

Повышение эффективности подбора родительских пар в селекции картофеля

А. В. Митюшкин, А. А. Журавлев, Е. А. Симаков[✉], Ал-р В. Митюшкин,
А. С. Гайзатулин, В. А. Жарова, В. А. Семенов, С. В. Овечкин

Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха
Россия, Московская область, г.о. Люберцы, п. Красково, ул. Лорха, 23

Аннотация. Успешный селекционный отбор генотипов картофеля с комплексом хозяйственно ценных признаков во многом обуславливается удачным подбором родительских пар при проведении гибридизации. Цель настоящего исследования – установить степень частоты отбора хозяйственно ценных генотипов в гибридных комбинациях, обусловленную уровнем показателя средней урожайности. За анализируемый период (2010–2022 гг.) полный селекционный процесс завершен по трем группам гибридных комбинаций, выращивание сеянцев которых проведено в 2010, 2011 и 2016 гг., а первая оценка гибридов по хозяйственно ценным признакам в 2011, 2012 и 2017 гг. соответственно. Сеянцы выращивали в горшечной культуре защищенного грунта и при уборке формировали наборы генотипов в пределах каждой гибридной комбинации. В первом клубневом поколении отбор гибридов проводили на основе визуальной оценки по комплексу признаков: отсутствию поражения вирусами, фитофторозом и паршой, урожайности, типу гнезда, длине столонов, форме клубней, глубине залегания глазков. Селекционную ценность гибридных комбинаций оценивали по количеству генотипов, отобранных для включения в питомники основного и конкурсного испытаний и переданных в Госсортоиспытание. В первой группе гибридных комбинаций, изученных в 2011 г., частота отбора хозяйственно ценных форм варьировала от 2,0 до 28,5 %, а в 2012 г. – от 1,8 до 21,4 %. По этим группам гибридных комбинаций наблюдается связь между показателями отбора хозяйственно ценных гибридов и конечными результатами селекционного процесса. До его завершения сохраняются гибриды тех комбинаций, которые характеризовались высокой частотой отбора хозяйственно ценных гибридов при оценке в первом клубневом поколении. Особенно четко эта закономерность проявляется при сравнении гибридных комбинаций, полученных по схеме топкросса с участием одного общего родителя – тестера, использованного в качестве материнской или отцовской формы. Частота встречаемости хозяйственно ценных форм в первом клубневом поколении является надежным критерием определения селекционной ценности гибридных комбинаций. Показатели средней урожайности комбинаций не коррелируют с частотой отбора хозяйственно ценных гибридов.

Ключевые слова: картофель, селекция, родительские формы, гибридные комбинации, сеянцы, гибриды 1-го клубневого поколения, частота отбора, хозяйственно ценные генотипы

Поступила 14.11.2024, одобрена после рецензирования 04.12.2024, принята к публикации 09.12.2024

Для цитирования. Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Симаков Е. А., Митюшкин Ал-р В., Гайзатулин А. С., Жарова В. А., Семенов В. А., Овечкин С. В. Повышение эффективности подбора родительских пар в селекции картофеля // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 249–259. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-249-259

Improving the efficiency of the selection of parent pairs in potato breeding

A.V. Mityushkin, A.A. Zhuravlev, E.A. Simakov[✉], Al-r V. Mityushkin, A.S. Gaizatullin, V.A. Zharova, V.A. Semenov, S.V. Ovechkin

Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh
140051, Russia, Moscow region, Lyubertsy, Kraskovo settlement, 23 Lorkh street

