

---

Научная статья/Research Article

УДК 635.21:577.16

DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-12-20

Ирина Вячеславовна Ким<sup>1✉</sup>, Алексей Григорьевич Клыков<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, п. Тимирязевский, Уссурийск, Приморский край, Россия

<sup>1</sup>kimira-80@mail.ru

<sup>2</sup>alex.klykov@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНТОЦИАНОВ В КЛУБНЯХ КАРТОФЕЛЯ (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) В УСЛОВИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является источником антиоксидантов. Важными антиоксидантами являются вещества фенольной природы (антоцианы) из многочисленной группы растительных пигментов. Антоцианы относятся к классу флавоноидов и синтезируются в кожуре и мякоти клубней картофеля. Пигментированный картофель может служить потенциальным источником природных антоцианов с целью получения диетических продуктов питания. Исследовано 40 сортообразцов картофеля из биоресурсной коллекции и селекционных питомников. Идентификация антоцианов проведена методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и масс-спектрометрии второго порядка. В результате проведения масс-спектрометрии второго порядка в клубнях выявлено семь различных антоцианов: дельфинидин-3-глюкозид, дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид, петунидин-3-глюкозид, мальвидин-3-глюкозид, цианидин-3-глюкозид, цианидин-3-рамнозил-5-глюкозид, пеларгонидин-3-глюкозид. Петунидин-3-глюкозид и цианидин-3-глюкозид придают кожуре фиолетовую и сине-фиолетовую окраску, пеларгонидин-3-глюкозид – розовую и красную. Выделены генотипы, являющиеся источниками повышенного содержания антоцианов: с розовой кожурой – Кузнечанка (92,2 мг/кг), При-15-7-16 (87,4 мг/кг), При-15-41-8 (85,1 мг/кг); красной кожурой – Маяк (108,7 мг/кг), Romanze – (57,6 мг/кг); фиолетовой кожурой – Цыганка Лора (115,4 мг/кг), Черный Принц (183,1 мг/кг), Василек (195,0 мг/кг), При-15-12-14 (137,7 мг/кг), При-14-52-2 (223,3 мг/кг); сине-фиолетовой кожурой – Фиолетовый (204,0 мг/кг). Выделенная группа сортообразцов рекомендуется для использования в диетическом питании и в целенаправленных скрещиваниях селекции. Получены перспективные гибриды картофеля с повышенным содержанием антоцианов: При-15-12-23 Purple potato × Манифест (в кожуре – 292,6 мг/кг, мякоти – 144,7 мг/кг), При-15-15-5 (Аспия × Qusto) × Манифест (107,4 и 4,0 мг/кг соответственно), При-15-15-7 (Аспия × Qusto) × Манифест (73,6 и 1,6 мг/кг).

**Ключевые слова:** картофель (*Solanum tuberosum* L.), антоцианы, сорта, гибриды, масс-спектрометрия, ВЭЖХ

**Для цитирования:** Ким И.В., Клыков А.Г. Исследование антоцианов в клубнях картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в условиях Приморского края // Вестник КрасГАУ. 2023. № 4. С. 12–20. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-12-20.

Irina Vyacheslavovna Kim<sup>1✉</sup>, Alexey Grigorievich Klykov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Far East named after A.K. Chaika, Timiryazevsky village, Ussuriysk, Primorsky Region, Russia

