

Научная статья/Research Article

УДК 631.52:633.491

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-20-27

Ирина Олеговна Газданова^{1✉}, Фатима Тамерлановна Гериева², Хетаг Тотразович Дзедаев³^{1,2,3}Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр РАН», Владикавказ, Россия¹gazdanovaira2020@gmail.com²fatima.gerieva.62@mail.ru³fatima.gerieva.62@mail.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДОВ КАРТОФЕЛЯ ВНЦ РАН НА НАЛИЧИЕ ДНК-МАРКЕРОВ
УСТОЙЧИВОСТИ К ВИРУСАМ И ЦИСТООБРАЗУЮЩЕЙ НЕМАТОДЕ**

Цель исследования – выявление генотипов картофеля с генами, контролирующими устойчивость к картофельной цистообразующей нематодe (*Globoder arrostochiensis* и *Globoder apallida*), вирусам картофеля X (ХВК) и Y (YBK) в гибридах картофеля ВНЦ РАН с использованием молекулярных маркеров. Анализы проводились в лаборатории молекулярного генетического исследования Владикавказского научного центра Российской академии наук с использованием приборно-аппаратной линии для проведения ПЦР-анализа. Селекционный материал был предварительно оценен в лабораторно-полевых условиях по наиболее важным хозяйственно ценным признакам в соответствии с «Методическими рекомендациями по технологии селекционного процесса для картофеля». ДНК выделяли из листьев образцов картофеля с использованием набором реагентов «ДНК-Экстрен-3» для выделения ДНК из тканей растений компании ООО «Синтол». Для молекулярного скрининга образцов картофеля использовались ДНК-маркеры генов устойчивости к вирусу Y: STS-маркер YES3-3A, сцепленный с геном *Rysto*, и SCAR-маркер RYSC3 гена *Ruadg*, STS-маркер *Ry186* гена *Rychc*; против золотистой картофельной нематоды – SCAR-маркер гена *H1* – TG 689, 57 R, N 195, STS-маркер *Gro1-4-1* гена *Gro1-4*; против бледной картофельной нематоды – STS-маркер *Gpa2-2* гена *Gpa2* и против вируса картофеля X – STS-маркер *PVX* гена *Rx1*. Комбинация маркеров *Gpa2-2* и *PVX* была обнаружена в 9 гибридных комбинациях. Молекулярно-генетический анализ гибридов картофеля показал, что маркер *PVX* гена устойчивости к вирусу X (*Rx*) был диагностирован в 18 образцах. Маркер RYSC3 гена *Ruadg* обнаружен у гибридов картофеля 7/6-18, 7/7-18, 7/16-18, 7/21-18, 8/1-18. Ген *H1* был подтвержден комбинацией из трех маркеров TG-689, 57R, N195 у 11 гибридных образцов картофеля. У всех исследуемых генотипов отсутствует специфический фрагмент размером 602 п.н. – маркер гена *Gro 1-4*.

Ключевые слова: картофель, гибрид, устойчивость, ген, нематода, маркеры, вирус X, Y

Для цитирования: Газданова И.О., Гериева Ф.Т., Дзедаев Х.Т. Исследование гибридов картофеля ВНЦ РАН на наличие ДНК-маркеров устойчивости к вирусам и цистообразующей нематодe // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7. С. 20–27. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-20-27.

Irina Olegovna Gazdanova^{1✉}, Fatima Tamerlanovna Gerieva², Khetag Totrazovich Dzedaev³^{1,2,3}Federal Scientific Center "Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Vladikavkaz, Russia¹gazdanovaira2020@gmail.com²fatima.gerieva.62@mail.ru³fatima.gerieva.62@mail.ru

