

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕЛЕКЦИИ НА НАЛИЧИЕ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К Y-ВИРУСУ КАРТОФЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ

FIRST RESULTS OF ASSESSMENT POTATO VARIETIES OF KAZAKHSTAN BREEDING ON THE AVAILABILITY OF RESISTANCE GENES TO POTATO VIRUS Y WITH THE HELP OF MOLECULAR MARKERS

Бейсембина Б.¹, Кузьминова О.А.², Удовитский А.С.³,
Мусынов К.М.¹, Хасанов В.Т.¹, Вологин С.Г.²

¹ Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина
010011, Казахстан, г. Нур-Султан, пр. Женис, д.62
E-mail: bika_kz_2712@mail.ru, kazeke1963@mail.ru, vadim_kazg-atu@mail.ru

² Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ КазНЦ РАН, 420059, Россия, г. Казань, Оренбургский тракт, 48
E-mail: kuzminovaoa.ok@gmail.com, semen_vologin@mail.ru

³ ТОО «Сельскохозяйственная опытная станция «Заречное»
111108, Казахстан, Костанайская обл., п. Заречный,
ул. Юбилейная, 12
E-mail: udovitskiy41@mail.ru

Цель исследования заключалась в изучении сортов картофеля казахстанской селекции на наличие ДНК-маркеров, сцепленных с генами экстремальной устойчивости к Y-вирусу картофеля (YBK), а также в определении уровня устойчивости образцов картофеля к YBK. Объектом исследования служил биоматериал одиннадцати сортов картофеля, созданных в Северо-Западном НПЦ сельского хозяйства, Республика Казахстан. С помощью полимеразной цепной реакции ДНК-маркер RYSC3 (ген Ry-and) был выявлен у сортов Вид-1, Костанайские новости и Курант-1. RAPD-маркер PVY38–530 (ген PVY38–530) был детектирован в геноме образцов Алая заря-2 и Дуныша. У сорта Удовитский обнаружены маркеры PVY38–530 и Ry186 (ген Ry-chc), а у сортов Валерий и Тустеп — маркеры RYSC3 и PVY38–530. Молекулярные ДНК-маркеры, разработанные для поиска генов Ry-fsto (GP122–406), Ry-sto (YES3–3A, STM003), а также Ny-1 (S1d11) не были обнаружены у всех одиннадцати исследованных образцов. В биоматериале сортов Акжар, Алая заря и Вид-2 не был детектирован ни один из семи диагностируемых маркеров. Для определения уровня устойчивости образцов к YBK было проведено искусственное инфицирование растений вирусом в условиях открытого грунта и в регулируемых условиях фитотрона. Оценку проводили путем визуального наблюдения симптомов на инокулированных растениях картофеля, а также с помощью иммуноферментного анализа (ИФА). К образцам обладающим экстремальным типом устойчивости отнесены сорта Валерий, Вид-1 и Костанайские новости. К восприимчивым образцам отнесены Акжар, Алая заря, Дуныша и Курант-1. К слабовосприимчивым образцам отнесены сорта Алая заря-2, Вид-2, Тустеп и Удовитский, на растениях которых были обнаружены симптомы локальной некротической реакции, сопровождавшиеся слабopоложительным уровнем детектируемого сигнала в ИФА. Полученные результаты могут быть использованы в селекционных программах по созданию вирусоустойчивых сортов картофеля, а также в фундаментальных исследованиях по изучению механизмов устойчивости картофеля к YBK.

Ключевые слова: картофель, устойчивость, Y-вирус картофеля, ДНК-маркеры, полимеразная цепная реакция, иммуноферментный анализ.