<sup>1</sup>kimira-80@mail.ru

<sup>2</sup>alex.klykov@mail.ru

**STUDYING ANTHOCYANINS IN POTATO TUBERS (*SOLANUM TUBEROSUM* L.)  
UNDER THE CONDITIONS OF THE PRIMORSKY REGION**

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is a source of antioxidants. Important antioxidants are substances of phenolic nature (anthocyanins) from a large group of plant pigments. Anthocyanins belong to the class of flavonoids and are synthesized in the peel and pulp of potato tubers. Pigmented potatoes can serve as a potential source of natural anthocyanins in order to obtain dietary foods, 40 potato varieties from the bioresource collection and breeding nurseries. Identification of anthocyanins was carried out by high performance liquid chromatography (HPLC) and second-order mass spectrometry. As a result of second-order mass spectrometry, seven different anthocyanins were detected in tubers: delphinidin-3-glucoside, delphinidin-3-rhamnosyl-5-glucoside, petunidin-3-glucoside, malvidin-3-glucoside, cyanidin-3-glucoside, cyanidin-3-rhamnosyl-5-glucoside, pelargonidin-3-glucoside. Petunidin-3-glucoside and cyanidin-3-glucoside give the peel a purple and blue-violet color, pelargonidin-3-glucoside – pink and red. The genotypes that are sources of an increased content of anthocyanins have been identified: with pink skin – Kuznechanka (92.2 mg/kg), Pri-15-7-16 (87.4 mg/kg), Pri-15-41-8 (85.1 mg/kg); red peel – Mayak (108.7 mg/kg), Romanze – (57.6 mg/kg); purple skin – Gypsy Laura (115.4 mg/kg), Black Prince (183.1 mg/kg), Cornflower (195.0 mg/kg), Pri-15-12-14 (137.7 mg/kg), At-14-52-2 (223.3 mg/kg); blue-violet skin – Violet (204.0 mg/kg). The selected group of variety samples is recommended for use in dietary nutrition and in targeted breeding crosses. Promising potato hybrids with a high content of anthocyanins were obtained: Pri-15-12-23 Purple potato × Manifest (in the skin – 292.6 mg/kg, pulp – 144.7 mg/kg), Pri-15-15-5 (Aspiya × Qusto) × Manifesto (107.4 and 4.0 mg/kg, respectively), Pri-15-15-7 (Aspia × Qusto) × Manifesto (73.6 and 1.6 mg/kg).

**Keywords:** potato (*Solanum tuberosum* L.), anthocyanins, varieties, hybrids, mass spectrometry, HPLC

**For citation:** Kim I.V., Klykov A.G. Studying anthocyanins in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) under the conditions of the Primorsky Region // Bulliten KrasSAU. 2023;(4): 12–20. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-12-20.

**Введение.** Антоцианы, или антоцианины, – обширная группа водорастворимых растительных пигментов, обуславливающих красную, синюю и фиолетовую окраску плодов, цветков, листьев и других частей растений. Антоцианы относятся к классу флавоноидов и представляют собой гликозиды катионов флавилия – антоцианидинов [1].

Антоциановая окраска разных частей растений – важный признак, который можно эффективно использовать в селекции картофеля на повышенное содержание пигментных веществ фенольной природы [2]. Повышение эффективности селекции по признакам окраски мякоти клубня (красная и фиолетовая) связывают с разработкой ДНК маркеров целевых генов биосинтеза антоцианов на основе применения ПЦР-анализа [3].

В пределах генетического разнообразия картофеля возможен выбор из селекционных образцов с красными, фиолетовыми и синими пигментами, которые обеспечивают окраску и действуют как антиоксиданты [4]. Красная и фиолетовая мякоть клубня содержат антоцианы пеларгонидин, мальвидин, петунидин, пеонидин

и дельфинидин, которые обеспечивают окраску тканям [5]. По литературным данным, содержание антоцианов в картофеле с белой мякотью составляет 30 мг/100 г, в то же время в окрашенной мякоти их количество увеличивается в 2–2,5 раза [6].

Создание сортов картофеля, обладающих антиоксидантными свойствами, имеет важное социальное значение, так как доступность картофеля позволяет обеспечивать ценным диетическим продуктом широкие слои населения [7].

В ФГБНУ «ФНЦ агrobiотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» ведется селекционная работа по изучению и созданию сортообразцов с окрашенными клубнями и соцветиями [8, 9]. В процессе эксперимента идентифицировали антоцианы и измеряли их содержание у генотипов картофеля различного происхождения, которые ранее не были охарактеризованы по этому признаку.