**STUDYING POTATO HYBRIDS VSC RAS FOR THE PRESENCE OF DNA MARKERS
OF RESISTANCE TO VIRUSES AND CYSTO-FORMING NEMATODE**

*The aim of the study is to identify potato genotypes with genes that control resistance to the potato cyst nematode (*Globoder arrostochiensis* and *Globoder apallida*), potato virus X (XVC), and Y (YVC) in potato hybrids of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences using molecular markers. The analyzes were carried out in the Laboratory of Molecular Genetic Research of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences using an instrumentation line for PCR analysis. The breeding material was preliminary evaluated in laboratory and field conditions for the most important economically valuable traits in accordance with the "Methodological recommendations on the technology of the breeding process for potatoes". DNA was isolated from the leaves of potato samples using the DNA-Extran-3 reagent kit for DNA extraction from plant tissues of OOO Syntol (limited liability company). For molecular screening of potato samples, DNA markers of W virus resistance genes were used: STS marker YES3-3A linked to the Rysto gene, and SCAR marker RYSC3 of the Ryadg gene, STS marker Ry186 of the Rychc gene; against the golden potato nematode - SCAR marker of the H1 gene – TG 689, 57 R, N 195, STS marker Gro1-4-1 of the Gro1-4 gene; against the pale potato nematode, the STS marker Gpa2-2 of the Gpa2 gene; and against potato virus X, the STS marker PVX of the Rx1 gene. The combination of Gpa2-2 and PVX markers was found in 9 hybrid combinations. Molecular genetic analysis of potato hybrids showed that the PVX marker of the X virus resistance gene (Rx) was diagnosed in 18 samples. The RYSC3 marker of the Ryadg gene was found in potato hybrids 7/6-18, 7/7-18, 7/16-18, 7/21-18, 8/1-18. The H1 gene was confirmed by a combination of three markers TG-689, 57R, N195 in 11 hybrid potato accessions. All studied genotypes lack a specific 602 bp fragment - a marker of the Gro 1-4 gene.*

Keywords: potato, hybrid, resistance, gene, nematode, markers, virus X, W

For citation: Gazdanova I.O., Gerieva F.T., Dzedaev H.T. Studying potato hybrids VSC RAS for the presence of DNA markers of resistance to viruses and cysto-forming nematode // Bulliten KrasSAU. 2022;(7): 20–27. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-20-27.

Введение. В странах с развитым картофелеводством в настоящее время средняя урожайность картофеля составляет 40,0 т/га, а в PCO-Алания средняя урожайность не превышает 20,0–25,0 т/га. Недобор урожая клубней связан со многими объективными и субъективными причинами [1–3]. Одной из причин низких урожаев картофеля является отсутствие собственного семенного материала и новых перспективных конкурентоспособных сортов, устойчивых к карантинным объектам, вирусным, бактериальным и грибным болезням, приспособленных к конкретным климатическим условиям [4, 5]. Опасность этих вирусов заключается в том, что они беспрепятственно распространяются в пределах сорта, приводя к полному поражению растений. Вирусные инфекции вызывают значительные потери при выращивании картофеля, поскольку патогены передаются с посадочным материалом и таким образом циркулируют в агроэкосистемах в течение длительного времени, вызывая высокие потери урожая – до 15–70 % [6, 7]. Основной проблемой в селекции картофеля является контроль вирусных инфекций, поэтому поиск источников устойчивости к вирусам является актуаль-

ной задачей в селекции. Сложность селекции на устойчивость к вирусам заключается в наличии большого их разнообразия и малом числе сортов с комплексной устойчивостью [8].

В области селекции наиболее перспективно создание новых вирусоустойчивых сортов с использованием межвидовой гибридизации и внедрение их в производство. Создание устойчивой к вирусу сортоформы стало возможным только благодаря подбору устойчивых родительских форм и отбору всех устойчивых гибридов для всей дальнейшей работы [9–11].

Наряду с традиционной схемой селекции поиск эффективных исходных форм и перспективных гибридов картофеля с использованием методов маркер-вспомогательной селекции становится перспективным. Молекулярные маркеры (ДНК-маркеры), тесно связанные с генами устойчивости, интенсифицируют поиск ценных селекционных образцов и позволяют значительно увеличить выборку исследуемого материала при отборе генотипов с комплексом олигогенов, что существенно сокращает время создания новых сортов картофеля [12–15].

ДНК-маркеры используются для отбора образцов, потенциально устойчивых к цистообразующей нематод, фитофторозу, к наиболее вредоносным вирусам картофеля X и Y [16]. В селекции картофеля наиболее эффективные молекулярные маркеры связаны с генами *Ry_{sto}*, *Ry_{adg}* и *Ry_{chc}*, контролирующими иммунитет к YBK, генами *Rx1*, контролирующими иммунитет к XBK, и генами *H1* и *Gro1-4* для устойчивости к золотистой нематод *Globodera rostochiensis*, что может стать эффективным инструментом для интенсификации селекционной работы. Их использование для выявления ценных генотипов, включая формы с несколькими генами устойчивости, может значительно повысить эффективность отбора на ранних этапах селекции [17, 18].