Для цитирования: Бейсембина Б., Кузьминова О.А., Удовитский А.С., Мусынов К.М., Хасанов В.Т., Вологин С.Г. ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕЛЕКЦИИ НА НАЛИЧИЕ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К Y-ВИРУСУ КАРТОФЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ. Аграрная наука. 2019; (3): 23–27.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-23-27>

Beisembina B.¹, Kuzminova O.A.², Udovitsky A.S.³,
Musynov K.M.¹, Khasanov V.T.¹, Vologin S.G.²

¹ S.Seifullin Kazakh Agro Technical University
010011, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, Zhenis avenue, 62
E-mail: bika_kz_2712@mail.ru, kazeke1963@mail.ru, vadim_kazg-atu@mail.ru

² Tatar Research Institute of Agriculture,
FIC KazSC RAS, 420059, Russia, Kazan, Orenburgskiy trakt, 48
E-mail: kuzminovaoa.ok@gmail.com, semen_vologin@mail.ru

³ LLP «Zarechnoye» Agricultural Experiment Station»
111108, Kazakhstan, Kostanay region, Zarechny settlement, st.
Yubileynaya, 12
E-mail: udovitskiy41@mail.ru

The goal of the research was to investigate potato varieties of Kazakhstan breeding for the presence of DNA markers linked to genes of extreme resistance to potato virus Y (PVY), as well as to determine the level of resistance of potato samples to PVY. The object of the research was the biomaterial of eleven potato varieties created in the North-West Scientific and Production Center of Agriculture, Republic of Kazakhstan. Using the polymerase chain reaction, DNA marker RYSC3 (Ry-and gene) was detected in Vid-1, Kostanayskiye novosti and Kurant-1. The RAPD marker PVY38–530 (gene PVY38–530) was detected in the genome of the Alaya zarya-2 and Dunyasha samples. Markers PVY38–530 and Ry186 (Ry-chc gene) were found in the Udovitsky variety, and markers RYSC3 and PVY38–530 were found in the varieties Valery and Tustep. Molecular DNA markers designed to search for the Ry-fsto (GP122–406), Ry-sto (YES3–3A, STM003), and Ny-1 (S1d11) genes were not detected in all eleven studied samples. In the biomaterial varieties Akzhar, Alaya zarya and Vid-2, none of the seven diagnosable markers were detected. To determine the level of samples resistance to PVY, artificial infection of plants with the virus was carried out in open ground conditions and under controlled conditions of the phytotron. The assessment was performed by visual observation of symptoms on inoculated potato plants, as well as using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). The varieties Valery, Vid-1 and Kostanayskiye novosti are attributed as the samples with extreme resistance type. The susceptible samples include Akzhar, Alaya zarya, Dunyasha and Kurant-1. Alaya zarya-2, Vid-2, Tustep and Udovitsky varieties were assigned as weakly susceptible specimens, on the plants a local necrotic reaction were found accompanied by a weakly positive level of the detected signal in the ELISA. The results can be used in breeding programs for the creation of virus-resistant potato varieties, as well as in basic research on the study of the mechanisms of potato resistance to PVY.

Key words: potato, resistance, potato virus Y, DNA markers, polymerase chain reaction, enzyme-linked immunosorbent assay.

For citation: Beisembina B., Kuzminova O.A., Udovitsky A.S., Musynov K.M., Khasanov V.T., Vologin S.G. FIRST RESULTS OF ASSESSMENT POTATO VARIETIES OF KAZAKHSTAN BREEDING ON THE AVAILABILITY OF RESISTANCE GENES TO POTATO VIRUS Y WITH THE HELP OF MOLECULAR MARKERS. Agrarian science. 2019; (3): 23–27. (In Russ.)

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-23-27>

Растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в силу своих биологических особенностей и преимущественно вегетативного способа размножения подвержены инфицированию обширным кругом вирусных патогенов. Y-вирус картофеля (YBK) широко распространен во всем мире и относится к числу наиболее вредоносных инфекционных агентов, поражающих картофель. Широкий уровень распространения YBK зафиксирован во всех регионах Республики Казахстан [1]. Известно, что инфицирование YBK приводит к снижению урожайности культуры картофеля на 30–90% [2]. По уровню экономического вреда этот инфекционный агент включен в «топ-10» наиболее важных вирусов, повреждающих сельскохозяйственные растения [3]. В настоящее время описан достаточно широкий ряд штаммов YBK, индуцирующих образование различных симптомов на растениях картофеля [4]. Некоторые штаммы YBK индуцируют развитие некротических повреждений листовой ткани и клубней картофеля, что приводит не только к значительным потерям урожая, но и к значительному снижению товарного вида и пищевой ценности клубней [5].

