

ИЗУЧЕНИЕ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГЕНОТИПОВ КАРТОФЕЛЯ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ АНТИОКСИДАНТОВ

К.С. ГОЛУБЕВ¹, Л.Н. ХАБАРОВА¹, Е.А. КАЛАШНИКОВА¹,
Р.Н. КИРАКОСЯН¹, С.К. ТЕМИРБЕКОВА²

(¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева;
² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»)

*В современном мире картофель остается неизменно ценной культурой для человека. Она служит прежде всего источником полноценного питания в связи с высоким содержанием углеводов в клубнях и является сырьем для получения спирта, крахмала, белка и другой продукции, используемой в различных областях народного хозяйства. В настоящее время ученых привлекает картофель с цветной окраской клубней, так как в них содержится большое количество антиоксидантов. Эти вторичные метаболиты помогают человеку справиться с сердечно-сосудистыми заболеваниями, сахарным диабетом, избыточным весом, онкологическими заболеваниями, гипертонией и другими болезнями. Поэтому создание новых форм картофеля с цветными клубнями является одной из главных задач картофелеводства. Изучено 16 образцов картофеля с высоким содержанием антоцианов и каротиноидов. Исследования проводились на кафедре биотехнологии Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева, а также в условиях полевого опыта Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (р.п. Большие Вяземы, Одинцовский район, Московская область, Россия). В работе использовались биотехнологические методы введения в культуру *in vitro*, размножение и химиотерапия. В результате проведенной работы среди изучаемых выделены образцы № 3 и № 5 с повышенным содержанием крахмала: 18.53% и 19.08% соответственно. В культуре *in vitro* показано, что образцы с красной мякотью обладали более высокой скоростью роста и развития, в то время как образцы с синей мякотью значительно отставали по данным показателям.*

Ключевые слова: культура *in vitro*, картофель, антиоксиданты, антоцианы, каротиноиды, микроклоны.

Введение

В современном мире картофель (*Solanum tuberosum* L.) (семейство Solanaceae) остается неизменно ценной культурой, занимающей одно из ведущих мест в мире по площадям возделывания. Россия является не исключением и среди всех стран находится на лидирующем месте по площадям, занятым под картофелем [8]. Интерес к этой культуре не является случайным, так как она служит прежде всего источником полноценного питания в связи с высоким содержанием углеводов в клубнях. Кроме того, картофель является сырьем для получения спирта, крахмала, белка и другой продукции, используемой в пищевой промышленности, животноводстве, фармацевтической промышленности и в других отраслях народного хозяйства. Несомненно, картофель представляет собой продовольственно значимую культуру, богатую углеводами и витаминами, являющуюся калорийным продуктом и имеющую большое значение для здоровья человека [9].

В стратегии Министерства сельского хозяйства РФ предусмотрено постоянное развитие селекции и семеноводства картофеля за счет совершенствования агротехники возделывания культуры, применения современных методов биотехнологии,

направленных на создание исходного материала, свободного от вирусов, виридов, обладающих устойчивостью к стрессовым факторам абиотической и биотической природы окружающей среды [12]. На сегодняшний день в мире насчитывается более 14 тыс. сортов картофеля, полученных благодаря огромному генетическому разнообразию данной культуры, которое постоянно расширяется [10]. В настоящее время в селекции картофеля наметилась тенденция создания диетических сортов, отличающихся повышенным содержанием витаминов группы В ($V_1, V_2, V_3, V_5, V_6, V_9$), витаминов Е, К и С, а также пониженным содержанием крахмала. К таким перспективным сортам относятся сорта картофеля с фиолетовой, красной или розовой окраской мякоти.