Цель исследования – выявление генотипов картофеля с генами, контролирующими устойчивость к картофельной цистообразующей нематод (*Globodera rostochiensis* и *Globodera pallida*), вирусам X (XBK) и Y (YBK) картофеля среди образцов коллекций и гибридов ВНЦ РАН с использованием молекулярных маркеров.

Материалы и методы. Материалом для исследования служили гибриды картофеля отечественной селекции. Исследование выполнялось на базе лаборатории молекулярно-генетических исследований ВНЦ РАН с использованием приборно-аппаратной линии для проведения ПЦР-анализа. ДНК выделяли из молодых листьев полевых растений картофеля из селекционного питомника Владикавказского Научного Центра Российской академии наук (ВНЦ РАН) с исполь-

зованием набором реагентов «ДНК-Экстрен-3» (компания ООО «Синтол», Россия).

В исследовании использовались ДНК-маркеры, показывающие наиболее высокий уровень корреляции наличия амплифицированного фрагмента и устойчивости к патогену. Для молекулярного скрининга образцов картофеля использовали ДНК-маркеры генов устойчивости (табл. 1). ПЦР проводили в 20 мкл реакционной смеси, содержащей 10 нг общей ДНК из сортов картофеля, 1× реакционный буфер (Диазм, Москва), 2,5 mM $MgCl_2$, 0,5 mM каждого из dNTP, 0,2 мкМ прямого и обратного праймеров и 1 единицу Taq-полимеразы. ПЦР проводили по стандартным методикам. Температуры отжига и условия циклирования соответствовали указанным разработчиками праймерам (см. табл. 1). Для повышения эффективности анализа несколько маркеров (*Ry186*, *N 195*, *Gra2-2*) были объединены в одной мультиплексной реакции. GBSS-маркер *Waxy* (GBSSI) гена, контролирующего содержание амилопектина в крахмале, использовался в качестве внутреннего положительного контроля, указывающего на качество матрицы ДНК и правильность ПЦР. Мультиплексная ПЦР проводилась по следующей программе: 10 с при 94 °C (1 цикл); 30 с при 94 °C, 30 с при 68 °C, 1 мин при 72 °C, (5 циклов); 30 с при 94 °C, 30 с при 58 °C, 1 мин при 72 °C (35 циклов); 30 с при 94 °C, 5 мин при 72 °C (1 цикл). Присутствие специфического фрагмента определяли путем электрофоретического разделения продуктов амплификации в 1,5 % агарозном геле, окрашенном бромистым этидием.

Таблица 1

ДНК-маркеры, используемые для оценки генотипов картофеля

Ген	Маркер	Размер фрагмента (п.н.)	Температура отжига праймеров, °C	Литературный источник
1	2	3	4	5
ДНК-маркеры устойчивости к вирусу Y				
<i>Ry_{adg}</i>	<i>RYSC3</i>	321	60	Kasai et al., 2000 [19]
<i>Ry_{chc}</i>	<i>Ry186</i>	587	55	Hosaka et al., 2001 [20]
<i>Ry_{sto}</i>	<i>YES3-3A</i>	341	55	Song et al., 2005 [19]
ДНК-маркеры устойчивости к <i>Globodera rostochiensis</i>				
<i>H1</i>	<i>TG 689</i>	141	55	Бирюкова и др. 2008 [6]
	<i>N 195</i>	337	55	Mori et al. 2011 [18]
	<i>57 R</i>	450	63	Schultz et al., 2012 [21]
<i>Gro1-4</i>	<i>Gro 1-4</i>	602	60	Asanol et al., 2012 [22]

1	2	3	4	5
ДНК-маркеры устойчивости к <i>Globodera pallida</i>				
Gpa2	Gpa2-2	452	60	Asanol et al., 2012 [22]
ДНК-маркер устойчивости к вирусу X				
Rx1	PVX	1230	58	Mori et al., 2011 [18]

Результаты и их обсуждение. Молекулярный скрининг на наличие генов устойчивости проведен для 30 гибридов картофеля. В результате установлено, что в селекции картофеля на устойчивость в настоящее время используются близкородственные родительские формы, в родословной которых участвует один и тот же генетический источник, и имеются достаточно большие перспективы для расширения существующего генофонда.