В настоящее время различают четыре основных типа устойчивости растений к фитопатогенам: экстремальная устойчивость (иммунитет, полная невосприимчивость), сверхчувствительность (СВЧ), полевая (неспецифическая) устойчивость и толерантность [6]. Создание в ходе классического селекционного процесса новых сортов, устойчивых к YBK, наряду с безвирусным семеноводством картофеля, является эффективным способом предотвращения поражения картофеля вирусными болезнями. Основой для этого, на протяжении всего XX века, служил перенос в генетический материал культурного тетраплоидного картофеля *S. tuberosum* доминантных аллелей генов экстремальной устойчивости *Ry-and*, *Ry-fsto*, *Ry-sto* и *Ry-chc*, выявленных у полукультурных и диких видов картофеля *S. andigenum*, *S. stoloniferum* и *S. chacoense*. Наличие доминантных аллелей этих генов в генотипе растений картофеля обеспечивает высокий уровень защиты растений картофеля от всех штаммов YBK [7]. Относительно недавно была продемонстрирована возможность использования в селекционном процессе доминантных аллелей генов *Ny-1* и *Ny-2*, обнаруженных у *S. tuberosum*, которые отвечают за развитие реакции сверхчувствительности, также независимое от штаммового состава YBK [8]. Несмотря на то, что в настоящее время достаточно обширный объем генетических ресурсов картофеля содержит доминантные аллели генов *Ry-and*, *Ry-sto* и *Ry-chc*, литературные данные о наличии устойчивости к YBK для многих сортов картофеля либо отсутствуют, либо являются крайне неудовлетворительными, так как в подавляющем большинстве случаев приведенные характеристики основаны на субъективных результатах визуальных наблюдений за растениями. Подобная оценка на наличие устойчивости является длительным и трудоёмким процессом. В настоящее время для быстрой идентификации аллелей генов, обеспечивающих экстремальную устойчивость к YBK успешно применяется метод молекулярно-генетического анализа [9]. Этот прием ускоряет выявление устойчивых форм, а результаты данного анализа, в отличие от визуальных наблюдений симптоматики растений, не подвержен влиянию условий выращивания и стадии развития растений.

Целью данного исследования служило проведение оценки сортов картофеля казахстанской селекции на наличие ДНК-маркеров, сцепленных с генами экстремальной устойчивости к YBK, а также определение уровня устойчивости образцов картофеля к YBK.

Объект и методы исследований

Объектом исследования служил растительный биоматериал сортов картофеля, созданных в Северо-Западном НПЦ сельского хозяйства и районированных в Республике Казахстан: Акжар, Алая заря, Алая заря-2, Валерий, Вид-1, Вид-2, Дуняша, Костанайские новости, Курант-1, Тустеп и Удовичкий.

Выделение ДНК проводили с использованием наборов «ДНК-сорб-С» (Интерлабсервис, Россия). Обнаружение молекулярных маркеров *RYSC3* (ген *Ry-and*), *GP122-406* (ген *Ry-fsto*), *YES3-3A* (ген *Ry-sto*), *STM003* (ген *Ry-sto*), *Ry186* (ген *Ry-chc*), *PVY38-530* (ген *Ry-chc*) и *Sld11* (ген *Ny-1*) осуществляли с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР), которую проводили на приборах *Mastercycler gradient* (Eppendorf, США) и *T100* (Biorad, США). Температурные режимы проведения ПЦР, применение реакции рестрикции для маркера *GP122-406* и условия детектирования соответствовали методикам, приведенным в работах [8, 10, 11, 12, 13].