**Цель исследований** – идентификация состава и определение количественного содержания антоцианов в клубнях для практического использования в селекции.

### Материалы и методы

**Растительный материал.** В период 2018–2021 гг. исследовано 40 сортообразцов из биоресурсной коллекции и селекционных питомников ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки», которые были отобраны по способности образовывать продуктивность 500 г/куст и более, окраске клубней и мякоти. Исходный материал поступил из мировой коллекции ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» и коллекции Всероссийского НИИ картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха. В качестве стандарта использован районированный сорт Янтарь.

**Пробоподготовка и экстракция образцов.** Для определения содержания антоцианов использовали ткани кожуры и мякоти клубней. Собранные образцы хранили до начала анализа (не более 2 нед.) в прохладном месте, без доступа прямых солнечных лучей. Образцы промывали в холодной воде, взвешивали, измельчали и заливали раствором, содержащим 40 % этилового спирта и 1 % муравьиной кислоты (5 г измельченной массы + 25 мл полученного раствора). Массу подвергали замораживанию-размораживанию, а также ультразвуковой дезинтеграции для разрушения стенок и мембран клеток и органелл. Антоцианы экстрагировали в течение 90 мин при 40 °С в закрытом сосуде для предотвращения доступа атмосферного кислорода. Экстракт центрифугировали (СМ-6М, «Elmi», Латвия) при 3500 г в течение 30 мин, супернатант фильтровали через шприцевые фильтры (размер пор 0,45 мкм). Готовый экстракт хранили в морозильной камере при температуре –20 °С.

**Идентификация антоцианов.** Состав и накопление антоцианов анализировали по методу С.Е. Lewis с соавт. (1998) [10]. Разделение антоцианов проводили методом ВЭЖХ на жидкостном хроматографе с градиентным насосом высокого давления LC-20AD и блоком термостатирования колонок CTO-20A (Shimadzu, Япония). Хроматографию осуществляли на обратнофазной колонке Shodex C18-4E (250<sup>1</sup>/<sub>2</sub>4,6 мм), диаметр зерна сорбента – 5 мкм (Shodex, Япония). Детектирование происходило в диапазоне длин волн 300–600 нм UV/VIS спектрофотометрическим детектором SPD-20A (Shimadzu, Япония). Анализ проводили в 120 биологических и 3 аналитических повторностях. Антоцианы идентифицировали методами масс-спектрометрии второго порядка с помощью ловушки amaZon SL

(Bruker, Германия), оснащенной источником ионизации электрораспылением. Анализ проводили в 360 биологических и 3 аналитических повторностях.

**Статистический анализ.** Для проверки достоверности полученных результатов использовали статистические программы MS Excel 2007 и Statistica 8 («StatSoft, Inc.», США), рассчитывали средние ( $M$ ) и  $t_{0,05}^{1/2}SEM$ .

**Результаты и их обсуждение.** Изученные генотипы различались по морфологическим признакам. В первую очередь образцы были оценены по окраске кожуры клубней и разделены на три группы по цвету: первая – желтая и кремовая окраска кожуры клубня; вторая – розовая и красная окраска; третья – фиолетовая и сине-фиолетовая окраска кожуры клубня. Первая и вторая группы состояли из 17 сортообразцов каждая. Редким цветом кожуры – фиолетовым и сине-фиолетовым – характеризовались шесть сортообразцов. Морфологические признаки, отмеченные в наших исследованиях (окраска кожуры и мякоти клубней), соответствуют известным литературным описаниям [11].

В результате исследований в клубнях выявлено семь различных антоцианов. После проведения масс-спектрометрии второго порядка выделенные антоцианы идентифицированы как дельфинидин-3-глюкозид, дельфинидин 3-рамнозил-5-глюкозид, петунидин-3-глюкозид, мальвидин-3-глюкозид, цианидин-3-глюкозид, цианидин-3-рамнозил-5-глюкозид, пеларгонидин-3-глюкозид.