В результате молекулярного скрининга гибридов селекции ВНЦ РАН установлено, что среди исследуемых образцов картофеля преобладают генотипы с маркерами генов *H1*, *Gpa2* и *Rx1* и имеются достаточно большие перспективы для расширения существующего генофонда, поскольку в их происхождении в качестве родительских форм участвуют сорта картофеля, устойчивые к цистообразующей картофельной нематодой и вирусу X (табл. 2).

Таблица 2

**Гибриды картофеля II года, устойчивые к патогенам,
отобранные по результатам маркер вспомогательной селекции**

Гибрид	Происхождение	Наличие ДНК маркеров										Общее кол-во генов
		TG 689	57R	N 195	Gro1-4	Gpa 2-2	YES3-3A	RYSC3	Ry186	PVX	5Rx1	
		Устойчивость к КЦН					Устойчивость к YBK и XBK					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1/2- 18	Nixe × Голубка	+	+	+	–	+	–	–	–	+	+	6
1/10-18	Nixe × Голубка	+	+	+	–	–	–	–	–	+	+	5
2/15-18	Red Scarlett × Голубка	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	3
2/18-18	Red Scarlett × Голубка	+	+	+	–	+	–	–	–	+	+	6
2/13-18	Red Scarlett × Голубка	+	+	+	–	+	–	–	–	+	+	6
2/22-18	Red Scarlett × Голубка	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	3
3/3-18	Romano × Голубка	–	–	–	–	+	–	–	–	+	+	3
4/7-18	El Mundo × Labadia	+	+	+	–	+	–	–	–	+	+	6
7_6-18	Фрителла × Киви	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	1
7_7-18	Фрителла × Киви	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	1
7/16-18	Фрителла × Киви	+	+	+	–	–	–	+	–	–	–	4
7/21-18	Фрителла × Киви	–	+	+	–	–	–	+	–	–	–	3
8/1-18	Lady Claire × Киви	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	1
8/8-18	Lady Claire × Киви	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	2
8/11-18	Lady Claire × Киви	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	2

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9/11-18	144-3-2013 × Innovator	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0
11/4-18	88.16/20 × Innovator	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0
11/7-18	88.16/20 × Innovator	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0
12/1-18	Ferrari × Бриз	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	2
12/12-18	Ferrari × Бриз	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	2
12/19-18	Ferrari × Бриз	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	1
13/13-18	El Beida × Бриз	+	+	+	–	–	–	–	–	+	+	5
13/17-18	El Beida × Бриз	–	–	–	–	+	–	–	–	+	–	2
17/2-18	VR 808 × Вымпел	+	+	+	–	+	–	–	–	+	+	6
17/7-18	VR 808 × Вымпел	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	3
17/18-18	VR 808 × Вымпел	–	–	–	–	+	–	–	–	+	+	3
17/20-18	VR 808 × Вымпел	–	+	+	–	+	–	–	–	+	+	5
17/22-18	VR 808 × Вымпел	–	+	–	–	–	–	–	–	+	+	3
18/21-18	Метеор × Вымпел	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	2
22/2-18	Метеор × Армада	+	+	+	–	+	–	–	–	+	+	6

Примечание: КЦН – картофельная цистообразующая нематода; YBK – Y вирус картофеля; ХВК – X вирус картофеля; (+/–) – присутствие / отсутствие маркера.

Наличие гена H1 было подтверждено комбинацией трех диагностических маркеров TG-689, 57R, N195 у 11 гибридных образцов картофеля. Ген H1 придает устойчивость к двум патотипам золотистой нематоды Ro1 и Ro4.

У всех исследуемых генотипов отсутствует специфический фрагмент размером 602 п.н. – маркер гена *Gro 1* (см. табл. 2). Маркер доминантного гена *Gra 2*, который контролирует устойчивость к *Globodera pallida*, был идентифицирован в гибридах 1/2-18; 2/18-18; 2/13-18; 3/3-18; 3/17-18; 17/2-18; 17/18-18; 17/20-18; 22/2-18. В исследованных гибридах все образцы с геном *Gra 2* также имели ген *Rx1*, поскольку ген *Gra 2* находится близко (менее 200 кб) к *Rx1* и эти гены генетически сцеплены [18].