Для фенотипической оценки устойчивости исследуемых образцов к YBK проводили искусственное инфицирование путём механической инокуляции листовой ткани растений инфицируемым материалом в присутствии карборунда. В условиях открытого грунта растения выращивали в Целиноградском районе Акмолинской области Республики Казахстан (умеренно сухой теплый агроклиматический район, почвы темно-каштановые, средний многолетний гидротермический коэффициент 0,7–1,0). Для изучения было высажено по 4 растения каждого исследуемого образца, расстояние между растениями 0,3 м, расстояние между рядками 0,75 м. Выращивание растений картофеля в регулируемых климатических условиях осуществляли в фитотроне (температура 20–25 °С, продолжительность освещения 16 ч, интенсивность освещения 5000–7000 люкс, влажность 60–70%, почва чернозем комковато-зернистого состава). Для изучения высаживали по 4 растения каждого образца в сосуды объемом 50 дм³. В качестве инокулята для механического заражения использовали листовую ткань находящихся в стадии цветения растений сорта Невский, моноинфицированных изолятами *Kzn20-11* и *Kzn30-11*, ранее охарактеризованных по биологическим и молекулярно-генетическим свойствам, как штаммы YBK-NTN(A) и YBK-NTN(B), соответственно [14]. Инфицирование исследуемых образцов картофеля проводили на стадии 4–6 настоящих листьев. Оценку результатов проводили: а) путем визуального наблюдения развивающихся патологических симптомов на инокулированных растениях картофеля по истечению 40 суток после инфицирования, б) с помощью лабораторно-диагностического выявления YBK методом иммуноферментного анализа (ИФА) в листовых пробах, отобранных через 30 суток после YBK-инфицирования. ИФА проводили с помощью диагностических наборов для выявления YBK (ВНИИКС им. А.Г. Лорха, Россия), согласно инструкции производителя.

Результаты

Результаты скрининга сортов картофеля на наличие молекулярных маркеров, сцепленных с генами экстремальной устойчивости к YBK, представлены в таблице 1.

Молекулярный маркер *RYSC3*, нацеленный на поиск доминантного аллеля гена *Ry-and*, был выявлен в генетическом материале пяти сортов: Валерий, Вид-1, Костанайские новости, Курант-1 и Тустеп. RAPD-маркер *PVY38-530* был детектирован в геноме пяти образцов:

Таблица 1.

Оценка сортов картофеля на наличие молекулярных маркеров

Образец	ДНК-маркер/ген						
	RYSC3	GP122-406	YES3-3A	STM003	Ry186	PVY38-530	S1d11
	Ry-and	Ry-fsto	Ry-sto		Ry-chc		Ny-1
Акжар	-	-	-	-	-	-	-
Алая заря	-	-	-	-	-	-	-
Алая заря-2	-	-	-	-	-	+	-
Валерий	+	-	-	-	-	+	-
Вид-1	+	-	-	-	-	-	-
Вид-2	-	-	-	-	-	-	-
Дуняша	-	-	-	-	-	+	-
Костанайские новости	+	-	-	-	-	-	-
Курант-1	+	-	-	-	-	-	-
Тустеп	+	-	-	-	-	+	-
Удовицкий	-	-	-	-	+	+	-

Примечание: «+» — наличие признака, «-» — отсутствие признака.

Таблица 2.

Результаты искусственного инфицирования растений YBK

Образец	Открытый грунт		Фитотрон	
	Реакция растений	ИФА	Реакция растений	ИФА
Акжар	S: Im	++	S: Im	++
Алая заря	S: Im	++	S: Im	++
Алая заря-2	n/s	-	L: In	+
Валерий	n/s	-	n/s	-
Вид-1	n/s	-	n/s	-
Вид-2	n/s	-	L: In	+
Дуняша	S: Im	++	S: Im	++
Костанайские новости	n/s	-	n/s	-
Курант-1	n/s	-	S: Im	+
Тустеп	n/s	-	L: In	+
Удовицкий	n/s	-	L: In	+

Алая заря-2, Валерий, Дуняша, Тустеп и Удовицкий. В генетическом материале сорта Удовицкий RAPD-маркер PVY38-530 находился в комплексе с ДНК-маркером Ry186, который направлен на детекцию доминантного аллеля гена Ry-chc. Комплексное присутствие ДНК-маркера RYSC3 и RAPD-маркера PVY38-530 обнаружено у сортов Валерий и Тустеп. Молекулярные маркеры GP122-406, YES3-3A и STM003, направленные на поиск генов Ry-fsto и Ry-sto, не были обнаружены у всех одиннадцати исследованных образцов, что предположительно свидетельствует о том, что геном вида *S. stoloniferum* не был вовлечен в процесс создания этих сортов. В генетическом материале трех сортов картофеля — Акжар, Алая заря и Вид-2 не был детектирован ни один из диагностируемых молекулярных маркеров.