В исследованиях С.Е. Lewis et al. (1998) [10] установлено, что петунидин и пеларгонидин – это основные антоцианы, встречающиеся в клубнях картофеля. Петунидин обуславливает пурпурную окраску, а пеларгонидин – красно-оранжевую. На начальном этапе эксперимента были исследованы клубни картофеля, в дальнейшей работе изучался состав антоцианов в кожуре и мякоти по отдельности (табл. 1). По количеству антоцианов в клубнях в среднем выделилась группа генотипов с фиолетовой и сине-фиолетовой кожурой – 190,7 мг/кг. Группа сортов с желтым и кремовым клубнем имела незначительное количество антоцианов – 1,2 мг/кг. Сорта из группы с розовым пигментом на клубнях характеризовались количеством антоциановых компонентов – в среднем 43,2 мг/кг. При изучении образцов с желтой и кремовой окраской кожуры антоциановые вещества детектировали в незначительном количестве.

Содержание антоцианов у сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с желтой и кремовой окраской кожуры по данным ВЭЖХ и МС-МС масс-спектрометрии ( $n = 3$ ,  $M \pm t_{0,05} \frac{1}{2} SEM$ , 2018–2021 гг.), мг/кг

Сорт/гибрид	Антоциан	Происхождение	Клубень	Кожура	мякоть
Янтарь, st.	Петунидин-3-глюкозид	Россия	1,8±0,1	1,2±0,1	< 0,5
Казачок	Петунидин-3-глюкозид	Россия	2,1±0,1	1,5±0,1	< 0,5
Дачный	Мальвидин-3-глюкозид	Россия	1,0±0,1	1,9±0,1	< 0,5
Sante	Мальвидин-3-глюкозид	Нидерланды	1,0±0,1	1,2±0,1	< 0,5
Vitesse	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	0,9±0,1	1,9±0,1	< 0,5
Метеор	Мальвидин-3-глюкозид	Россия	1,1±0,1	0,9±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	1,8±0,1	2,3±0,1	< 0,5
Крепыш	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	1,2±0,1	1,5±0,1	< 0,5
Сарма	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	2,2±0,1	0,2±0,1	< 0,5
Азарт	Мальвидин-3-глюкозид	Россия	< 0,5	1,0±0,1	< 0,5
Памяти Рогачева	Мальвидин-3-глюкозид	Россия	< 0,5	1,4±0,1	< 0,5
Щедрик	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	< 0,5	0,8±0,1	< 0,5
Тамыр	Петунидин-3-глюкозид	Белоруссия	2,0±0,1	2,8±0,1	< 0,5
Надежда	Мальвидин-3-глюкозид	Белоруссия	< 0,5	1,3±0,1	< 0,5
Дубрава	Мальвидин-3-глюкозид	Казахстан	< 0,5	1,2±0,1	< 0,5
Зольский	Петунидин-3-глюкозид	Германия	< 0,5	0,9±0,1	< 0,5
Криница	Мальвидин-3-глюкозид	Украина	2,1±0,1	1,5±0,1	< 0,5
Рагнеда	Петунидин-3-глюкозид	Россия	1,3±0,1	2,1±0,1	< 0,5
Среднее значение			1,2	1,5	< 0,5
V, %			17,1	9,7	0,1

В клубнях стандарта Янтарь детектирован петунидин-3-глюкозид – 1,8 мг/кг, в том числе в коже обнаружено 1,2 мг/кг. В мякоти идентифицированы следы этого вещества – <0,5 мг/кг. Среднее значение количественного содержания антоцианов варьировало: в клубнях – 1,2 мг/кг; коже – 1,5; мякоти – < 0,5 мг/кг. В отмеченной группе сорта Казачок, Криница, Метеор, Рагнеда, Сарма, Тамыр имели в клубнях антоцианы в пределах 2,0–2,5 мг/кг. Сорт Метеор отличился содержанием двух компонентов – мальвидин-3-глюкозид и пеларгонидин-3-глюкозид. Коэффициент вариации был в пределах 0,1–17,1, в клубне установлена высокая вариативная изменчивость. В коже и мякоти вариация признака была низкой или отсутствовала.