Фиолетовый картофель известен очень давно, так как в течение почти 8000 лет его выращивали в андских регионах таких стран, как Эквадор, Боливия и Перу. В настоящее время его выращивают не только в горных условиях, но и в условиях равнины вблизи озера Титикака. Устойчивость фиолетового картофеля к болезням и способность противостоять суровым климатическим условиям позволили ему развиваться в течение тысячелетий, и сегодня его выращивают в Северной и Южной Америке, а также по всей Европе [3]. Интерес к южноамериканским сортам картофеля постоянно возрастает, так как они являются источником генетического разнообразия и используются в селекционных программах, направленных на создание новых сортов с повышенным содержанием фитохимических веществ – таких, как антиоксиданты, антоцианы и каротиноиды, необходимые для поддержания здоровья и укрепления иммунитета человека [12].

Установлено, что фиолетовый или красный картофель обладает порядка в 8 раз большей антиоксидантной способностью, чем белый или желтые аналоги. В темно-пурпурной мякоти обнаружены такие производные антоцианидинов, как мальвидин, дельфинидин, петунидин, пеонидин и цианидин [11]. Все это способствует, например, тому, что клубни фиолетового картофеля меньше поражаются мокрой гнилью [14]. Это обусловлено тем, что в зоне инфицирования происходит окисление фенольных соединений (антоцианов) с последующей лигнификацией, суберинизацией и программируемой гибелью клеток [4].

Фенольные соединения не только играют важную роль в защите растений от биотических стрессовых воздействий, но и являются необходимыми для человека. Они помогают бороться с сердечно-сосудистыми заболеваниями, сахарным диабетом, избыточным весом, онкологическими заболеваниями, гипертонией и другими болезнями человека [16]. Клинические испытания показали, что вторичные метаболиты фиолетового картофеля вызывают апоптоз в клеточных линиях рака предстательной железы и применяются при профилактике рака толстой кишки – наиболее распространенной болезни современности. Как показывает статистика, более 600000 чел. в мире ежегодно умирают именно от рака толстой кишки. Современные медикаментозные средства, как правило, приводят к серьезным побочным эффектам – например, к сильному кишечному кровотечению [7]. Поэтому поиск альтернативных, легкодоступных основных продуктов питания, содержащих в большом количестве ингибиторов пролиферации раковых клеток, как на ранних, так и на поздних стадиях развития, является главной задачей медицины и агропромышленного комплекса.

Кроме того, учеными установлено, что цветные формы картофеля проявляют и антимикробную активность, обладая широким спектром действия. Поэтому употребление в пищу такого картофеля нормализует кишечную микрофлору человека [15].

Все вышесказанное свидетельствует о том, что создание новых форм картофеля с цветными клубнями (мякотью) является одной из главных задач картофелеводства. В этом направлении, например, в США ведутся исследования по скрещиванию форм картофеля с высоким содержанием антоцианов [6]. Что касается России, то исследования по созданию генетических форм с цветной мякотью клубней успешно проводятся во Всероссийском институте растениеводства имени Н.И. Вавилова (Санкт-Петербург, Россия). Сегодня уже созданы гибриды картофеля с высоким содержанием антиоксидантов

в клубнях. Однако стоит отметить, что несмотря на описанные положительные качества цветного картофеля отмечается проблема отсутствия сортов, обладающих комплексной устойчивостью к вирусным, грибным и бактериальным заболеваниям [5].

Одним из новых перспективных путей повышения эффективности селекционного процесса является использование современных методов биотехнологии, которые позволяют изучать устойчивость растений к фитопатогенам (например, таким, как фитофтороз, альтернариоз), а также устойчивость к абиотическим факторам среды – таким, как засухо- и солеустойчивость как на клеточном, так и на молекулярно-генетическом уровнях [1]. Кроме того, в условиях *in vitro* можно получать свободный от вирусов посадочный материал ценных гибридов и новых сортов картофеля. Все это позволяет иметь базисное представление об изучаемых образцах, проводить их диагностику и отбор по хозяйственно ценным признакам, а в итоге – включать в технологию классической селекции и сокращать сроки ее проведения.