Фенотипическая оценка степени устойчивости изучаемых сортов к YBK отражена в таблице 2.

В ходе искусственного инфицирования растений картофеля, проведенного в условиях открытого грунта, симптомы поражения YBK были обнаружены у двух образцов не имеющих молекулярных маркеров (сорта Акжар и Алая заря), а также у одного образца (сорт Дуняша) содержащего RAPD-маркер PVY38-530. Наличие вируса в растительных тканях этих образцов было подтверждено лабораторно-диагностическим исследованием. У этих же образцов в изолированных условиях фитотрона были обнаружены симптомы системной мозаичности листьев, сопровождавшиеся положительным результатом в ИФА. Симптомы мозаичности листовой ткани в условиях фитотрона были зафиксированы у растений сорта Курант-1, в генетическом материале которого был детектирован маркер RYSC3. В диагностическом исследовании биоматериала сорта Курант-1 был выявлен слабоположительный результат, свидетельствующий об очень низком уровне поражения YBK. Все вышеописанные результаты свидетельствуют о восприимчивости сортов Акжар, Алая заря, Дуняша и Курант-1 к поражающему действию YBK.

Полное отсутствие симптомов вирусной инфекции, как в условиях открытого грунта, так и в изолированных условиях фитотрона, было зафиксировано у сортов Валерий, Вид-1 и Костанайские новости, обладающих молекулярным маркером RYSC3. Исследование биоматериалов этих образцов в ИФА не выявило наличие вируса, что свидетельствует о том, что сорта Валерий, Вид-1 и Костанайские новости обладают экстремальным типом устойчивости к YBK, связанным с наличием в генотипе этих образцов доминантного аллеля гена Ry-and. Следует

отметить, что в литературных источниках описан достаточно высокий уровень ассоциации ДНК-маркера RYSC3 с фенотипически наблюдаемым проявлением признака экстремальной устойчивости растений картофеля к YBK [15].

В ходе искусственного инфицирования в изолированных и контролируемых условиях фитотрона четырех образцов — Алая заря-2 (наличие маркера PVY38-530), Вид-2 (ДНК-маркеры не обнаружены), Тустеп (комбинация маркеров RYSC3 и PVY38-530) и Удовицкий (комбинация маркеров Ry186 и PVY38-530) были обнаружены симптомы локальной некротической реакции листовой ткани, которые сопровождались слабоположительным уровнем детектируемого сигнала в ИФА. В настоящее время из полученных результатов невозможно сделать

однозначный вывод о наличии Ry-генов у этого ряда образцов, особенно учитывая относительно не высокий уровень ассоциации RAPD-маркера PVY38–530 [15]. Известно, что слабый уровень репликации YBK в растениях, содержащих ген экстремальной штаммонезависимой устойчивости, может происходить в первично инфицированных клетках, однако протекание в них ограниченной некротической реакции обычно полностью блокирует дальнейшее распространение вирусной инфекции [16]. В ряде случаев подобные локальные микронекрозы могут значительно увеличиваться до визуально-выявляемых размеров вследствие размножения вируса в обширной области эпителиальной ткани, не затрагивая при этом ткань мезенхимы [17]. Для обозначения очень слабого уровня размножения вируса в иммунных растениях был предложен термин «сублиминальная инфекция» [18]. Явление сублиминальной инфекции может служить лишь одним из возможных объяснений визуально наблюдавшихся нами некрозов листовой ткани, сопровождавшихся согласно данным ИФА очень низким уровнем содержания YBK. Альтернативный вариант объяснения, наблюдаемой нами некротизации листовой ткани у этого ряда образцов, может быть связан с развитием СВЧ, обусловленной наличием в генотипе этих сортов различных N-генов устойчивости. Принимая во внимание данные литературы [4] и учитывая, что при проведении инокуляции нами использовались изоляты группы штаммов YBK-NTN, то можно заключить, что в наблюдавшемся процессе не могут принимать участие штаммовзависимые гены развития СВЧ Ny и Nc, но не исключается возможное участие штаммовзависимого гена Nz. Практическая проверка данного варианта пока сдерживается отсутствием в коллекции ученых из Казахстана и России изолятов ви-