Молекулярный маркер RYSC3 гена *Ry_{adq}* обнаружен у гибридов картофеля 7/6-18, 7/7-18, 7/16-18, 7/21-18 и 8/1-18, в происхождении которого участвует высоко-фертильная форма 128-6, сочетающая крайнюю устойчивость к Y вирусу картофеля с полевой устойчивостью к фитофторозу. Сорт Киви создан с участием формы 128-6 (от самоопыления беккроссов *S. stoloniferum* × *S. tuberosum*ⁿ). Интрогрессия маркера YES3-3A гена *Ry_{sto}* в гибриды происходит от сортов Метеор и Roko, полученных на основе *S. stoloniferum*. Маркеры генов *Ry_{adq}*, *Ry_{sto}* встречаются реже, хотя имеют наибольшую селекционную ценность, поскольку обеспечивают оптимальную защиту картофеля ко всем пяти патотипам Ro1-Ro5 золотой

картофельной нематоды и штаммам Y вируса картофеля соответственно. Маркер *Ry186* гена *Ry_{chc}* отсутствует у исследуемых гибридов. Сопоставление результатов молекулярного скрининга с происхождением гибридов позволяет проследить интрогрессию R-генов от исходных (родительских) форм. Для дальнейшего прогресса в селекции генетическая база исходного материала должна быть дополнена включением новых источников генов устойчивости.

Заключение. Молекулярно-генетический анализ выявил новые источники генов устойчивости против картофельной цистообразующей нематоды и вирусных болезней картофеля. Полученные результаты свидетельствуют о селекционной ценности названных родительских линий. Наличие таких форм позволит обеспечить оптимальную защиту картофеля, а также ограничить распространение патогенов и предотвратить появление более агрессивных патотипов. В результате маркер-вспомогательной селекции среди перспективных гибридов из коллекции ВНИЦ РАН выделены формы с комбинацией нескольких R-генов – 1/2-18, 2/13-18, 2/18-18, 4/7-18, 13/17-18, 22/2-18 – которые являются источниками групповой и комплексной устойчивости к картофельной цистообразующей нематоды, Y и X вирусам картофеля и представляют интерес для целенаправленной селекции сортов картофеля с долговременной защитой к патогенам.