В связи с малочисленными исследованиями и недостатком данных об исходных формах картофеля с высоким содержанием антиоксидантов необходимо проводить всестороннее изучение основных характеристик и потенциальных возможностей изучаемых форм. Особое внимание следует обратить на такие показатели, как сроки спелости, наличие устойчивости к фитопатогенам и абиотическим факторам среды, технологические характеристики клубней (размер, форма, глубина залегания глазков), потенциал урожайности, а также пищевая ценность.

Исходя из вышеизложенного целью работы стали изучение морфогенетического потенциала и создание коллекции перспективных образцов картофеля с фиолетовой и красной окраской мякоти клубней в культуре *in vitro*.

Материал и методы исследований

Объектом исследований служили клубни картофеля 16 образцов, отличающихся окраской клубней (от светло-красного до темно-синего) и сроками созревания. Материал для исследований предоставила д-р биол. наук С.К. Темирбекова.

В качестве первичных эксплантов использовали проросшие глазки, изолированные с клубней картофеля. При проведении исследований придерживались правил работы в стерильных условиях, изложенных в методических рекомендациях, разработанных на кафедре биотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [2].

Для получения стерильного растительного материала применяли ступенчатую стерилизацию: 1) глазки первоначально стерилизовали в 70%-ном спирте в течение 40 сек.; 2) промывали их стерильной дистиллированной водой три раза; 3) помещали в 10%-ный раствор гипохлорита натрия на 10 мин; 4) промывали в стерильной дистиллированной воде; 5) помещали в безгормональную питательную среду, содержащую минеральные соли по рецепту Мурасиге-Скуга (МС), 3% сахарозы и 0.7% агара. pH среды составлял 5.5–5.8.

Для получения безвирусных растений изолированные глазки культивировали на среде, содержащей препараты, обладающие противовирусной активностью: Виразол (5 мг/л), Акрихин (5 мг/л) и Амиксин (5 мг/л). Препараты добавляли в состав питательной среды как самостоятельно, так и в сочетании друг с другом. Препараты добавляли в питательную среду после ее автоклавирования. Растворы препаратов пропускали через бактериальные фильтры фирмы Millipore с диаметром пор 0,24 мкм (Sigma).

Изолированные экспланты культивировали в стеклянных пробирках с использованием хлопковых пробок в условиях световой комнаты при 16-часовом фотопериоде, температуре 25°C, освещении белыми люминесцентными лампами с интенсивностью 3 тыс. лк и относительной влажностью воздуха 70%.

Учет результатов проводили на 14-е и 30-е сутки культивирования после высадки эксплантов в питательную среду. Учитывали следующие показатели: количество

стерильных эксплантов, %; высота микропобегов, см; количество междоузлий, шт. Подсчитывали индекс роста (I) и удельную скорость роста (μ) по формулам:

$$I = \frac{X_{\max} - X_0}{X_0}, \mu = \frac{\ln X_2 - \ln X_1}{t_2 - t_1},$$

где X_{\max} и X_0 – максимальное и начальное значения высоты микропобегов, мм; X_2 и X_1 – высота микропобегов, мм, в момент времени t_2 и t_1 , сут., соответственно.

Для статистической обработки полученных результатов использовали пакет программ MS Excel. В таблицах и диаграммах представлены средние значения (M) и их стандартные отклонения (\pm SEM). Статистическую значимость различий оценивали по наименьшей существенной разности при 5%-ном уровне значимости ($НСР_{05}$).

Результаты и их обсуждение

В результате полевых исследований и визуального описания исследуемых образцов были получены основные характеристики (табл. 1).