руса, достоверно относящихся к штамму YBK-Z. В ходе проведенного исследования в генотипе всех одиннадцати исследованных образцов картофеля не был обнаружен молекулярный маркер S1d11 (табл. 1), что с очень высокой вероятностью позволяет исключить из участия в наблюдавшемся процессе некрозообразования работу гена Ny-1, способного индуцировать развитие штаммонезависимой СВЧ у растений картофеля в ответ на YBK-инфекцию. Для проверки влияния другого штаммонезависимого гена Ny-2, также способного индуцировать развитие СВЧ, требуется проведение дополнительных исследований. В заключение, следует обратить внимание на то, что процесс некротизации листьев у сортов Алая заря-2, Вид-2, Тустеп и Удовичский в ходе YBK-инфицирования был зафиксирован лишь в контролируемых климатических условиях фитотрона, но не был выявлен в неконтролируемых условиях открытого грунта. Согласно литературным данным процесс образования некрозов при протекании СВЧ, в значительной степени зависит от температуры окружающей среды [18]. Показано, что полноценное протекание СВЧ у растений картофеля, содержащих гены Ny-1 и Ny-2, осуществляется лишь при умеренной температуре (20 °C) и полностью блокируется при повышении температуры до 28 °C [8]. Влияние температуры окружающей среды на процесс образования микронекрозов в первично инфицированных клетках у растений, обладающих R-генами экстремальной устойчивости к YBK, в настоящее время практически не исследовано. Мы предполагаем, что проведение искусственного инфицирования в регулируемых условиях выращивания в значительной степени способствует более обширной фенотипической характеристике ответов растений картофеля на вирусную инфекцию.

ЛИТЕРАТУРА

- Loebenstein, G., Thottappilly, G. (eds) *Virus and Virus-like Diseases of Major Crops in Developing Countries*. — Springer, Dordrecht, 2003. — 800 p.
- Struik and S.G. Wiersema. *Seed Potato Technology*. — Wageningen: Wageningen Pers, 1999. — 383 p.
- Scholthof, K.B., Adkins, S., Czosnek, H., Palukaitis, P., Jacquot, E., Hohn, T., Hohn, B., Saunders, K., Candresse, T., Ahlquist, P., Hemenway, C. Top 10 plant viruses in molecular plant pathology // *Mol Plant Pathol*. — 2011. — №12. — P.938–954.
- Karasev, A.V., Gray, S.M. Continuous and emerging challenges of potato virus Y in potato // *Annual Review of Phytopathology*. — 2013. — №51(1). — P.571–586.
- Kerlan C., Tribodet, M. Are all PVY isolates able to induce potato tuber necrosis ringspot disease? // In the 13th triennial conference of the European association for Potato research. Veldhoven. — 1996. — P. 65–66.
- Селекция и семеноводство картофеля / С.М. Букасов, А.Я. Камераз. — Л.: Колос, 1972. — 358 с.
- Singh, R.P. The naming of Potato virus Y strains infecting potato / R.P. Singh, J.P.T. Valkonen, S.M. Gray, N. Boonham, R.A.C. Jones, C. Kerlan, J. Schubert // *Arch. Virol.* — 2008. — Vol. 153. — P. 1–13.
- Szajko, K., Strzelczyk-Zyta, D., Marczewski, W. Ny-1 and Ny-2 genes conferring hypersensitive response to Potato virus Y (PVY) in cultivated potatoes: mapping and marker-assisted selection validation for PVY resistance in potato breeding // *Mol. Breed.* — 2014. — №34. — P.267–271.
- Tiwari, J. K., Gopal, J., Singh, B.P. Marker-assisted selection for virus resistance in potato: options and challenges // *Potato J.* — 2012. — V. 39(2) — P.101–117.
- Heldák, J., Bežo, V., Štefánová, V., Galliková, A. Selection of DNA Markers for Detection of Extreme Resistance to Potato Virus

