1):3-7). DOI: 10.25630/PAV.2018.1.17453
- Instruction for NUCLEOSORB Type C DNA isolation kits (Instruktsiya na nabory po vydeleniyu DNK "NUCLEOSORB" Tip S): [website]. [in Russian] (Инструкция на наборы по выделению ДНК «НУКЛЕОСОРБ» Тип С: [сайт]). URL: <http://primetech.by/index.php?route=module/downloads> [дата обращения: 09.03.2021].
- Instruction for using the enzyme immunoassay diagnostic kit for the determination of potato viruses (Instruktsiya po ispolzovaniyu immunofermentnogo diagnosticheskogo nabora dlya opredeleniya virusov kartofelya). Moscow: Korenevo; 1993. [in Russian] (Инструкция по использованию иммуноферментного диагностического набора для определения вирусов картофеля. Москва; Корнево; 1993).
- Ivanyuk V.G., Banadysev S.A., Zhuromsky G.K. Protection of potatoes from diseases, pests and weeds (Zashchita kartofelya ot bolezney, vreditel'ey i sornyakov). Minsk; 2005. [in Russian] (Иванюк В.Г., Банадысев С.А., Журомский Г.К. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. Минск; 2005).
- Ivashchenko A.D., Sherstyukova T.P., Khasbiullina O.I., Rogozina E.V. Breeding value of potato hybrid clones from the VIR collection revealed in the environments of Kamchatka Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2024;185(1):51-63. [in Russian] (Ивашченко А.Д., Шерстюкова Т.П., Хасбиуллина О.И., Рогозина Е.В. Проявление селекционно ценных признаков у межвидовых гибридов картофеля из коллекции ВИР в условиях Камчатского края. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2024;185(1):51-63). DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-51-63
- Izrail'skiy V.P. Bacterial diseases of plants (Bakterialnye bolezni rasteniy). Moscow: Kolos; 1979. [in Russian] (Израильский В.П. Бактериальные болезни растений. Москва: Колос; 1979).
- Khlopuyuk M.S., Chalaya N.A., Rogozina E.V. Stability of agronomic traits in interspecific hybrid potato clones in the Central Region of European Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2021;182(4):79-89. [in Russian] (Хлопуюк М.С., Чалая Н.А., Рогозина Е.В. Стабильность агрономически ценных признаков у клонов межвидовых гибридов картофеля в условиях Центрального региона европейской территории России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селек-*