Таблица 1

Описательные данные исследуемых образцов картофеля

№ образца	Окраска клубня	Окраска глазка	Форма клубня	Окраска мякоти, балл	Крахмал, %
1	красный	красный	овальный	красный, 9	15.95
2	синий	синий	овальный	бело-синий, 6	15.23
3	красный	красный	овальный	бело-красный, 7	19.08
4	красный	красный	удлиненно-овальный	красный, 8	13.22
5	красный	красный	овальны	желто-красный, 5	18.53
6	синий	синий	удлиненно-овальный	синий, 8	15.02
7	синий	синий	удлиненно-овальный	желто-синий, 4	17.26
8	красный	красный	овальный	красный, 8	17.23
9	синий	синий	овальный	бело-синий, 3	13.12
10	красный	красный	овальный	бело-красный, 3	15.11
11	красный	красный	овальный	бело-красный, 4	14.18
12	сине-красный	красный	овальный	бело-синий, 7	17.28
13	синий	синий	овальный	бело-синий, 3	15.25
14	синий	синий	удлиненно-овальный	синий	-
15	красный	красный	удлиненно-овальный	красный	-
16	красный	красный	округлый	кремовый	-

Визуальные исследования показали, что изучаемые 16 образцов картофеля отличаются между собой по окраске клубня, мякоти и глазков, форме клубня, а также по содержанию крахмала в клубнях. Коллекция была представлена образцами с красной и синей окраской клубней, мякоти и глазков, а также один образец был с кремовой мякотью. Образцы № 14, № 15, № 16 по содержанию крахмала не были оценены ввиду нехватки исходного материала. Исследуемые образцы были ранжированы в группы по содержанию крахмала. Высокое содержание отмечалось в образцах № 3 и № 5 (19.08 и 18.53% соответственно); низкое содержание – в образцах № 4, № 9 и № 11 (от 13.22 до 14.18%); остальные образцы занимали промежуточное положение по содержанию крахмала в клубнях (от 15.02 до 15.95%).

Все изучаемые образцы были введены в культуру *in vitro*. В качестве первичного экспланта использовали проросшие глазки. Первичный скрининг показал, что только первичные экспланты семи образцов (№ 5, № 7, № 11, № 13, № 14, № 15, № 16) прижились в культуре *in vitro* и характеризовались активным ростом. Остальные образцы (№ 1, № 2, № 3, № 4, № 6, № 8, № 9, № 10, № 12) оценить по данным показателям было невозможно в связи с отсутствием роста за наблюдаемый период. Вероятно, для этих образцов условия культивирования первичных эксплантов были неоптимальными, и для них необходимо провести дополнительные исследования.

Для выделенных образцов № 5, № 7, № 11, № 13, № 14, № 15, № 16 проведен учет высоты побега и количества междоузлий. Основные результаты представлены на рисунках 1–3.

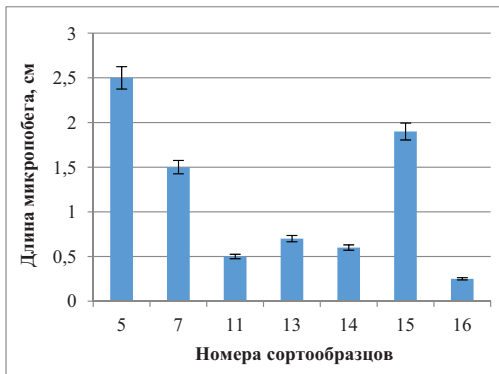


Рис. 1. Средняя длина микропобегов картофеля изучаемых образцов (конец пассажа) по расчетам авторов

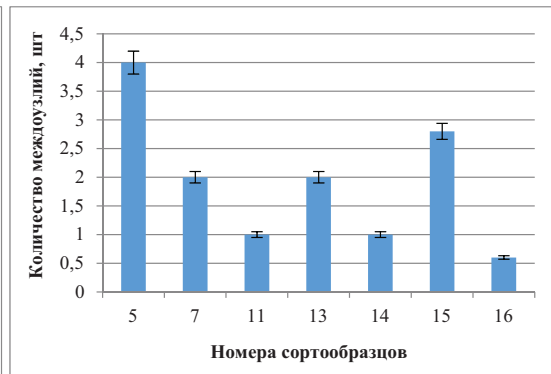


Рис. 2. Среднее количество междоузлий на микропобегах картофеля изучаемых образцов (конец пассажа) по расчетам авторов

