

Анатолий Николаевич Халипский

Красноярский государственный аграрный университет, заведующий кафедрой растениеводства, селекции и семеноводства, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Красноярск, Россия
andchurakov@gmail.com

Андрей Андреевич Чураков

Красноярский государственный аграрный университет, руководитель центра селекции и семеноводства, кандидат сельскохозяйственных наук, Красноярск, Россия
andchurakov@gmail.com

Наталья Михайловна Попова

Красноярский государственный аграрный университет, научный сотрудник центра селекции и семеноводства, Красноярск, Россия
andchurakov@gmail.com

Ольга Александровна Рожанская

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, главный научный сотрудник лаборатории генетики и биотехнологии, доктор биологических наук, р.п. Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, Россия
andchurakov@gmail.com

НАСЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ В ГИБРИДНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ КАРТОФЕЛЯ

Цель исследования – изучить наследование количественных признаков в гибридных популяциях картофеля. Задачи исследования: изучить характер наследования количественных признаков у исходных форм при размножении из ботанических семян; провести гибридизацию, изучить потомство от скрещивания исходных форм по крупности клубней, соотношению товарных и нетоварных клубней, форме клубней, глубине глазков, разваримости, окраске кожуры и мякоти, вкусу, содержанию крахмала. Проведено изучение характера наследования, наследуемости и изменчивости количественных признаков у 88 образцов из гибридной популяции самоопыленного сорта картофеля Арамис в условиях лесостепной зоны Красноярского края. Представлены результаты анализа наследования основных хозяйственно ценных признаков гибридами картофеля второго поколения с использованием показателей степени фенотипического доминирования и гетерозиса. Дана оценка 88 образцам по 8 количественным признакам, слагающим продуктивность. В результате проведенных исследований был установлен характер наследования основных признаков, слагающих продуктивность у внутривидовых гибридов картофеля F_2 . По характеру наследования в F_2 у картофеля прослеживается зависимость показателя от признака и комбинации. Выделена гибридная комбинация F_2 , у которой по большинству признаков проявилось сверхдоминирование. Установлено, что у всех гибридов высокое значение коэффициента наследуемости отмечается по признаку число клубней и их масса с одного клона. При оценке наследования количественных признаков в потомстве второго поколения образцов картофеля, полученных от самоопыления сорта Арамис, выделено новое потомство с различными фенотипическими изменениями. Более 70 % образцов превзошли родительскую форму сорт Арамис по продуктивности на 150–200 %. Получены образцы картофеля с продуктивностью товарных клубней с одного куста более 2000 г. Выделено потомство с устойчивостью к болезням.

Ключевые слова: картофель, внутривидовые гибриды, гибридные сеянцы, клубневое поколение, число клубней, масса клубней, содержание крахмала.

Anatoly N. Khalipsky

Krasnoyarsk State Agrarian University, Head of the Department of Plant Production, Breeding and Seed Production, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russia
andchurakov@gmail.com

Andrey A. Churakov

Krasnoyarsk State Agrarian University, Head of the Center for Breeding and Seed Production, Candidate of Agricultural Sciences, Krasnoyarsk, Russia
andchurakov@gmail.com

Natalia M. Popova

Krasnoyarsk State Agrarian University, Researcher, Center for Breeding and Seed Production, Krasnoyarsk, Russia
andchurakov@gmail.com

Olga A. Rozhanskaya

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher at the Laboratory of Genetics and Biotechnology, Doctor of Biological Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk District, Novosibirsk Region, Russia
andchurakov@gmail.com