Мякоть клубней картофеля – кладезь углеводов, витаминов и антиоксидантов. Это основная часть растения, которая употребляется в пищу. В настоящее время разнообразие окраски мякоти варьирует от белой до фиолетовой.

Сортообразцы с цветной мякотью обладают особой ценностью, так как считаются источниками антиоксидантов, в том числе антоцианов. В Государственном реестре селекционных достижений РФ за 2021 г. включено всего два сорта с пигментированной мякотью: Сюрприз (розовая мякоть) и Фиолетовый (фиолетовая мякоть), из них ни один не допущен для выращивания в Дальневосточной зоне. В связи с этим в 2019 г. детекцию антоцианового профиля клубней провели в двух частях, разделив кожуру и мякоть. При сравнении количественного и качественного состава антоцианов в коже и мякоти клубней были получены результаты, свидетельствующие о том, что максимальное содержание компонентов находится в коже и ближе к ней.

При исследовании сортов с розовой и красной окраской клубня выявлено преобладающее присутствие пеларгонидина и дельфинидина. Редко встречающимся антоцианом отмечен мальвидин (табл. 2).

Содержание антоцианов у сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.)  
с розовой и красной окраской кожуры по данным ВЭЖХ и МС-МС масс-спектрометрии  
( $n = 3$ ,  $M \pm t_{0,05} \frac{1}{2} SEM$ , 2018–2021 гг.), мг/кг

Сорт/гибрид	Антоциан	Происхождение	Клубень	Кожура	Мякоть
1	2	3	4	5	6
Янтарь, st.	Петунидин-3-глюкозид	Россия	1,8±0,1	1,2±0,1	< 0,5
Памяти Кулакова	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	3,2±0,1	5,6±0,1	< 0,5
Ольский	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	5,3±0,1	7,0±0,1	< 0,5
Матушка	Дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид	Россия	1,1±0,1	2,6±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид		22,2±0,2	30,8±0,2	< 0,5
	Петунидин-3-глюкозид		0,7±0,1	0,7±0,1	< 0,5
Башкирский	Дельфинидин-3-глюкозид	Россия	0,9±0,1	1,0±0,1	< 0,5
	Дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид		3,1±0,1	3,5±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид		24,8±0,2	30,2±0,2	1,2±0,1
Огниво	Петунидин-3-глюкозид	Россия	2,3±0,1	2,5±0,1	< 0,5
	Дельфинидин-3-глюкозид		1,3±0,1	0,3±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид		1,9±0,1	3,0±0,1	< 0,5
Юбиляр	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	9,3±0,1	12,4±0,1	< 0,5
	Дельфинидин-3-глюкозид		5,3±0,1	0,3±0,1	< 0,5
Кузнечанка	Дельфинидин-3-глюкозид	Россия	4,1±0,1	7,7±0,1	< 0,5
	Дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид		9,7±0,1	10,0±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид		78,4±0,3	85,2±0,3	3,2±0,1
Сиреневый туман	Дельфинидин-3-глюкозид	Россия	2,7±0,1	3,0±0,1	< 0,5
	Мальвидин-3-глюкозид		12,1±0,1	12,0±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид		5,0±0,1	6,0±0,1	< 0,5
Жуковский ранний	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	30,2±0,2	35,2±0,2	< 0,5
Повиень	Дельфинидин-3-глюкозид	Украина	3,0±0,1	5,0±0,1	< 0,5
	Дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид		7,3±0,1	7,5±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид		24,8±0,2	30,2±0,2	0,9±0,1
	Петунидин-3-глюкозид		5,0±0,1	5,0±0,1	< 0,5
	Цианидин-3-рамнозил-5-глюкозид		10,2±0,1	11,0±0,1	< 0,5
Журавинка	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	36,8±0,2	5,6±0,1	< 0,5
При-15-7-16 Ирбитский × Аврора	Дельфинидин-3-глюкозид	Россия	14,6±0,1	2,0±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид		70,3±0,3	204,1±0,3	< 0,5
	Мальвидин-3-глюкозид		2,5±0,1	10,8±0,1	< 0,5
	Петунидин-3-арабинозид		–	40,1±0,2	1,4±0,1
	Цианидин-3-глюкозид		–	99,1±0,2	2,3±0,1
При-15-41-8 Русская красавица × Ирбитский	Пеларгонидин-3-глюкозид	Россия	63,2±0,3	130,1±0,4	< 0,5
	Мальвидин-3-глюкозид		9,6±0,1	5,2±0,1	< 0,5
	Дельфинидин-3-глюкозид		12,3±0,1	15,0±0,1	< 0,5
	Петунидин-3-арабинозид		–	16,7±0,1	< 0,5
	Цианидин-3-глюкозид		–	4,5±0,1	< 0,5