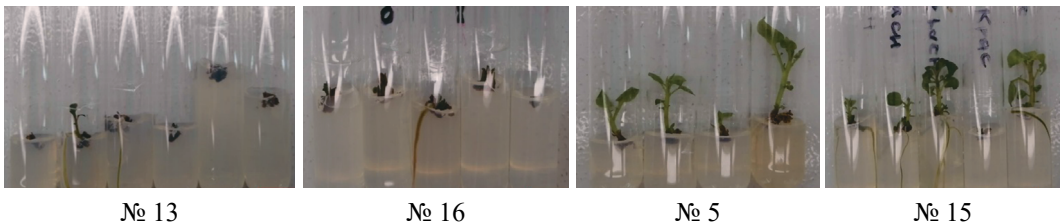


Рис. 3. Формирование микропобегов из глазков, изолированных с клубней картофеля (конец пассажа)

Установлено, что изолированные глазки образцов № 5 и № 15 характеризуются высоким морфогенетическим потенциалом, который проявляется в формировании

из них хорошо развитых микропобегов высотой от 2 до 2,5 см, со средним количеством междоузлий от 3 до 4 шт. Что касается других образцов, то среди них выделяются образцы № 11, № 13, № 14 и № 16, обладающие низким морфогенетическим потенциалом. Кроме биометрических показателей, были рассчитаны индекс роста (I) и удельная скорость роста (μ) в интервале 2–4 недели с начала культивирования (табл. 2).

Таблица 2

Ростовые характеристики микропобегов картофеля (расчеты авторов)

Образцы	Индекс роста (I)	Удельная скорость роста (μ), сут. ⁻¹
5	1,08	0,045
7	3,28	0,091
11	1,00	0,043
13	0	0
14	1,00	0,040
15	0,90	0,043
16	1,50	0,057

Установлено, что максимальные значения индекса роста и удельной скорости роста показаны для образца № 7. Для всех остальных образцов не обнаружены значимые отличия по этим показателям. Исключение составил образец № 13, для которого индекс роста и удельная скорость роста были равны нулю. Это свидетельствует о том, что за учетный период никаких ростовых изменений не происходило.

Важное направление в селекции картофеля – создание сортов с комплексом хозяйственно ценных признаков. Такие селекционные программы широко проводятся за рубежом, а также начаты в Российской Федерации. Исследования, направленные на получение новых генетических форм картофеля с повышенным содержанием антиоксидантов, реализуются за счет применения современных методов биотехнологии – в частности, методов геномной и клеточной инженерии растений [5]. Такой цветной картофель не только является ценным диетическим продуктом, но и позволяет противостоять многим серьезным заболеваниям человека – например, раку толстой кишки [7].

В результате проведенных исследований нами выделены образцы с высоким содержанием антиоксидантов, что подтверждается наличием синей и красной окраски мякоти клубней. Также отмечено, что коллекция состоит из образцов с широким диапазоном по содержанию крахмала (13.12–19.08%), что является важной составляющей для подбора исходных форм в селекционной работе.

Отмеченные нами различия по скорости и интенсивности роста изолированных эксплантов *in vitro*, вероятно, связаны с физиолого-биохимическими особенностями исследуемых образцов. Установлено, что образцы с красной окраской более активны в культуре *in vitro* по сравнению с образцами, имеющими синюю окраску клубней и глазков. Такая ответная реакция связана, возможно, с накоплением в тканях эксплантов фенольных соединений. Известно, что чем интенсивнее окраска, тем больше фенольных соединений накапливается в тканях [10]. В свою очередь, фенольные соединения при окислении превращаются в формы, которые ингибируют ростовые процессы, что и наблюдается нами при культивировании глазков, изолированных с клубней, имеющих синюю окраску.