QUANTITATIVE TRAITS INHERITANCE IN HYBRID POTATO POPULATIONS

The aim of research is to study the inheritance of quantitative traits in hybrid potato populations. Research objectives: to study the nature of the inheritance of quantitative traits in the original forms during reproduction from botanical seeds; to carry out hybridization, to study the offspring from the crossing of the original forms according to the size of tubers, the ratio of commercial and non-commercial tubers, the shape of tubers, the depth of the eyes, digestibility, color of the peel and pulp, taste, starch content. The study of the nature of inheritance, heritability and variability of quantitative traits in 88 samples from the hybrid population of the self-pollinated potato variety Aramis in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Region was carried out. The study presents the results of the analysis of the inheritance of the main economically valuable traits by second-generation potato hybrids using indicators of the degree of phenotypic dominance and heterosis. Evaluation of 88 samples was given according to 8 quantitative traits that make up productivity. As a result of the studies, the character of inheritance of the main traits that make up productivity in intraspecific F_2 potato hybrids was established. By the nature of inheritance in F_2 in potatoes, the dependence of the indicator on the trait and combination is traced. A hybrid combination F_2 was identified, in which overdominance was manifested by most of the features. It has been established that in all hybrids a high value of the coefficient of heritability is noted on the basis of the number of tubers and their weight from one clone. When assessing the inheritance of quantitative traits in the offspring of the second generation of potato samples obtained from self-pollination of the Aramis variety, a new offspring with various phenotypic changes was identified. More than 70 % of the samples surpassed the parental form of the Aramis variety in productivity by 150–200 %. Samples of potatoes with the productivity of marketable tubers from one bush of more than 2000 were obtained. Progeny with disease resistance were isolated.

Keywords: potatoes, intraspecific hybrids, hybrid seedlings, tuber generation, number of tubers, mass of tubers, starch content.

Введение. Работа по изучению наследования количественных признаков гибридами картофеля проводится впервые в Красноярском крае, используются местные сорта с целью улучшить наследование количественных признаков в гибридных популяциях картофеля. До настоящего времени селекция велась с использованием инорайонного исходного материала, что со временем показало неустойчивость к

природно-климатическим условиям, болезням и вредителям.

Успеху селекции благоприятствует также генетическая природа полевой устойчивости, контролируемая полигенами с аддитивным эффектом действия, определяющим трансгрессивное расщепление потомства по полевой устойчивости. Частоту трансгрессий можно повышать с помощью подбора родительских компонентов и применения эффективной системы скрещиваний.

Цель исследования – изучить наследование количественных признаков в гибридных популяциях картофеля.

Задачи исследования: изучить характер наследования количественных признаков у исходных форм при размножении из ботанических семян; провести гибридизацию; изучить потомство от скрещивания исходных форм по крупности клубней, соотношению товарных и нетоварных клубней, форме клубней, глубине глазков, разваримости, окраске кожуры и мякоти, вкусу, содержанию крахмала.

Объекты и методика исследования. В качестве объектов исследования нами были выбраны родительские формы из коллекционного питомника, гибридные сеянцы, первое клубневое поколение гибридных популяций из ботанических семян от самоопыления сорта картофеля Арамис, внесенного в Государственный реестр селекционных достижений и допущенных для возделывания в 11-й зоне. Характеристика и описание их приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика родителя

Показатель	Значение
Наименование сорта	Арамис
Происхождение	Красноярский край
Группа спелости	средний
Регион возделывания	11
Год включения	2015

Арамис. Среднеспелый – 80–90 дней. Клубни крупные, овально-приплюснутые, желтые, глазки поверхностные розовые, высокий выход товарных клубней – 92–95 %. Мякоть светло-желтая. Урожайность 250–320 ц/га. Устойчив к вирусам и золотистой нематодe, средне устойчив к фитофторозу. Хорошие и отличные вкусовые качества. Содержание крахмала –15,6–16,0 %, сухого вещества 21,5–23,0 %. Хорошая лежкость, отход от болезней – 2,5–3,5 %, длительный период покоя. Допущен для использования в 11-й зоне РФ.

Исходный материал – семена, полученные от самоопыления сорта Арамис в 2017 г. В 2018 г. они были высеяны в полевых условиях под укрывным материалом, который не снимался до уборки. В 2019 г. миниклубни от сеянцев, полученных в 2018 г., высаживались в поле по технологии для получения второго полевого поколения (F₂) и для его оценки в 2020 г.

Агротехника опытов ежегодно проводилась согласно рекомендациям по выращиванию оригинального и элитного семенного картофеля [6, 8]. Предшественник – пар по типу раннего. Севооборот – пар, картофель, соя, соя. Перед посадкой ранней весной проводилось боронование, затем глубокое рыхление на глубину пахотного слоя.

Посадку проводили ручным способом в предварительно сформированные гребни с шириной по схеме 90 × 30 см из расчета 40 тыс. клубней на один гектар. В течение вегетации проводили уход за растениями картофеля.