Abstract. Successful selection of potato genotypes with a complex of economically valuable traits largely depends on the successful selection of parental pairs during hybridization. The purpose of this study is to establish the frequency of selection of economically valuable genotypes in hybrid combinations, determined by the level of the average yield indicator. During the analyzed period (2010-2022), the full selection process was completed for three groups of hybrid combinations, the seedlings of which were grown in 2010, 2011 and 2016, and the first assessment of hybrids for economically valuable traits in 2011, 2012 and 2017, respectively. The seedlings were grown in pot culture in protected ground and during harvesting, sets of genotypes were formed within each hybrid combination. In the first tuber generation, hybrid selection was carried out based on a visual assessment of a set of characteristics: absence of virus, late blight and scab damage, yield, nest type, stolon length, tuber shape, and eye depth. The selection value of hybrid combinations was assessed by the number of genotypes selected for inclusion in the nurseries of the main and competitive tests and transferred to the State Variety Testing. In the first group of hybrid combinations studied in 2011, the frequency of selection of economically valuable forms varied from 2.0 to 28.5%, and in 2012 – from 1.8 to 21.4%. For these groups of hybrid combinations, a relationship is observed between the selection indicators of economically valuable hybrids and the final results of the selection process. Until its completion, hybrids of those combinations are preserved that were characterized by a high frequency of selection of economically valuable hybrids during the assessment in the first tuber generation. This pattern is especially clear when comparing hybrid combinations obtained using the topcross scheme with one common parent – the tester used as the maternal or paternal form. The frequency of occurrence of economically valuable forms in the first tuber generation is a reliable criterion for determining the breeding value of hybrid combinations. Average yield indicators of combinations do not correlate with the frequency of selection of economically valuable hybrids.

Keywords: potato, selection, parental forms, hybrid combinations, seedlings, 1st tuber generation hybrids, selection frequency, economically valuable genotypes

Submitted 14.11.2024,

approved after reviewing 04.12.2024,

accepted for publication 09.12.2024

For citation. Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A., Simakov E.A., Mityushkin Al-r V., Gaizatullin A.S., Zharova V.A., Semenov V.A., Ovechkin S.V. Improving the efficiency of the selection of parent pairs in potato breeding. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 249–259. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-249-259

ВВЕДЕНИЕ

Классическая селекция картофеля, осуществляемая в различных направлениях, основывается на трех фундаментальных составляющих: подборе родительских пар, их гибридизации и отборе генотипов в процессе полевых испытаний [1, 2]. Причем поиск компонентов скрещивания является наиболее сложной творческой частью селекционной работы, а их удачный подбор во многом обуславливает потенциальный успех селекционного отбора желаемых генотипов при оптимальном объеме гибридного мате-

риала. Особую значимость приобретает правильный подбор родительских форм в селекционных программах картофеля, реализуемых в направлении комплекса хозяйственно полезных признаков. Поэтому в качестве основополагающего метода в селекции картофеля используется подбор по фенотипу с учетом родословной родителей [3, 4]. Однако фенотип только в той или иной степени может соответствовать генотипу, хотя степень этого соответствия существенно варьирует в зависимости от различных хозяйственно полезных признаков. Объективная возможность оценки генотипа по фенотипу определяется коэффициентом наследуемости хозяйственно полезных признаков. Наиболее высокие значения коэффициента наследуемости соответствуют таким признакам, как количество клубней на куст, крахмалистость клубней, устойчивость к потемнению мякоти клубней и полевая устойчивость к фитофторозу [5–7]. В частности, вероятность появления высококрахмалистых генотипов в гибридном потомстве низкокрахмалистых родительских форм также мала, как и возможность отбора мелкоглазковых форм в скрещиваниях родителей с глубокими глазками клубней. Объективное заключение о генотипе по данным оценки фенотипа у картофеля возможно по следующим количественным признакам: содержание крахмала и сухого вещества в клубнях; полевая устойчивость к фитофторозу, вирусам и парше обыкновенной; форма и окраска мякоти клубней; глубина глазков; длина столонов и срок созревания. При селекции в направлении этих признаков необходим подбор родительских форм, характеризующихся высокой степенью их фенотипического проявления. Однако оценка генотипа по фенотипу в отношении урожайности не всегда объективна, так как очень часто при скрещивании низкоурожайных компонентов вполне могут выделяться высокоурожайные формы. Уровень урожайности гибридного потомства во многом зависит от комбинационной способности родительских форм, поэтому для удачного подбора родителей необходим предварительный анализ гибридных комбинаций по частоте встречаемости урожайных форм, позволяющий включать в селекционную проработку только наиболее ценные родительские формы. Безусловно, с этой целью можно применять уже апробированные методы оценки общей (ОКС) и специфической (СКС) комбинационной способности исходных родительских форм, основанные на дисперсионном анализе показателей средней популяционной конкретного признака. При этом определение эффектов ОКС и СКС в системах топкросса или диаллельных скрещиваний у картофеля проводится по разным признакам, но чаще всего – по урожайности [7, 8].