Y in Tetraploid Potato (*S. tuberosum* L.) F1 Progenies // *Czech J. Genet. Plant Breed.* — 2007. — №43 (4). — P. 125–134.

11. Hosaka, K., Hosaka, Y., Mori, M., Maida, T., Matsunaga, H. Detection of a simplex RAPD marker linked to resistance to potato virus Y in a tetraploid potato // *Am. J. Potato. Res.* — 2001. — №78. — P.191–196.

12. Song, Y.-S., Hepting, L., Schweizer, G., Hartl, L., Wenzel, G. et al. Mapping of extreme resistance to PVY (Ry sto) on chromosome XII using anther-culture-derived primary dihaploid potato lines // *Theor. Appl. Genet.* — 2005. — №111. — P.879–887.

13. Tomczyńska, I., Jupe, F., Hein, I., Marczewski, W., Iliwka, J. Hypersensitive response to Potato virus Y in potato cultivar is conferred by the Ny-Smira gene located on long arm of chromosome IX // *Mol. Breed.* — 2014. — №34. — P. 471–480.

14. Вологин, С.Г. Диагностика Y-вируса картофеля и штаммовый состав патогена в Среднем Поволжье: дисс. на соиск. степ. канд. биол. наук: 06.01.07/ С.Г. Вологин. — М.: РГАУ-МСХА, 2013. — 138 с.

15. Бирюкова, В.А. Изучение генетических коллекций ВНИИ картофельного хозяйства с помощью молекулярных маркеров / В.А. Бирюкова, И.В. Шмыгля, А.А. Мелешин, А.В. Митюшкин, В.В. Мананков, С.Б. Абросимова // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. — Т. 30, № 10. — С. 22–26.

16. Макарова, С.С., Макаров, В.В., Тальянский, М.Э., Калинина, Н.О. Устойчивость картофеля к вирусам: современное состояние и перспективы // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. — 2017. — 21(1) — С. 62–73.

17. Barker, H. Inheritance of resistance to potato virus Y and A in progeny obtained from potato cultivars containing gene Ry: evidence for a new gene for extreme resistance to PVA // *Theoretical Appl. Genetics*. — 1996. — Vol. 93, № 5–6. — P. 710–716.

18. Механизмы устойчивости растений к вирусам / В.И. Машиновский. — Владивосток: Дальнаука, 2010. — 324 с.

REFERENCES

1. Loebenstein, G., Thottappilly, G. (eds) Virus and Virus-like Diseases of Major Crops in Developing Countries. — Springer, Dordrecht, 2003. — 800 p.
2. Struik and S.G. Wiersema. Seed Potato Technology. — Wageningen: Wageningen Pers, 1999. — 383 p.
3. Scholthof, K., Adkins, S., Czosnek, H., Palukaitis, P., Jacquot, E., Hohn, T., Hohn, B., Saunders, K., Candresse, T., Ahlquist, P., Hemenway, C., Foster, G.D. Top 10 plant viruses in molecular plant pathology // *Mol Plant Pathol.* — 2011. — №12. — P.938–954.
4. Karasev, A.V., Gray, S.M. Continuous and emerging challenges of potato virus Y in potato // *Annual Review of Phytopathology.* — 2013. — №51(1). — P.571–586.
5. Kerlan, C., Tribodet, M. Are all PVY isolates able to induce potato tuber necrosis ringspot disease? // In the 13th triennial conference of the European association for Potato research. Veldhoven. — 1996. — P.65–66.
6. Selection and seed farming of potatoes. / S.M. Bukasov, A.Y. Kameraz. — L.: Kolos, 1972. — 358 p. (In Russ.)
7. Singh, R.P. The naming of Potato virus Y strains infecting potato / R.P. Singh, J.P.T. Valkonen, S.M. Gray, N. Boonham, R.A.C. Jones, C. Kerlan, J. Schubert // *Arch. Virol.* — 2008. — Vol. 153. — P. 1–13.
8. Szajko, K., Strzelczyk-Zyta, D., Marczewski, W. Ny-1 and Ny-2 genes conferring hypersensitive response to Potato virus Y (PVY) in cultivated potatoes: mapping and marker-assisted selection validation for PVY resistance in potato breeding // *Mol. Breed.* — 2014. — №34. — P.267–271.
9. Tiwari, J. K., Gopal, J., Singh, B.P. Marker-assisted selection for virus resistance in potato: options and challenges // *Potato J.* — 2012. — V. 39(2) — P. 101–117.
10. Heldk, J., Beo, V., tefnov, V., Gallikov, A. Selection of