В период вегетации проводили фенологические наблюдения в соответствии с методикой исследований по культуре картофеля, разработанной ВНИИКХ [9, 10]. Отмечали общее состояние ботвы, мощность развития куста, учитывали поражение ботвы болезнями, согласно методике ГСИ по 9-балльной шкале. Девять баллов – отсутствие болезни, 1 балл – 100 % поражение.

Для определения структуры урожая непосредственно перед уборкой выкапывали каждый клон по отдельности. Учитывали число клубней товарных и нетоварных, их массу. Оценивали клубни по внешнему виду (цвет клубня и мякоти, глубина глазков), пораженности болезнями. Метаматематическую обработку проводили согласно методике [1].

Результаты исследования и их обсуждение. По мнению Ю.И. Авдеева и др. [2], в генофонде всех видов растений могут быть выделены линии, существенно отличающиеся друг от друга амплитудами кривых изменчивости по любому простому количественному признаку.

Благодаря использованию закона внутривидовой фенотипической изменчивости, в выровненных условиях выращивания растений в расщепляющихся поколениях гибридов можно отделять специфические амплитуды варьирования простых количественных признаков одной или обеих родительских форм и выявлять характер наследования варьирований. Закон параллельной фенотипической изменчивости нередко может проявляться и при сравнении от-

дельных видов одного рода, однако известны виды, например, картофеля *Solanum tuberosum* и *S. gibberulosum* с сильно отличающейся реакцией роста и развития при смене световых и температурных условий выращивания.

Важнейшими количественными признаками при внутривидовой самоклональной гибридизации являются фенотипические видоизмененные показатели продуктивности, биохимического состава клубней, морфологические признаки, такие как цвет кожуры и мякоти клубней, глубины залегания глазков, форма стебля, листьев, окраска цветков.

Исследованиями было установлено, что сильной изменчивости подвергается число товарных клубней в клоне, а также масса одного клубня и масса клубней с одного куста в гибридном потомстве F_2 (рис. 1, 2).

Отмечается снижение числа клонов картофеля с большим содержанием товарных клубней в потомстве. Это утверждение наглядно описывает уравнение регрессии $y = -0,505x + 11,35$. Число клонов с высоким содержанием клубней в гнезде снижается, т. е. в потомстве гибридов F_2 около половины клонов имеют гнезда со средним числом товарных клубней от 6–8 шт. на один куст.

Оценка гибридного потомства F_2 по массе одного клубня показывает, что с увеличением числа клубней в клоне масса одного клубня падает (см. рис. 2). Отмечена общая тенденция снижения ($y = -2,890x + 153,1$) крупноклубности с ростом числа клубней в кусте, хотя многоклубневые отдельные кусты (их мало) имели крупные товарные клубни.