В последние годы для этой цели все шире применяются методы маркер-вспомогательной селекции на этапах поиска источников хозяйственно полезных признаков, основанных на использовании генетического разнообразия культурных и диких видов картофеля [9, 10]. Так, в США исследуются маркированные локусы, связанные с урожайностью, показателями продуктивности (количество, формирование массы клубней, их удельной массы) и другими количественными признаками. Для тетраплоидного картофеля выявлены маркеры, связанные с генами, отвечающими за продуктивность, выход клубней с гектара, содержание крахмала в клубнях [11, 12]. В реальной селекционной практике научных учреждений и агропредприятий РФ к настоящему времени методы маркер-вспомогательной селекции используются только для подбора сортообразцов с генами устойчивости к грибным и вирусным заболеваниям в качестве родительских форм и оценки гибридов основного конкурсного испытания с их участием [12]. В связи с тем, что селекция картофеля базируется на индивидуальном отборе, цель настоящего исследования – установить связь частоты отбора хозяйственно ценных форм в гибридных комбинациях с уровнем показателей урожайности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве материала для исследований использовали результативность отбора хозяйственно ценных форм среди 4860 генотипов более 30 гибридных комбинаций, по которым завершена 8–10-летняя селекционная проработка. Селекционную ценность гибридных комбинаций оценивали по количеству генотипов, отобранных для включения в питомники основного и конкурсного испытаний и переданных в Госсортиспытание. За анализируемый период (2010–2022 гг.) полный селекционный процесс завершен по двум группам гибридных комбинаций, выращивание сеянцев которых проведено в 2010 и 2011 гг., а по третьей группе – в 2016 г. Первая оценка гибридов по хозяйственно ценным признакам проведена в 2011, 2012 и 2017 гг. соответственно. Данные группы гибридных комбинаций использовали как для генетического анализа, так и для проведения систематического отбора и последующих этапов селекционного испытания отобранных гибридов в рамках настоящего исследования.

Расчет эффектов ОКС и СКС родительских форм проводили с использованием данных предварительной оценки только третьей группы гибридных комбинаций по показателям средней урожайности (учет урожайности покустный с взвешиванием в поле). Результаты обрабатывали методом двухкратного дисперсионного анализа с учетом взаимодействия. Оценку КС наследуемости в узком смысле проводили по методике В. К. Савченко [13]. Наследуемость в широком смысле вычисляли по методике П. Ф. Ракицкого и А. И. Добиной [15].

Оценку гибридных комбинаций и отбор выделившихся гибридов по комплексу хозяйственно ценных признаков проводили в первом клубневом поколении. Сеянцы выращивали в горшечной культуре по общепринятой методике [15]. При уборке сеянцев браковку не проводили и от каждого сеянца отбирали по одному клубню для формирования наборов генотипов в пределах каждой гибридной комбинации. В первом клубневом поколении гибриды высаживали по комбинациям (семьям) ярусами на двухрядковых делянках и оценивали растения каждого гибрида. Отбор лучших гибридов проводили на основе визуальной оценки по следующим признакам: отсутствие поражения ботвы вирусными болезнями и фитофторозом, урожайность, тип гнезда, длина столонов, форма клубней, глубина глазков и отсутствие поражения паршой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первой группе гибридных комбинаций, изученных в 2011 г., частота отбора селекционно ценных форм варьировала от 2,0 до 28,5 %, а в 2012 г. – от 1,8 до 21,4 %. По всем группам изученных гибридных комбинаций прослеживается связь между показателями отбора хозяйственно ценных гибридов и конечными результатами селекционного процесса. Как правило, до его завершения сохранялись гибриды тех комбинаций, которые характеризовались высокой частотой отбора хозяйственно ценных гибридов при оценке в первом клубневом поколении. Эта закономерность особенно четко проявляется при сравнении гибридных комбинаций, полученных по схеме топкросса с участием одного общего родителя – тестера, взятого в качестве материнской или отцовской формы (с сортами Аусония, Сантана, гибридами 128-6, 96.5-7 и др.) (табл. 1). Для каждой группы топкроссных комбинаций характерен свой показатель наличия хозяйственно ценных гибридов, из числа которых отдельные гибриды сохранялись до завершения селекционного процесса. В частности, по данным 2011 г., для комбинаций с гибридом 96.5-7 этот показатель составил 28,1 %, с сортом Аусония – 25,3 % и с гибридом 128-6 – 28,2 %.