DNA Markers for Detection of Extreme Resistance to Potato Virus Y in Tetraploid Potato (*S. tuberosum* L.) F1 Progenies // *Czech J. Genet. Plant Breed.* — 2007. — №43 (4). — P. 125–134.

11. Hosaka, K., Hosaka, Y., Mori, M., Maida, T., Matsunaga, H. Detection of a simplex RAPD marker linked to resistance to potato virus Y in a tetraploid potato // *Am. J. Potato. Res.* — 2001. — №78. — P.191–196.

12. Song, Y.-S., Hepting, L., Schweizer, G., Hartl, L., Wenzel, G. et al. Mapping of extreme resistance to PVY (Ry sto) on chromosome XII using anther-culture-derived primary dihaploid potato lines // *Theor. Appl. Genet.* — 2005. — №111. — P.879–887.

13. Tomczyńska, I., Jupe, F., Hein, I., Marczewski, W., Liwka, J. Hypersensitive response to Potato virus Y in potato cultivar is conferred by the Ny-Smira gene located on long arm of chromosome IX // *Mol. Breed.* — 2014. — №34. — P.471–480.

14. Vologin, S.G. Diagnostika Y-virusa kartofelia i shtammovyi sostav patogena v Srednem Povolzhe. Dissertation of Cand. Sci. (Biol.). 2013. Moscow. — 138 p. (In Russ.)

15. Biryukova V.A., Shmyglya I.V., Meleshin A.A., Mitushkin A.V., Manankov V.V., Abrosimova S.B. Study of Genetic Collections of the All-Russian Research Institute of Potato Farming by Means of Molecular Markers // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* 2016. — Vol. 30. No. 10. — P. 22–26. (In Russ.)

16. Makarova S.S., Makarov V.V., Taliany M.E., Kalina N.O. Resistance to viruses of potato: current status and prospects // *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii.* 2017. — 21(1). — P.62–73. (In Russ.)

17. Barker, H. Inheritance of resistance to potato virus Y and A in progeny obtained from potato cultivars containing gene Ry: evidence for a new gene for extreme resistance to PVA // *Theoretical Appl. Genetics.* — 1996. — Vol. 93, № 5–6. — P. 710–716.

18. Resistance mechanisms of plants to viruses / V.I. Malinovskiy. — Vladivostok: Dalnauka, 2010. — 324 p. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ:

Бейсембина Б., магистр сельскохозяйственных наук, докторант PhD

Кузьмина О.А.

Удовицкий А.С., кандидат сельскохозяйственных наук

Мусынов К.М., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Хасанов В.Т., кандидат биологических наук, и.о. профессора

Вологин С.Г., кандидат биологических наук

ABOUT THE AUTHORS:

Beisembina B., Master in Agriculture, PhD student
Kuzminova O.A.

Udovitsky A.S., Candidate in Agriculture

Musynov K.M., Doctor in Agriculture, Professor

Khasanov V.T., Candidate in Biology, Acting Professor

Vologin S.G., Candidate in Biology