Список источников

1. Картофель: проблемы и перспективы / С.В. Жевора [и др.] // Картофель и овощи. 2019. № 7. С. 2–7.
2. Гериева Ф.Т., Газданова И.О. Эффективность применения перспективных биопрепаратов нового поколения в условиях Северо-Кавказского региона // Аграрный вестник Урала. 2021. № 3 (206). С. 2–9.
3. Рафальский С.В., Рафальская О.М., Мельникова Т.В. Изучение гибридных популяций картофеля в условиях Приамурья // Вестник КрасГАУ. 2021. № 6 (171). С. 18–24.
4. Диагностика и профилактика вирусных, бактериальных и грибных болезней, контролируемых в семеноводстве картофеля: метод. рекомендации / Б.В. Анисимов [и др.]. Владикавказ, 2021.
5. Газданова И.О., Дзедзеев Х.Т., Моргоев Т.А. Биологическая защита картофеля в Республике Северная Осетия – Алания // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1. С. 76–82.
6. Актуальные направления развития селекции и семеноводства картофеля в России / Е.А. Симаков [и др.] // Картофель и овощи. 2020. № 12. С. 22–26.
7. Хлесткина Е.К., Шумный В.К., Колчанов Н.А. Маркер-ориентированная селекция и примеры ее использования в мировом картофелеводстве // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30 (10). С. 5–8.
8. DNA marker assisted evaluation of potato genotypes for potential resistance to potato cyst nematode pathotypes not yet invading into Japan / K. Asanoh [et al.] // Breed. Sci. 2012. V. 62. P. 142–150.
9. Prodhomme C., Vos P., Paulo M.J., Tammes J.E., Richard G. F., Visser R.G.F., Jack H. Distribution of P1(D1) wart disease resistance in potato germplasm and GWAS identification of haplotype-specific SNP markers. Theoretical and Applied Genetics. 2020;133:1859–1871.
10. Синцова Н.Ф., Лыскова И.В., Сергеева З.Ф. Перспективные направления селекции картофеля на Фаленской селекционной станции // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2011. № 6 (25). С. 8–13.
11. Hirsch C.D., Hamilton J.P., Childs K.L., Cepela J., Crisovan E., Vaillancourt B., Hirsch C.N. A resource for mining sequences, genotypes, and phenotypes to accelerate potato breeding. Plant Genome. 2014;7:1–12.
12. Шестенеров А.А., Грибоедова О.Г. Создание нематодоустойчивых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур // Аграрная наука. 2019. № S2. С. 130–134.
13. Исследование коллекционных образцов картофеля на наличие генетических маркеров устойчивости к фитопатогенам / А.Б. Сайнакова [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22 (1). С. 18–24.
14. Устойчивость картофеля к вирусам: современное состояние и перспективы / С.С. Макарова [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21 (1). С. 62–73.
15. Lico C., Benvenuto E., Baschieri S. The twofaced Potato virus X: from plant pathogen to smart nanoparticle. Front. Plant Sci. 2015;6:1009.
16. Arif M., Azhar U., Arshad M., Zafar Y., Mansoor S., Asad S. Engineering broad-spectrum resistance against RNA viruses in potato. Transgenic Res. 2012;21:303–311.
17. Устойчивость картофеля к карантинным болезням / А.В. Хюмми [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21 (1). С. 51–61.
18. Mori K., Sakamoto Y., Mukojima N., Tamiya S., Nakao T., Ishii T., Hosaka K. Development of a multiplex PCR method for simultaneous detection of diagnostic DNA markers of five disease and pest resistance genes in potato // Euphytica. 2011. V. 180. P. 347–355.
19. Kasai K., Morikawa Y., Sorri V.A., Valkonen J.P.T., Gebhardt C., and Watanabe K.N. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene Ryadg based on a common feature of plant disease resistance genes // Genome. 2000. V. 43. P. 1–8.
20. Song Y.S., Hepting L., Schweizer G., Hartl L., Wenzel G., and Schwarzfischer A. Mapping of extreme resistance to PVY (Rysto) on chromosome XII using anther-culture-derived primary dihaploid potato lines // Theoretical and Applied Genetics. 2005. V. 111. P. 879–887.
21. Schultz L., Cogan N.O.I., McLean K., Dale M.F.B., Bryan G.J., Forster J.W., Slater A.T. Evaluation and implementation of a potential diagnostic molecular marker for H1-conferred potato cyst nematode resistance in