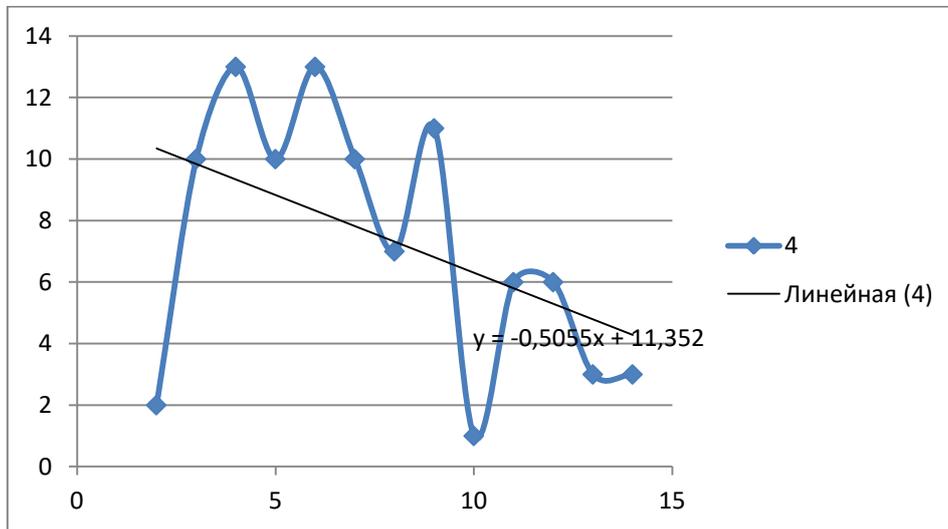


Рис. 1. Варьирование числа товарных клубней в потомстве F_2

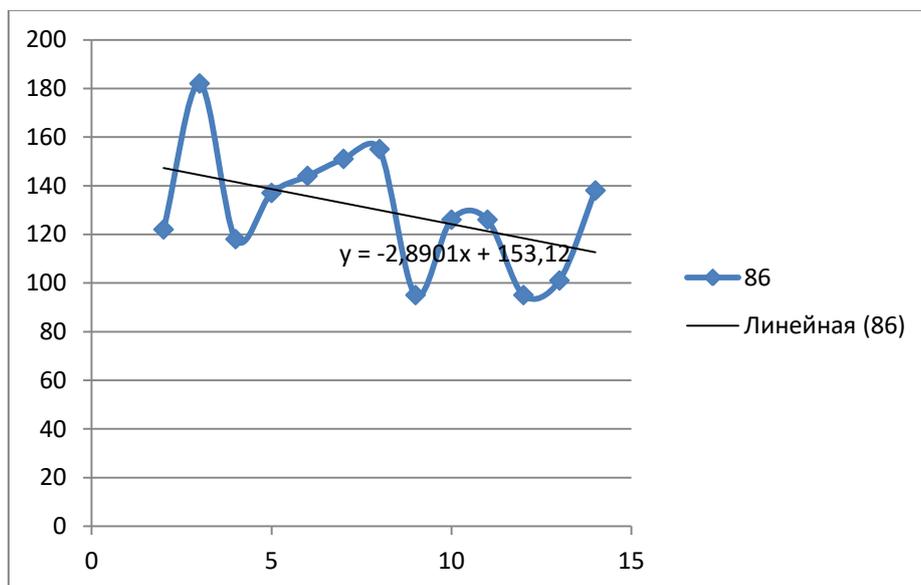
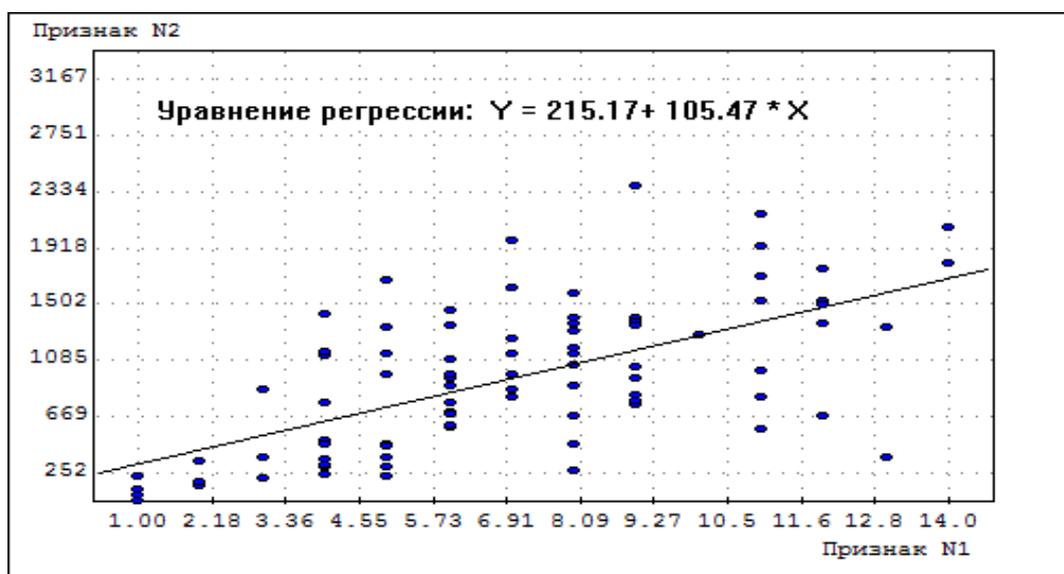


Рис. 2. Варьирование массы одного клубня в потомстве F_2

Данные рисунка 3 характеризуют гибридное потомство второго поколения по массе клубней с клона, прослеживается закономерность увеличения ее с ростом числа клубней. Эта закономер-

ность описана уравнением регрессии $y = 215,17 + 105,47 \times x$. Большая часть образцов на графике лежит в средней ее части, из всего потомства на ее долю приходится около 70 %.