Таблица 1. Результативность отбора хозяйственно ценных форм в гибридных комбинациях на различных этапах селекционного процесса (2011–2018 гг.)

Table 1. Efficiency of selection of economically valuable forms in hybrid combinations at various stages of the selection process (2011–2018)

Происхождение гибридных комбинаций	Количество изученных гибридов, шт.	Отобрано гибридов		Количество выделившихся гибридов на завершающих этапах селекционного процесса, шт.		
		шт.	%	Основное испытание	Конкурсное испытание	Передано на госиспытание
Нида х Аусония	292	74	25,3	1	0	0
Конкорд х Аусония	150	3	2,0	0	0	0
128-6 х Аусония	48	11	22,9	3	0	0
96.5-7 х Аусония	102	14	13,7	0	0	0
96.5-7 х Маэстро	210	59	28,1	2	2	2*)
96.5-7 х Вымпел	178	48	27,0	0	0	0
96.5-7 х Инноватор	125	22	17,6	0	0	0
Сантана х Инноватор	81	4	4,9	0	0	0
Сантана х Вымпел	172	49	28,5	0	0	0
Сантана х Феррари	168	21	12,5	0	0	0
Инноватор х Сантана	108	3	2,8	0	0	0
Беллароза х Сантана	156	24	15,4	0	0	0
Инара х Феррари	108	26	24,1	0	0	0
Гала х Сантана	79	7	8,9	0	0	0
128-6 х Феррари	110	31	28,2	1	1	0
128-6 х Розара	119	28	23,5	0	0	0
128-6 х ВР 808	121	6	5,0	0	0	0
Табор х 128-6	52	10	19,2	0	0	0
Европрима х Севим	142	24	16,9	0	0	0
Севим х Европрима	76	7	9,2	0	0	0
Ирбитский х Европрима	101	16	15,8	0	0	0
Всего	2698	487	18,1	7	3	2

*) сорта Краса Мещеры и Садон

В отдельных гибридных комбинациях, характеризующихся достаточно высокой частотой отбора хозяйственно ценных форм (96.5-7 х Вымпел, Сантана х Вымпел, Инара х Феррари, 128-6 х Розара, Табор х 128-6), к завершению селекционного процесса не осталось ни одного гибрида. Однако эти комбинации все же могут использоваться в практической селекции, так как при более значительном увеличении общего количества гибридов среди них возможно появление хозяйственно ценных форм, способных успешно конкурировать с сортами-стандартами при проведении отбора.

Согласно данным таблицы 2 только в отдельных гибридных комбинациях единичные гибриды остаются до завершения селекционного процесса. Эти гибриды наряду с другими положительными хозяйственно ценными признаками характеризуются стабильно высокой урожайностью в различные по метеоусловиям годы, что определяется широкой нормой реакции на воздействие факторов внешней среды. В первом клубневом поколении в число отобранных попадают также все положительные модификации, выделившиеся в условиях данного вегетативного периода, которые при последующем испытании, как правило, выбраковываются. Фенотипы со стабильной урожайностью могут быть выявлены лишь в процессе селекционного испытания, но вероятность их появления наиболее

высокая в тех гибридных комбинациях, которые характеризуются наибольшей частотой хозяйственно ценных форм при первичном отборе в первом клубневом поколении.

Таблица 2. Оценка гибридных комбинаций по урожайности и частоте отбора хозяйственно ценных форм в результате селекционного испытания (2012–2019 гг.)