- potato (*Solanum tuberosum* L.) // Plant Breed. 2012. V. 131. P. 315–321.
22. Asano K., Kobayashi A., Tsuda S., Nishinaka M., Tamiya S. DNA marker assisted evaluation of potato genotypes for potential resistance to potato cyst nematode pathotypes not yet invading into Japan // Breed. Sci. 2012. V. 62. P. 142–150.
- ### References
1. Kartoffel': problemy i perspektivy / S.V. Zhevorova [i dr.] // Kartoffel' i ovoschi. 2019. № 7. S. 2–7.
 2. Gerieva F.T., Gazdanova I.O. 'Effektivnost' primeneniya perspektivnykh biopreparatov novogo pokoleniya v usloviyah Severo-Kavkazskogo regiona // Agrarnyj vestnik Urala. 2021. № 3 (206). S. 2–9.
 3. Rafal'skij S.V., Rafal'skaya O.M., Mel'nikova T.V. Izuchenie gibridnykh populyacij kartofelya v usloviyah Priamur'ya // Vestnik KrasGAU. 2021. № 6 (171). S. 18–24.
 4. Diagnostika i profilaktika virusnykh, bakterialnykh i gribnykh boleznej, kontroliruemykh v semenovodstve kartofelya: metod. rekomendacii / B.V. Anisimov [i dr.]. Vladikavkaz, 2021.
 5. Gazdanova I.O., Dzedaev H.T., Morgoev T.A. Biologicheskaya zaschita kartofelya v Respublike Severnaya Osetiya - Alaniya // Vestnik KrasGAU. 2022. № 1. S. 76–82.
 6. Aktual'nye napravleniya razvitiya selekcii i semenovodstva kartofelya v Rossii / E.A. Simakov [i dr.] // Kartoffel' i ovoschi. 2020. № 12. S. 22–26.
 7. Hlestkina E.K., Shumnyj V.K., Kolchanov N.A. Marker-orientirovannaya selekciya i primery ee ispol'zovaniya v mirovom kartofelevodstve // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2016. T. 30 (10). S. 5–8.
 8. DNA marker assisted evaluation of potato genotypes for potential resistance to potato cyst nematode pathotypes not yet invading into Japan / K. Asano [et al.] // Breed. Sci. 2012. V. 62. P. 142–150.
 9. Prodhomme C., Vos P., Paulo M. J., Tammes J.E., Richard G.F., Visser R. G.F., Jack H. Distribution of P1(D1) wart disease resistance in potato germplasm and GWAS identification of haplotype-specific SNP markers. Theoretical and Applied Genetics. 2020;133:1859–1871.
 10. Sincova N.F., Lyskova I.V., Sergeeva Z.F. Perspektivnye napravleniya selekcii kartofelya na Falenskoj selekcionnoj stancii // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2011. № 6 (25). S. 8–13.
 11. Hirsch C.D., Hamilton J.P., Childs K.L., Cepela J., Crisovan E., Vaillancourt B., Hirsch C.N. A resource for mining sequences, genotypes, and phenotypes to accelerate potato breeding. Plant Genome. 2014;7:1–12.
 12. Shesteporov A.A., Griboedova O.G. Sozdanie nematodoustojchivyykh sortov i gibridov sel'skohozyajstvennykh kul'tur // Agrarnaya nauka. 2019. № S2. S. 130–134.
 13. Issledovanie kollekcionnykh obrazcov kartofelya na nalichie geneticheskikh markerov ustojchivosti k fitopatogenam / A.B. Sajnakova [i dr.] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2018. T. 22 (1). C. 18–24.
 14. Ustojchivost' kartofelya k virusam: sovremennoe sostoyanie i perspektivy / S.S. Makarova [i dr.] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2017. № 21 (1). S. 62–73.
 15. Lico C., Benvenuto E., Baschieri S. The twofaced Potato virus X: from plant pathogen to smart nanoparticle. Front. Plant Sci. 2015;6:1009.
 16. Arif M., Azhar U., Arshad M., Zafar Y., Mansoor S., Asad S. Engineering broadspectrum resistance against RNA viruses in potato. Transgenic Res. 2012;21:303–311.
 17. Ustojchivost' kartofelya k karantinnykh boleznyam / A.V. Hyutti [i dr.] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2017. № 21 (1). S. 51–61.
 18. Mori K., Sakamoto Y., Mukojima N., Tamiya S., Nakao T., Ishii T., Hosaka K. Development of a multiplex PCR method for simultaneous detection of diagnostic DNA markers of five disease and pest resistance genes in potato // Euphytica. 2011. V. 180. P. 347–355.
 19. Kasai K., Morikawa Y., Sorri V.A., Valkonen J.P.T., Gebhardt C., and Watanabe K.N. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene Ryadg based on a common feature of plant disease resistance genes // Genome. 2000. V. 43. P. 1–8.
 20. Song Y.S., Hepting L., Schweizer G., Hartl L., Wenzel G., and Schwarzfischer A. Mapping of extreme resistance to PVY (Rysto) on chromosome XII using anther-culture-derived pri-

- mary dihaploid potato lines // Theoretical and Applied Genetics. 2005. V. 111. P. 879–887.
21. Schultz L., Cogan N.O.I., McLean K., Dale M.F.B., Bryan G.J., Forster J.W., Slater A.T. Evaluation and implementation of a potential diagnostic molecular marker for H1-conferred potato cyst nematode resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.) // Plant Breed. 2012. V. 131. P. 315–321.
22. Asano K., Kobayashi A., Tsuda S., Nishinaka M., Tamiya S. DNA marker assisted evaluation of potato genotypes for potential resistance to potato cyst nematode pathotypes not yet invading into Japan // Breed. Sci. 2012. V. 62. P. 142–150.

Статья принята к публикации 05.04.2022 / The article accepted for publication 05.04.2022.

Информация об авторах:

Ирина Олеговна Газданова¹, научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук
Фатима Тамерлановна Гериева², ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук
Хетаг Тотразович Дзедаев³, аспирант, лаборант-исследователь

Information about the authors:

Irina Olegovna Gazdanova¹, Researcher, Candidate of Agricultural Sciences
Fatima Tamerlanovna Gerieva², Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences
Khetag Totrazovich Dzedaev³, Postgraduate Student, Laboratory Researcher