Выводы

На основании первичного скрининга генетических форм картофеля можно сделать выводы о том, что коллекция включает в себя образцы с набором различных характеристик, которые могут быть источником хозяйственно-полезных признаков для использования их в качестве родительских форм. Кроме того, в культуре *in vitro* выделены образцы с повышенным морфогенетическим потенциалом, которые могут быть включены в работы по клеточной и генной инженерии, направленные на создание форм картофеля, обладающих комплексной устойчивостью к факторам абиотической и биотической природы, повышенной продуктивностью и качеством урожая. В связи с этим требуются как проведение дальнейших исследований в культуре *in vitro*, так и сопоставление этих результатов с результатами полевых наблюдений.

Библиографический список

1. Калашишникова Е.А. Клеточная инженерия растений: Учебник и практикум для вузов. – 2-е изд. / Е.А. Калашишникова. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 333 с.
2. Калашишникова Е.А. Лабораторный практикум по культуре клеток и тканей растений / Е.А. Калашишникова, М.Ю. Чередниченко, Р.Н. Киракосян, С.М. Зайцева, М.Р. Халилуев. – М.: КноРус, 2017. – 163 с.
3. Andre C.M. Antioxidant profiling of native Andean potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) reveals cultivars with high levels of b-carotene, a-tocopherol, chlorogenic acid, and petanin / C.M. Andre, M. Oufir, C. Guignard, L. Hoffmann, J.F. Hausman, D. Evers, Y. Larondelle // *J. Agr. Food Chem.* – 2007. – № 55 (26). – Pp. 10839–10849.
4. Beckman C.H. Phenolic-storing cells: keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defense responses in plants // *Physiological and Molecular Plant Pathology.* – 2000. – № 57 (3). – Pp. 101–110.
5. Brown C.R. Variation of anthocyanin and carotenoid contents and associated antioxidant values in potato breeding / C.R. Brown, D. Culley, C.P. Yang, R. Durst, R. Wrolstad // *American Journal of Potato Research.* – 2005. – № 96. – Pp. 231–240.
6. Brown C.R. Breeding studies in potatoes containing high concentrations of anthocyanins / C.R. Brown, R. Wrolstad, R. Durst // *American Journal of Potato Research.* – 2003. – № 80. – Pp. 241–249.
7. Eiichi K. Carotenoids Affect Proliferation of Human Prostate Cancer Cells / K. Eiichi, K. Masay, Z. Hong, S. Tatsuya, M. Kazuo, N. Akihiko // *The Journal of Nutrition.* – 2001. – № 131 (12). – Pp. 3303–3306.
8. FAOSTAT (2020). *Crops*. Retrieved from. – URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
9. Kiru S.D. Potato genetic sources for new breeding areas // In Collection of works of the VNIKH: Scientific support and innovation development of potato production. – 2008. – Pp. 49–56.
10. Kiru S.D. Genetic diversity of the world potato collection VIR and its use in breeding / S.D. Kiru, L.I. Kostina, O.S. Kosareva, T.E. Zhigaldo, S.N. Travina, N.A. Chalya, T.V. Kirpicheva // *Achievement of Science and Technology in Agriculture.* – 2015. – № 2 (7). – Pp. 31–34.
11. Lachman J. Potato tubers as a significant source of antioxidants in human nutrition / J. Lachman, K. Hamouz M. Orso V. Pivec // *Rostlina Viroba.* – 2001. – № 46. – Pp. 231–236.
12. Martynova K.V. The use of innovative technologies in potato seed production as a factor of food security in the region / K.V. Martynova, I.N. Romanova,

S.V. Semchenkova // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. – 2019. – № 6. – Pp. 52–58.