- цви. 2021;182(4):79-89). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-79-89
- Kolyadko I., Nezakonova L., Makhan'ko V. The use of accessions from Vavilov Institute in potato breeding program in Belarus. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2007;163:186-192. [in Russian] (Колядко И.И., Незаконова Л.В., Маханько В.В. Использование образцов коллекций Всероссийского института растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР) в селекции картофеля в Беларуси. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2007;163:186-192).
- Kozlov V., Rusetski N., Chashinski A., Ignatova N. The use of genetic resources from potato collection of N.I. Vavilov Institute of Plant Industry in parental line breeding with resistance to virus diseases, late blight and high starch content. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2007;163:179-186. [in Russian] (Козлов В.А., Русецкий Н.В., Чашинский А.В., Игнатова Н.М. Использование генофонда картофеля ВИР в создании исходного материала, устойчивого к вирусным болезням, фитофторозу, с повышенным содержанием крахмала. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2007;163:179-186).
- Kozlov V.A., Rogozina E.V. Interspecific potato hybrid clones developed at VIR as sources of valuable traits for potato breeding in Belarus. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2014;175(2):61-72. [in Russian] (Козлов В.А., Рогозина Е.В. Созданные в ВИР межвидовые гибриды картофеля – источники ценных признаков для селекции картофеля в Белоруссии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2014;175(2):61-72).
- Li L., Paulo M.J., Strahwald J., Lübeck J., Hofferbert H.R., Tacke E. et al. Natural DNA variation at candidate loci is associated with potato chip color, tuber starch content, yield and starch yield. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116(8):1167-1181. DOI: 10.1007/s00122-008-0746-y
- Li L., Strahwald J., Hofferbert H.R., Lübeck J., Tacke E., Jung-hans H. et al. DNA variation at the invertase locus *invGE/GF* is associated with tuber quality traits in populations of potato breeding clones. *Genetics*. 2005;170(2):813-821. DOI: 10.1534/genetics.104.040006
- Li L., Tacke E., Hofferbert H.R., Lübeck J., Strahwald J., Draf-fehn A.M. et al. Validation of candidate gene markers for marker-assisted selection of potato cultivars with improved tuber quality. *Theoretical and Applied Genetics*. 2013;126(4):1039-1052. DOI: 10.1007/s00122-012-2035-z
- Piskun G.I. Priority areas of potato selective breeding in connection with climate change. *Potato Growing*. 2021;29(1):38-43. [in Russian] (Пискун Г.И. Приоритетные направления селекции картофеля в связи с изменением климата. *Картофелеводство*. 2021;29(1):38-43). DOI: 10.47612/0134-9740-2021-29-38-43
- Rogozina E.V., Biryukova V.A., Simakov E.A., Zharova V.A., Chala-ya N.A., Kuznetsova M.A. et al. Interspecific hybrids as parental lines in anticipatory breeding for potato resistant to disease and pests. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(1):26-31. [in Russian] (Рогозина Е.В., Бирюкова В.А., Симаков Е.А., Жарова В.А., Чалая Н.А., Кузнецова М.А. и др. Межвидовые гибриды как родительские формы для упреждающей селекции картофеля на устойчивость к болезням и вредителям. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(1):26-31). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10105
- Rudenko A.I., Kovalchuk G.N. Crop arrangement and harvests of potato in the USSR in the context of climate conditions (Razmeshcheniye posevov i urozhay kartofelya v SSSR v svyazi s klimaticheskimi usloviyami). In: S.M. Bukasov (ed.). *Flora of Cultivated Plants. Vol. 9. Potato*. Leningrad: Kolos; 1971. p.417-429. [in Russian] (Руденко А.И., Ковальчук Г.Н. Размещение посевов и урожай картофеля в СССР в связи с климатическими условиями. В кн.: *Культурная Флора СССР. Т. 9. Картофель* / под ред. С.М. Букасова. Ленинград: Колос; 1971. С.417-429).
- Schuhmann P. Auswirkungen des Virusbesatzes auf die Höhe des Knollenertrages. *Kartoffelbau*. 1994;45(6):238-241. [in German]
- Spaar D., Bykin A., Drüger D., Zakharenko A., Ivanyuk V., Kalenskaya S., Konovalova V., Litun A., Mukhin K., Novozhilov K., Postnikov V., Tarasenko G., Tsygankov V., Shcherbakov G. Potatoes (Kartofel). D. Spaar (ed.). Minsk; 2004. [in Russian] (Шпаар Д., Быкин А., Дрюгер Д., Захаренко А., Иванов В., Каленская С., Коновалова В., Литун А., Мухин К., Новожилов К., Постников В., Тарасенко Г., Цыганков В., Щербиков Г. Картофель / под ред. Д. Шпаара. Минск; 2004).
- Simakov E.A., Zharova V.A., Mityushkin A.V., Biryukova V.A., Rogozina E.V., Kiru S.D. The use of genetic resources to increase the efficiency of potato breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(2):113-121. [in Russian] (Симаков Е.А., Жарова В.А., Митюшкин А.В., Бирюкова В.А., Рогозина Е.В., Киру С.Д. Использование генетических ресурсов картофеля для повышения эффективности селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(2):113-121). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-2-113-121
- Sklyarova N.P., Cherepanova R.V. Guidelines for determining immunity and hypersensitivity of potato breeding material to X and Y viruses and field resistance to viral diseases (Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu immuniteta i sverkhchuvstvitelnosti selektsionnogo materiala kartofelya k virusam X i Y i polevoy ustoychivosti k virusnym boleznyam). Moscow; Kraskovo: Research Institute of Potato Farming; 1978. [in Russian] (Склярова Н.П., Черепанова Р.В. Методические указания по определению иммунитета и сверхчувствительности селекционного материала картофеля к вирусам X и Y и полевой устойчивости к вирусным болезням. Москва; Красково: НИИ картофельного хозяйства; 1978).
- Slater A.T., Cogan N.O.I., Hayes B.J., Schultz L., Dale M.F.B., Bryan G.J. et al. Improving breeding efficiency in potato using molecular and quantitative genetics. *Theoretical and Applied Genetics*. 2014;127(11):2279-2292. DOI: 10.1007/s00122-014-2386-8

Информация об авторах

Анатолий Владимирович Чашинский, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, 223013 Беларусь, Минская обл., Минский район, Самохваловичи, ул. Ковалева, 2а, a.chashinski@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0839-8892>

Виктор Алексеевич Козлов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий лабораторией, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, 223013 Беларусь, Минская обл., Минский район, Самохваловичи, ул. Ковалева, 2а, wiko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4925-5898>

Диана Владимировна Башко, научный сотрудник, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, 223013 Беларусь, Минская обл., Минский район, Самохваловичи, ул. Ковалева, 2а, geneticabelbulba@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0280-8481>

Николай Владимирович Русецкий, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, 223013 Беларусь, Минская обл., Минский район, Самохваловичи, ул. Ковалева, 2а, nicrw@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3290-1801>

Инна Александровна Родькина, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, 223013 Беларусь, Минская обл., Минский район, Самохваловичи, ул. Ковалева, 2а, rodkina@tut.by, <https://orcid.org/0009-0005-7029-8150>

Надежда Александровна Чалая, 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, n.chalaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

Елена Вячеславовна Рогозина, доктор 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, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068X>

Information about the authors

Anatol V. Chashynski, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing, 2a Kovaleva St., Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region 223013, Belarus, a.chashynski@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0839-8892>

Victor A. Kozlov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of a Laboratory, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing, 2a Kovaleva St., Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region 223013, Belarus, wiko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4925-5898>

Diana V. Bashko, Researcher, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing, 2a Kovaleva St., Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region 223013, Belarus, geneticabelbulba@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0280-8481>

Nicolai V. Rusetski, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing, 2a Kovaleva St., Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region 223013, Belarus, nicrw@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3290-1801>

Inna A. Rodkina, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing, 2a Kovaleva St., Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region 223013, Belarus, rodkina@tut.by, <https://orcid.org/0009-0005-7029-8150>

Nadezhda A. Chalaya, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.chalaya@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

Elena V. Rogozina, Dr. Sci. (Biology), Leader Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068X>

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 09.06.2025; одобрена после рецензирования 30.10.2025; принята к публикации 04.02.2026. The article was submitted on 09.06.2025; approved after reviewing on 30.10.2025; accepted for publication on 04.02.2026.