Table 2. Evaluation of hybrid combinations by yield and frequency of selection of economically valuable forms as a result of selection testing (2012–2019)

Происхождение гибридных комбинаций	Количество изученных гибридов, шт.	Средняя урожайность гибридов, г/куст	Частота отбора, %	Количество гибридов на завершающих этапах селекционного процесса, шт.		
				Основное испытание	Конкурсное испытание	Передано на госиспытание
Ред Скарлетт х Беллароза	62	718 ± 52,4	12,4	0	0	0
Ред Скарлетт х Крепыш	115	752 ± 41,7	11,5	1	1	0
Пароли х Ред Скарлетт	42	760 ± 64,3	21,4	1	0	0
Пароли х Инноватор	94	637 ± 39,7	15,9	1	1	0
Инноватор х 1275-5	50	591 ± 41,4	6,0	0	0	0
Кенза х 1275-5	141	710 ± 57,7	19,1	1	1	0
Коскар х 1275-5	221	724 ± 40,5	19,9	2	1	1*)
Августин х Джувел	60	660 ± 51,2	15,0	1	1	0
Гранд х Джувел	48	704 ± 62,3	20,8	0	0	0
Лили х Бриз	55	1011 ± 50,7	1,8	0	0	0
Беттина х Гала	52	825 ± 47,2	9,6	0	0	0
Чароит х Крепыш	112	818 ± 50,1	18,7	1	0	0
Всего	1025	689±45,1	16,4	8	5	1

*) сорт Ариэль

Экологические условия, в которых проводится оценка гибридных комбинаций, безусловно влияют на частоту отбора и, следовательно, на определение их селекционной ценности. Так, в гибридной комбинации Коскар х 1275-5 в условиях супесчаных почв экспериментальной базы «Пышлицы» ФИЦ картофеля им А. Г. Лорха отобрано 19,9 % хозяйственно ценных форм. В то же время при оценке аналогичной комбинации на легкосуглинистой почве Брянской опытной станции не выделилось ни одного гибрида. Это является подтверждением того, что предварительный анализ родительских форм по потомству с целью подбора пар для скрещивания должен осуществляться в каждой экологической точке, где проводится селекционная работа по картофелю.

Анализ данных таблицы 2 позволяет сопоставить значения средней урожайности гибридных комбинаций с частотой отбора хозяйственно ценных форм. Согласно представленным результатам оценки связь между этими показателями выражается слабоположительным коэффициентом корреляции, равным 0,21. Из некоторых высокоурожайных комбинаций (Лилли х Бриз, Беттина х Гала, Ред Скарлетт х Беллароза) к завершению селекционного процесса не сохранилось ни одного гибрида. И, наоборот, в отдельных комбинациях с относительно низким значением средней урожайности (Пароли х Инноватор, Кенза х 1275-5, Августин х Джувел) отобраны хозяйственно ценные гибриды, которые по урожайности оказались на уровне сортов-стандартов.

Не выявлена положительная зависимость между показателями средней урожайности и частотой отбора в гибридных комбинациях, оцененных в 2017 г. (табл. 3). При этом коэффициент корреляции между этими показателями оказался отрицательным и составил 0,66. Следовательно, предварительная оценка гибридных комбинаций по средней урожайности и рассчитанным на ее основе эффектам ОКС и СКС родительских форм также

не может иметь практического значения в селекционной работе. Такая оценка представляет интерес только в качестве дополнительной характеристики родительских форм, потомство которых отличается высокой частотой отбора хозяйственно ценных форм.

Таблица 3. Оценка гибридных комбинаций с участием родительских форм с высоким уровнем эффектов ОКС и СКС по урожайности и частоте отбора хозяйственно ценных форм (2017 г.)

Table 3. Evaluation of hybrid combinations involving parental forms with a high level of OKS and SKS effects in terms of yield and frequency of selection of economically valuable forms (2017)

Происхождение гибридных комбинаций	Количество изученных гибридов, шт.	Средняя урожайность гибридов, г/куст	Частота отбора, %
Оксания х Кенза	78	585 ± 52,7	29,5
Ред Скарлетт х Кенза	69	795 ± 62,1	20,3
Лабелла х Кенза	54	1011 ± 72,3	28,9
Наташа х Гала	78	848 ± 57,2	23,0
Королева Анна х Гала	50	885 ± 53,7	44,0
Гусар х Гала	210	522 ± 36,2	14,8
Гусар х Дубрава	182	561 ± 30,7	22,5
Гусар х Русский Сувенир	118	572 ± 29,8	21,2
Лабадия х Фрителла	75	538 ± 27,0	34,7
Белая ночь х Гала	78	472 ± 30,1	44,9
Всего	1100	679 ± 31,7	26,4

Результаты проведенного анализа показывают, что данные частоты отбора в первом клубневом поколении гибридных комбинаций позволяют более объективно и достаточно надежно определять их селекционную ценность. Такая оценка по частоте отбора гибридов вполне может предшествовать практической селекции, составляя ее предварительный этап. Причем результативность этого этапа работы, несомненно, возрастает, если дополнительно к визуальной оценке гибридных комбинаций и отбору хозяйственно ценных форм проводить их испытание на устойчивость к болезням на фоне искусственного заражения и механическим повреждениям, на кулинарные качества и пригодность к переработке на картофелепродукты в лабораторных условиях.