13. *Shanina E.L.* Selection for increased content of antioxidants in potatoes // In materials of the IV international scientific-practical conference: Current state and prospects of potato production development. – 2012. – Pp. 35–38.

14. *Wegener C.B.* Soft-rot resistance of coloured potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.): The role of anthocyanins / C.B. Wegener, G. Jansen // *Potato Res.* – 2007. – № 50 (1). – P. 31–44.

15. *Wen H.* Antifungal activities of anthocyanins from purple sweet potato in the presence of food preservatives / H. Wen, J. Kang, D. Li, W. Wen, F. Yang, H. Hu, C. Liu // *Food Sci. Biotechnol.* – 2016. – № 25 (1). – P. 165–171.

16. *Xia E. – Q.* Biological activities of polyphenols from Grapes / E. – Q. Xia, G. – F. Deng, Y. – J. Guo & H. – B. Li // *Int. J. Mol. Sci.* – 2010. – № 11. – P. 622–646.

STUDY OF PROMISING POTATO GENOTYPES WITH A HIGH CONTENT OF ANTIOXIDANTS *IN VITRO*

K.S. GOLUBEV¹, L.N. KHABAROVA¹, E.A. KALASHNIKOVA¹,
R.N. KIRAKOSY'AN¹, S.K. TEMIRBEKOVA²

(¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

²All-Russian Research Institute of Phytopathology)

In the modern world, potatoes remain a consistently valuable culture for humans. It primarily serves as a component of good nutrition due to the high content of carbohydrates in tubers. It is a raw material for producing alcohol, starch, protein, and other products used in various areas of the national economy. Scientists currently pay attention to potatoes with colored tubers, as they contain many antioxidants. These secondary metabolites help people cope with cardiovascular diseases, diabetes, overweight, cancer, hypertension, and other diseases. Therefore, creating new forms of potatoes with colored tubers is one of the primary tasks of potato farming. The article studied 16 potato samples with a high content of anthocyanins and carotenoids. We conducted the studies at the Department of Biotechnology of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy and in the field trial of the All-Russian Research Institute of Phytopathology (Bolshie Vyazemy, Odintsovo district, Moscow region, Russia). We used biotechnological introduction methods into in vitro cultivar, reproduction, and chemical treatment during the study. As a result of this work, among the studied samples, we identified No. 3 and No. 5 with an increased starch content of 18.53% and 19.08%, respectively. In vitro cultivar showed that samples with red flesh had a higher growth rate and development, while samples with blue flesh significantly lagged in these terms.

Key words: *in vitro* cultivar, potatoes, antioxidants, anthocyanins, carotenoids, microclones

References

1. *Kalashnikova E.A.* Kletochnaya inzheneriya rasteniy. Uchebnik i praktikum dlya vuzov. 2-e izd. [Cellular engineering of plants. Textbook and Practice Book for Higher Education Institutions. 2nd ed.]. M.: Izdatel'stvo Yurayt. 2020: 333. (In Rus.)

2. *Kalashnikova E.A., Cherednichenko M.Yu., Kirakosyan R.N., Zaytseva S.M., Khaliluev M.R.* Laboratorniy praktikum po kul'ture kletok i tkaney rasteniy. [Laboratory workshop on plant cell and tissue culture]. M.: KnoRus. 2017: 163. (In Rus.)