1	2	3	4	5	6
При-12-35-4 Дебрянск × Мустанг	Дельфинидин-3-глюкозид	Россия	2,9±0,1	3,5±0,1	1,2±0,1
	Пеларгонидин-3-глюкозид		59,1±0,3	110,1±0,2	< 0,5
	Петунидин-3-арабинозид		–	7,8±0,1	< 0,5
Манифест	Дельфинидин-3-глюкозид	Россия	1,0±0,1	5,0±0,1	< 0,5
	Дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид		1,2±0,1	5,0±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид		20,1±0,2	29,5±0,2	2,6±0,1
	Петунидин-3-глюкозид		1,1±0,1	1,0±0,1	< 0,5
Маяк	Дельфинидин 3-глюкозид	Россия	2,1±0,1	4,0±0,1	< 0,5
	Дельфинидин 3-рамнозил-5-глюкозид		2,1±0,1	2,5±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид		94,6±0,3	113,0±0,3	2,9±0,1
	Петунидин-3-глюкозид		9,9±0,1	12,0±0,1	< 0,5
Romanze	Пеларгонидин-3-глюкозид	Германия	50,9±0,2	62,1±0,2	1,4±0,1
	Дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид		5,2±0,1	10,4±0,1	< 0,5
	Мальвидин-3-глюкозид		1,5±0,1	3,1±0,1	< 0,5
Среднее значение			73,8	1,5	43,2
V, %			38,2	15,7	39,7

Здесь и далее: «–» – антоцианы не обнаружены.

Генотипы выделенной группы превышали контрольный сорт Янтарь по количественному содержанию антоцианов. Наибольшее содержание антоцианов характерно для сортообразцов с розовой кожурой – Кузнечанка (92,2 мг/кг), При-15-7-16 (87,4), При-15-41-8 (85,1 мг/кг); красной кожурой – Маяк (108,7 мг/кг), Romanze – (57,6 мг/кг). Сортообразцы с кожурой клубня ро-

зовых и красных оттенков характеризовались повышенным содержанием антоцианов в пределах 73,8 мг/кг в кожуре и незначительным количеством веществ в мякоти – 1,5 мг/кг. Отмечен высокий коэффициент вариации – 15,7–39,7 %.

Сорта с фиолетовой и сине-фиолетовой окраской содержали преимущественно петунидин-3-глюкозид и цианидин-3-глюкозид (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание антоцианов у сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с фиолетовой и сине-фиолетовой окраской кожуры по данным ВЭЖХ и МС-МС масс-спектрометрии (n = 3, M±t<sub>0,05</sub><sup>1/2</sup>SEM, 2018–2021 гг.)**