Выводы

Родительские пары для предварительной оценки по гибриднему потомству картофеля необходимо комбинировать с учетом их фенотипических показателей и закономерностей наследования хозяйственно ценных признаков. При подборе по фенотипу прежде всего учитывается основной хозяйственно ценный признак, который необходим сорту, – раннеспелость, устойчивость к конкретному патогену или какой-то другой. Большинство родительских форм имеют те или иные недостатки, поэтому подбор по фенотипу целесообразно проводить с учетом их положительных и отрицательных признаков по принципу взаимного исключения последних. При таком подходе резко сокращается количество возможных вариантов скрещивания, а из числа подобранных по фенотипу комбинаций наиболее перспективные выделяются по частоте отбора хозяйственно ценных форм в первом клубневом поколении. Наиболее ценные, стабильные по урожайности гибриды, конкурирующие с сортами-стандартами, выделяются из тех комбинаций, которые характеризуются высокими показателями отбора в первом клубневом поколении. Частота встречаемости хозяйственно ценных форм на данном этапе селекционного процесса является надежным критерием определения селекционной ценности гибридных комбинаций. Показатели средней урожайности комбинаций не коррелируют с частотой отбора хозяйственно ценных гибридов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беккер Х. Селекция растений. М.: КМК, 2015. 425 с.
2. Яшина И. М. Генетика, генные технологии. В кн.: Картофель: монография / Под ред. С. В. Жеворы. М.: ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха, 2022. С. 145–161.
3. Дорожкин Б. Н., Дергачева Н. В. Селекция картофеля в Западной Сибири: принципы, методы, генетические источники. Саарбрукен: Lap Lambert, 2012. 172 с.
4. Шанина Е. П., Ключкина Е. М., Стафеева М. А. *et al.* Сравнительный анализ сортов картофеля коллекционного питомника в зависимости от географического происхождения // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 75–78. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10614
5. Кирпичева Т. В., Хорольская Ю. В. Исходный материал для селекции картофеля на скороспелость, продуктивность и устойчивость к болезням и вредителям // Наука и образование. 2018. Т. 1. № 2. С. 63.
6. Lindhout P., Mejer D., Schotte T. Hybrid potato breeding for improved varieties // Potato Res., 2018. Vol. 54. Pp. 301–312.
7. Шанина Е. П., Стафеева М. А. Комбинационная способность сортов и гибридов картофеля в селекции на хозяйственно ценные признаки // Аграрный вестник Урала. 2015. № 6(136). С. 29–33. EDN: UFFIFB
8. Гимаева Е. А., Сташевски З. А., Вологин С. Г. *и др.* Изучение комбинационной способности по признаку продуктивности и оценке устойчивости гибридов картофеля к фитофторозу в условиях Республики Татарстан // Нива Татарстана. 2017. № 3/4. С. 41–45. EDN: ZDEVQZ
9. Ramakrishnan A.P., Ritland C.E., Sevillano R.H.B., Riseman A. Review of potato molecular markers to enhance trait selection // Am. J. Potato Res. 2015. Vol. 92. Pp. 455–472. DOI: 10.1007/s12230-015-9455-7
10. Li L., Xu J., Duan S. *et al.* Mapping and QTL analysis of early-maturity traits in tetraploid potato (*S.tuberosum*) // Int. J. Mol. Sci. 2018. Vol. 19(10). Pp. 306–315.
11. Li L., Tacke E., Hofferbert H.-R. *et al.* Validation of candidate gene marker-assisted selection of potato cultivars with improved tuber quality // Theor. Appl. Genet. 2013. Vol. 116(4). Pp. 1039–1052.
12. Бирюкова В. А., Шмыгля И. В., Жарова В. А. Маркер-вспомогательная селекция на устойчивость к фитопатогенам // В кн.: Селекция и семеноводство картофеля. Чебоксары, 2020. С. 55–61.
13. Савченко В. К. Метод оценки комбинационной способности генетически разнокачественных наборов родительских форм // В сб.: Методики генетико-селекционного и генетического экспериментов. Минск: Наука и техника, 1973. С. 21–28.
14. Рокицкий П. Ф., Добина А. И. Вычисление коэффициента наследуемости количественных признаков // В сб.: Теория отбора в популяциях растений. Новосибирск: Наука, 1976. С. 48–54.
15. Симаков Е. А., Склярова Н. П., Яшина И. М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. М.: Достижения науки и техники АПК, 2006. 70 с.