3. *Andre C.M., Oufir M., Guignard C., Hoffmann L., Hausman J.F., Evers D., Larondelle Y.* Antioxidant profiling of native Andean potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) reveals cultivars with high levels of b-carotene, a-tocopherol, chlorogenic acid, and pectin. *J. Agr. Food Chem.* 2007; 55(26): 10839–10849.
4. *Beckman C.H.* Phenolic-storing cells: keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defense responses in plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology.* 2000; 57 (3): 101–110.
5. *Brown C.R., Culley D., Yang C.P., Durst R., Wrolstad R.* Variation of anthocyanin and carotenoid contents and associated antioxidant values in potato breeding. *American Journal of Potato Research.* 2005; 96: 231–240.
6. *Brown C.R., Wrolstad R., Durst R.* Breeding studies in potatoes containing high concentrations of anthocyanins. *American Journal of Potato Research.* 2003; 80: 241–249.
7. *Eiichi K., Masay K., Hong Z., Tatsuya S., Kazuo M., Akihiko N.* Carotenoids Affect Proliferation of Human Prostate Cancer Cells. *The Journal of Nutrition.* 2001; 131 (12): 3303–3306.
8. FAOSTAT (2020). Crops. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
9. *Kiru S.D.* Potato genetic sources for new breeding areas. In *Collection of works of the VNIKH: Scientific support and innovation development of potato production.* 2008: 49–56.
10. *Kiru S.D., Kostina L.I., Kosareva O.S., Zhigaldo T.E., Travina S.N., Chayala N.A., Kirpicheva T.V.* Genetic diversity of the world potato collection VIR and its use in breeding. *Achievement of Science and Technology in Agriculture.* 2015; 2 (7): 31–34.
11. *Lachman J., Hamouz K., Orsok M., Pivec V.* Potato tubers as a significant source of antioxidants in human nutrition. *Rostlina Viroba.* 2001; 46: 231–236.
12. *Martynova K.V., Romano I.N., Semchenkova S.V.* Ispol'zovanie innovatsionnykh tekhnologiy v semenovodstve kartofelya kak faktor obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti regiona [The use of innovative technologies in potato seed production as a factor of food security in the region]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii.* 2019; 6: 52–58. (In Rus.)
13. *Shanina E.L.* Seleksiya po povyshennomu soderzhaniyu antioksidantov v kartofele [Selection for increased content of antioxidants in potatoes]. V materialakh IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya kartofel'nogo proizvodstva. 2012: 35–38. (In Rus.)
14. *Wegener C.B., Jansen G.* Soft-rot resistance of coloured potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.): The role of anthocyanins. *Potato Res.* 2007; 50 (1): 31–44.
15. *Wen H., Kang J., Li D., Wen W., Yang F., Hu H., Liu C.* Antifungal activities of anthocyanins from purple sweet potato in the presence of food preservatives. *Food Sci. Biotechnol.* 2016; 25 (1): 165–171.
16. *Xia E. – Q., Deng G. – F., Guo Y. – J., & Li H. – B.* Biological activities of polyphenols from Grapes. *Int. J. Mol. Sci.* 2010; 11: 622–646.

Голубев Кирилл Сергеевич, аспирант кафедры биотехнологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: k.golubev48@mail.ru).

Хабарова Людмила Николаевна, аспирант кафедры биотехнологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: habarova@gmail.com).

Калашникова Елена Анатольевна, д-р биол. наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kalash0407@mail.ru).

Киракосян Рима Нориковна, канд. биол. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: mia41291@mail.ru).

Темирбекова Сулухан Кудабердиевна, д-р биол. наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»; Российская Федерация, Московская область, Одинцовский р-он, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, вл. 5; e-mail: sul20@yandex.ru).

Kirill S. Golubev, postgraduate student, the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow (127550, Russian Federation; E-mail: k.golubev48@mail.ru).

Ludmila N. Khabarova, postgraduate student, the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow (127550, Russian Federation; E-mail: habarova@gmail.com).

Elena A. Kalashnikova, DSc (Bio), Professor, the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow (127550, Russian Federation; E-mail: kalash0407@mail.ru).

Rima N. Kirakosyan, PhD (Bio), Associate Professor, the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow (127550, Russian Federation; E-mail: mia41291@mail.ru).

Sulukhan K. Temirbekova, DSc (Bio), Professor, All-Russian Research Institute of Phytopathology (5 Institut Str., Bolshie Vyazemy, Moscow region, Russian Federation; E-mail: sul20@yandex.ru).