N1 – число клубней в одном клоне.
N2 – масса товарных клубней с одного клона.

Рис. 3. Оценка гибридов картофеля по массе товарных клубней и их числу в клоне

Вновь выводимые сорта, по мнению авторов [5, 9, 10], должны отличаться не только высокими качественными показателями, но и количественными, вне зависимости от условий выращивания. Разработка новых сортов картофеля с высокой пищевой ценностью в сочетании с устойчивостью к патогенам является важной задачей селекции [7]. Эти вопросы не могут быть решены без оценки исходного и селекционного материала по биохимическим показателям, который наряду с высокой генотипической обусловленностью в значительной степени зависит от почвенно-климатических условий [5], поэтому селекция предусматривает создание генотипов

не только с высокими качественными показателями, но и их стабильностью [3, 4].

Анализ изменчивости количества признаков образцов картофеля в потомстве F₂ в сравнении с потомством материнского сорта Арамис показывает, что урожайность у сорта Арамис составляет 600–800 г на один куст (табл. 2). Это соответствует 23 % всего потомства, на долю более 70 % приходится число образцов с более высокой продуктивностью, которая изменяется от 1000 до 2000 г и более на один клон. То есть мы видим, что в гибридном потомстве, полученном из самоклонов сорта Арамис, появилось более продуктивное потомство.

Таблица 2

Оценка потомства картофеля по количественным признакам

Признак	Арамис	Доля признака, %				
		6	23	59	8	5
Продуктивность, г/куст	600–800	250–500	500–1000	1000–1500	1500–2000	Более 2000
Крахмал, %	15–17	15–16	15–17	15–18	14–17	15–17
Цвет мякоти	Светло-желтый					
Глазки	Неглубокие					
Товарность, %	92–95	92	95	92	95	92

Наиболее экологически устойчивый показатель – содержание в клубнях крахмала, коэффициент вариации которого в среднем за годы испытания в зависимости от группы выделенных образцов составил 14–18 %. По содержанию крахмала гибридное потомство схоже с родителем – сортом Арамис. У всех образцов цвет мякоти был такой же, как и у Арамиса. Глазки неглубокие, товарность практически одинаковая.

Оценка гибридного потомства по болезням показала, что 8 % образцов имели пораженность фитофторозом.

Заключение. При оценке наследования количественных признаков в потомстве второго поколения образцов картофеля, полученных от самоопыления сорта Арамис, выделено новое потомство с различными фенотипическими изменениями. Более 70 % образцов превзошли родительскую форму сорт Арамис по продуктивности на 150–200 %. Получены образцы картофеля с продуктивностью товарных клубней с одного куста более 2000 г. Выделено потомство с устойчивостью к болезням.

Список источников

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
2. Закон внутривидовой фенотипической изменчивости количественных признаков растений / Ю.И. Авдеев [и др.] // Астраханский вестник экологического образования. 2014. № 2 (28). С. 114–120.
3. Идентификация генотипов картофеля в селекции на пригодность к переработке в процессе длительного хранения / А.С. Гайзатулин, А.В. Митюшкин, А.А. Журавлев [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2019. № 10 (151). С. 16–23.
4. Использование генетических ресурсов картофеля для повышения эффективности селекции / Е.А. Симаков, В.А. Жарова, А.В. Митюшкин [и др.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178, № 2. С. 113–121. DOI 10.30901/2227-8834-2017-2-113-121
5. Казак А.А., Логинов Ю.П., Гайзатулин А.С. Структурные элементы и урожайность гибридов картофеля ВИР в Северной лесосте-