REFERENCES

1. Becker Kh. *Seleksiya rasteniy* [Plant breeding]. Moscow: KMK, 2015. 425 p. (In Russian)
2. Yashina I.M. *Genetika, gennyye tekhnologii* [Genetics, gene technologies]. In the book: Potato. Monograph. Ed. by S.V. Zhevora. Moscow: FGBNU FITS kartofelya imeni A.G. Lorkha, 2022. Pp. 145–161. (In Russian)

3. Dorozhkin B.N., Dergacheva N.V. *Selektsiya kartofelya v Zapadnoy Sibiri: printsipy, metody, geneticheskiye istochniki* [Potato breeding in Western Siberia: principles, methods, genetic sources]. Saarbrücken: Lap Lambert, 2012. 172 p. (In Russian)
4. Shanina E.P., Klyukina E.M., Stafeeva M.A. et al. Comparative analysis of potato varieties of a collection nursery depending on their geographical origin. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology in the agro-industrial complex]. 2020. Vol. 34. No. 6. Pp. 75–78. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10614. (In Russian)
5. Kirpicheva T.V., Khorolskaya Yu.V. Source material for breeding potatoes for early maturity, productivity, and resistance to diseases and pests. *Nauka i obrazovaniye* [Science and education]. 2018. Vol. 1. No. 2. P. 63. (In Russian)
6. Lindhout P., Mejer D., Schotte T. Hybrid potato breeding for improved varieties. *Potato Res.*, 2018. Vol. 54. Pp. 301–312.
7. Shanina E.P., Stafeeva M.A. Combination ability of potato varieties and hybrids in breeding for economically valuable traits. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2015. No. 6 (136). Pp. 29–33. EDN: UFFIFB. (In Russian)
8. Gimaeva E.A., Stashevsky Z.A., Vologin S.G. et al. Study of combination ability based on productivity trait and assessment of potato hybrid resistance to late blight in the Republic of Tatarstan. *Niva Tatarstana*. 2017. No. 3/4. Pp. 41–45. EDN: ZDEVQZ. (In Russian)
9. Ramakrishnan A.P., Ritland C.E., Sevillano R.H.B., Riseman A. Review of potato molecular markers to enhance trait selection. *Am. J. Potato Res.* 2015. Vol. 92. Pp. 455–472. DOI: 10.1007/s12230-015-9455-7
10. Li L., Xu J., Duan S. et al. Mapping and QTL analysis of early-maturity traits in tetraploid potato (*S.tuberosum*). *Int. J. Mol. Sci.* 2018. Vol. 19(10). Pp. 306–315.
11. Li L., Tacke E., Hofferbert H.-R. et al. Validation of candidate gene marker-assisted selection of potato cultivars with improved tuber quality. *Theor. Appl. Genet.* 2013. Vol. 116(4). Pp. 1039–1052.
12. Biryukova V.A., Shmyglya I.V., Zharova V.A. *Marker-vspomogatel'naya selektsiya na ustoychivost' k fitopatogenam* [Marker-assisted selection for resistance to phytopathogens]. In the book: *Potato breeding and seed production*. Cheboksary, 2020. Pp. 55–61. (In Russian)
13. Savchenko V.K. *Metod otsenki kombinatsionnoy sposobnosti geneticheski raznokachestvennykh naborov roditel'skikh form* [Method for assessing the combining ability of genetically diverse sets of parental forms]. In the collection: *Methods of genetic-breeding and genetic experiments*. Minsk: Nauka i tekhnika, 1973. Pp. 21–28. (In Russian)
14. Rokitsky P.F., Dobina A.I. *Vychisleniye koeffitsiyenta nasleduyemosti kolichestvennykh priznakov* [Calculation of the heritability coefficient of quantitative traits]. In the collection: *Theory of selection in plant populations*. Novosibirsk: Nauka, 1976. Pp. 48–54. (In Russian)
15. Simakov E.A., Sklyarova N.P., Yashina I.M. *Metodicheskiye ukazaniya po tekhnologii selektsionnogo protsessa kartofelya* [Methodical instructions on the technology of the potato selection process]. Moscow: Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2006. 70 p. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Митюшкин Алексей Владимирович, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., отдел селекции, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха;