Сорт/гибрид	Антоциан	Происхождение	Клубень	Кожура	Мякоть
1	2	3	4	5	6
Янтарь, st.	Петунидин-3-глюкозид	Россия	1,8±0,1	1,2±0,1	< 0,5
Цыганка Лора	Петунидин-3-глюкозид	Россия	89,6±0,3	114,0±0,3	12,6±0,2
	Цианидин-3-глюкозид		25,8±0,2	30,1±0,2	< 0,5
Черный принц	Цианидин-3-глюкозид	Россия	54,3±0,2	70,8±0,2	10,3±0,2
	Цианидин-3-рамнозил-5-глюкозид		25,9±0,2	30,4±0,2	< 0,5
	Петунидин-3-глюкозид		102,9±0,3	140,7±0,3	24,1±0,3
Василек	Дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид	Россия	5,0±0,1	9,0±0,1	< 0,5
	Пеларгонидин-3-глюкозид		38,2±0,2	45,1±0,2	< 0,5
	Петунидин-3-глюкозид		149,8±0,4	180,1±0,4	26,1±0,3
	Цианидин-3-рамнозил-5-глюкозид		2,0±0,1	2,0±0,1	< 0,5

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
При-15-12-14 Purple potato × Манифест	Петунидин-3-глюкозид	Россия	125,0±0,3	114,0±0,3	12,6±0,2
	Петунидин-3-арабинозид		–	350,0±0,5	91,1±0,3
	Цианидин-3-глюкозид		140,2±0,4	39,8±0,2	1,2±0,1
	Цианидин-3-рамнозил-5-глюкозид		–	–	3,6±0,1
	Дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид		–	–	7,9±0,1
	Дельфинидин-3-глюкозид		–	63,1±0,1	1,7±0,1
	Пеларгонидин-3-глюкозид		–	5,0±0,1	< 0,5
При-14-52-2 Ломоносовский × Purple potato	Мальвидин-3-глюкозид	Россия	–	10,0±0,1	1,0±0,1
	Петунидин-3-глюкозид		124,1±0,3	–	–
	Петунидин-3-арабинозид		–	357,9±0,5	143,0±0,4
	Цианидин-3-глюкозид		85,6±0,2	80,4±0,1	81,2±0,3
	Пеларгонидин-3-глюкозид		13,6±0,1	84,1±0,2	1,2±0,1
	Дельфинидин-3-глюкозид		–	10,1±0,1	1,5±0,1
Фиолетовый	Мальвидин-3-глюкозид	Россия	–	2,1±0,1	1,1±0,1
	Дельфинидин-3-глюкозид		30,4±0,2	35,1±0,2	2,6±0,1
	Мальвидин-3-глюкозид		50,1±0,2	60,3±0,2	3,1±0,1
	Петунидин-3-глюкозид		5,1±0,1	5,5±0,1	2,1±0,1
	Цианидин-3-глюкозид		110,0±0,4	121,0±0,4	35,2±0,2
Среднее значение V, %	Цианидин-3-рамнозил-5-глюкозид	Россия	8,4±0,1	8,9±0,1	2,4±0,1
	Среднее значение		190,7	334,9	80,3
			54,7	52,1	47,3

Наибольшее количество антоцианов отмечено у сортообразцов с фиолетовой кожурой – Цыганка Лора (115,4 мг/кг), Черный Принц (183,1), Василек (195,0), При-15-12-14 (137,7), При-14-52-2 (223,3 мг/кг); сине-фиолетовой кожурой – Фиолетовый (204,0 мг/кг). Мякоть клубней фиолетового цвета обладает высоким содержанием антоцианов, в составе кожуры – содержание на уровне. Генотипы с фиолетовыми клубнями отличились содержанием антоциановых компонентов в обеих частях клубня и в среднем их количество составило: в кожуре – 334,9 мг/кг и мякоти – 80,3 мг/кг.

Выявлены генотипы с многокомпонентным составом – 4–5 антоцианов: Башкирский, Василек, Маяк, Манifest, Повiнь, Фиолетовый, При-15-12-14.