- пи Тюменской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (63). С. 50–53.
6. Направления селекции и особенности оригинального семеноводства картофеля в Красноярском ГАУ / А.А. Чураков, А.Н. Халипский, Д.Н. Ступницкий [и др.] // Адаптивность сельскохозяйственных культур в экстремальных условиях Центрально- и Восточно-Азиатского макрорегиона: мат-лы симпозиума с междунар. участием. Красноярск, 2018. С. 73–84.
 7. Особенности селекции на улучшение потребительских и кулинарных качеств столовых сортов картофеля / Е.А. Симаков, А.В. Митюшкин, В.М. Алр [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2017. № 10 (133). С. 15–21.
 8. Халипский А.Н., Чураков А.А., Абдураимов П.О. Результаты изучения сортов картофеля из различных эколого-географических зон в условиях Красноярской лесостепи // Успехи современного естествознания. 2018. № 12. С. 111–116.
 9. Prospects of potato selection for the improvement of nutritional value of tubers / E.A. Simakov, B.V. Anisimov, S.V. Zhevera [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production, Rostov, 27–28 августа 2020 года. Bristol, 2021. P. 012096. DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012096.
 10. Quality Evaluation, Phytochemical Characteristics and Estimation of Beta-Carotene Hydroxylase 2 (Chy2) Alleles of Interspecific Potato Hybrids / O.B. Polivanova, E.M. Gins, E.A. Moskalev [et al.] // Agronomy. 2021. Vol. 11. No 8. P. 1619. DOI: 10.3390/agronomy 11081619.

References

1. Dosphehov B.A. Metodika polevogo opyta: s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy. 5-e izd., dop. i pererab. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
2. Zakon vnutrividovoy fenotipicheskoy izmenchivosti kolichestvennyh priznakov rastenij / Yu.I. Avdeev [i dr.] // Astrahanskij vestnik `ekologicheskogo obrazovaniya. 2014. № 2 (28). S. 114–120.

3. Identifikaciya genotipov kartofelya v selekcii na prigodnost' k pererabotke v processe dlitel'nogo hraneniya / A.S. Gajzatulin, A.V. Mityushkin, A.A. Zhuravlev [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2019. № 10 (151). S. 16–23.
4. Ispol'zovanie geneticheskikh resursov kartofelya dlya povysheniya `effektivnosti selekcii / E.A. Simakov, V.A. Zharova, A.V. Mityushkin [i dr.] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2017. T. 178, № 2. S. 113–121. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-2-113-121.
5. Kazak A.A., Loginov Yu.P., Gajzatulin A.S. Strukturnye `elementy i urozhajnost' gibridov kartofelya VIR v Severnoj lesostepi Tyumenskoj oblasti // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 4 (63). S. 50–53.
6. Napravleniya selekcii i osobennosti original'nogo semenovodstva kartofelya v Krasnoyarskom GAU / A.A. Churakov, A.N. Halipskij, D.N. Stupnickij [i dr.] // Adaptivnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur v `ekstremal'nykh usloviyah Central'no- i Vostochno-Aziatskogo makroregiona: mat-ly simpoziuma s mezhdunar. uchastiem. Krasnoyarsk, 2018. S. 73–84.
7. Osobennosti selekcii na uluchshenie potrebitel'skikh i kulinarnykh kachestv stolovykh sortov kartofelya / E.A. Simakov, A.V. Mityushkin, V.M. Alr [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2017. № 10 (133). S. 15–21.
8. Halipskij A.N., Churakov A.A., Abduraimov P.O. Rezultaty izucheniya sortov kartofelya iz razlichnykh `ekologo-geograficheskikh zon v usloviyah Krasnoyarskoj lesostepi // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 12. S. 111–116.
9. Prospects of potato selection for the improvement of nutritional value of tubers / E.A. Simakov, B.V. Anisimov, S.V. Zhevera [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production, Rostov, 27–28 avgusta 2020 goda. Bristol, 2021. P. 012096. DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012096.
10. Quality Evaluation, Phytochemical Characteristics and Estimation of Beta-Carotene Hydroxylase 2 (Chy2) Alleles of Interspecific Potato Hybrids / O.B. Polivanova, E.M. Gins, E.A. Moskalev [et al.] // Agronomy. 2021. Vol. 11. No 8. P. 1619. DOI: 10.3390/agronomy11081619.

Благодарности: статья издается в рамках Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг. «Развитие селекции и семеноводства сортов картофеля, адаптированных к условиям выращивания на территории Красноярского края и Восточной Сибири».