Россия, Московская область, г.о. Люберцы, п. Красково, ул. Лорха, 23;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8287-3507>, SPIN-код: 2518-8302

Журавлев Алексей Алексеевич, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., отдел селекции, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха;

Россия, Московская область, г.о. Люберцы, п. Красково, ул. Лорха, 23;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6921-104X>, SPIN-код: 3252-8529

Симаков Евгений Алексеевич, д-р с.-х. наук, зав. отделом селекции, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха;

Россия, Московская область, г.о. Люберцы, п. Красково, ул. Лорха, 23;

vnikh@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0577-020X>, SPIN-код: 8129-9036

Митюшкин Александр Владимирович, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., отдел селекции, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха;

Россия, Московская область, г.о. Люберцы, п. Красково, ул. Лорха, 23;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1051-3953>, SPIN-код: 1978-9320

Гайзатулин Александр Сергеевич, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., отдел селекции, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха;

Россия, Московская область, г.о. Люберцы, п. Красково, ул. Лорха, 23;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3810-5273>, SPIN-код: 3640-5340

Жарова Вера Алексеевна, канд. с.-х. наук, науч. сотр., отдел селекции, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха;

Россия, Московская область, г.о. Люберцы, п. Красково, ул. Лорха, 23;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7854-2526>

Семенов Владимир Алексеевич, науч. сотр., отдел селекции, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха;

Россия, Московская область, г.о. Люберцы, п. Красково, ул. Лорха, 23;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-3810-5273>, SPIN-код: 6593-3230

Овечкин Сергей Валентинович, канд. с.-х. наук, науч. сотр., отдел селекции, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А. Г. Лорха;

Россия, Московская область, г.о. Люберцы, п. Красково, ул. Лорха, 23;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0029-1210>, SPIN-код: 2576-8820

Information about the authors

Alexey V. Mityushkin, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, The Breeding Department, Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh;

140051, Russia, Moscow region., Lyubertsy, Kraskovo settlement, 23 Lorkh street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8287-3507>, SPIN-code: 2518-8302

Alexey A. Zhuravlev, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, The Breeding Department, Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh;

140051, Russia, Moscow region., Lyubertsy, Kraskovo settlement, 23 Lorkh street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6921-104X>, SPIN-code: 3252-8529

Evgeny A. Simakov, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Breeding, Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh;

140051, Russia, Moscow region., Lyubertsy, Kraskovo settlement, 23 Lorkh street;

vnikh@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0577-020X>, SPIN-code: 8129-9036

Alexander V. Mityushkin, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, The Breeding Department, Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh;

140051, Russia, Moscow region., Lyubertsy, Kraskovo settlement, 23 Lorkh street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1051-3953>, SPIN-code: 1978-9320

Alexander S. Gaizatulin, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, The Department of Breeding, Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh;

140051, Russia, Moscow region., Lyubertsy, Kraskovo settlement, 23 Lorkh street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3810-5273>, SPIN-code: 3640-5340

Vera A. Zharova, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, The Breeding Department, Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh;

140051, Russia, Moscow region., Lyubertsy, Kraskovo settlement, 23 Lorkh street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7854-2526>

Vladimir A. Semenov, Researcher, The Breeding Department, Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh;

140051, Russia, Moscow region., Lyubertsy, Kraskovo settlement, 23 Lorkh street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-3810-5273>, SPIN-code: 6593-3230

Sergey V. Ovechkin, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, The Breeding Department, Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh;

140051, Russia, Moscow region., Lyubertsy, Kraskovo settlement, 23 Lorkh street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0029-1210>, SPIN-code: 2576-8820