Ранее проведенные исследования подтверждают, что качественный состав антоцианов, как правило, специфичен и зависит от сортовых особенностей и условий произрастания растений, которыми определяется активность соответствующих ферментов, способствующих синтезу определенных компонентов антоцианового комплекса [12]. Сорта с фиолетовой и розовой

кожурой разных оттенков выделились по содержанию антоцианов в клубнях по сравнению с сортообразцами с желтыми клубнями. Следовательно, окраска кожуры клубня (розовая, темно-розовая, сине-фиолетовая, фиолетовая) может использоваться в качестве визуального признака в селекции при создании диетических сортов с повышенным содержанием антоцианов. Исследованиями установлена связь розовой и темно-розовой окраски кожуры с повышенным содержанием пеларгонидин 3-глюкозида, в пределах 63–95 мг/кг. В результате изучения получен патент на изобретение «Способ отбора сортообразцов картофеля с повышенным содержанием антоцианов» (№ 2723406, получен 11.06.2020 г. с датой приоритета 09.12.2019 г.).

В результате проведенного анализа компонентного состава клубня тканей кожуры и мякоти отмечены сортообразцы с содержанием антоцианов в обеих частях клубня: Василек (петунидин-3-глюкозид: в кожуре – 149,8 и мякоти – 26,1 мг/кг), Цыганка Лора (петунидин-3-глюкозид: 89,6 и 12,6 мг/кг соответственно), Фиолетовый (цианидин-3-глюкозид: 110,0 и 35,2 мг/кг), Черный принц (цианидин-3-глюкозид: 54,3 и

10,3 мг/кг; петунидин-3-глюкозид: 102,9 и 24,1 мг/кг), При-15-12-14 (петунидин-3-арабинозид: 310,0 и 91,1 мг/кг; цианидин-3-глюкозид: 149,8 и 39,8 мг/кг), При-14-52-2 (петунидин-3-арабинозид: 360,0 и 143,0 мг/кг; цианидин-3-глюкозид: 80,4 и 81,2 мг/кг). Все выделившиеся образцы имеют окрашенную кожуру: фиолетовую и сине-фиолетовую. Мякоть с фиолетовым пигментом была свойственна генотипам – Фиолетовый, При-14-52-2 и При-15-12-14. У сортообразцов с белой, желтой и кремовой мякотью антоцианов было менее 0,5 мг/кг или незначительное количество. Гибриды При-15-12-14 и При-14-52-2 отличились наибольшим содержанием суммарного количества антоцианов в мякоти – 130,9 и 224,2 мг/кг соответственно.

**Заключение.** В результате исследований в клубнях выявлено семь различных антоцианов. После проведения масс-спектрометрии второго порядка выделенные антоцианы идентифицированы как дельфинидин-3-глюкозид, дельфинидин-3-рамнозил-5-глюкозид, петунидин-3-глюкозид, мальвидин-3-глюкозид, цианидин-3-глюкозид, цианидин-3-рамнозил-5-глюкозид, пеларгонидин-3-глюкозид. Установлено, что для клубней с розовой и темно-розовой кожурой характерно наличие пеларгонидин-3-глюкозида. Петунидин-3-глюкозид и цианидин-3-глюкозид придают кожуре фиолетовую и сине-фиолетовую окраску. Детекция антоцианового профиля в кожуре и мякоти клубня картофеля позволила выделить генотипы, являющиеся источниками повышенного содержания антоцианов: Василек, Кузнечанка, Манифест, Маяк, Цыганка Лора, Фиолетовый, Черный принц, При-15-12-14 Purple potato × Манифест, При-14-52-2 Ломоносовский × Purple potato, которые включены в схему гибридизации. Выделенная группа сортообразцов рекомендуется для использования в диетическом питании и в целенаправленных скрещиваниях селекции.

#### Список источников

- Promising antioxidant and antimicrobial food colourants from *Lonicera caerulea* L. var. *Kamtschatica* / A.K. Molina [et al.] // *Antioxidants*. 2019;8(9):394. DOI: 10.3390/antiox8090394.
- Сорта картофеля селекционного центра ВНИИКХ. Потребительские и столовые качества, кулинарный тип. М., 2016.
- Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Синтез антоцианов у картофеля (*Solanum tuberosum* L.): генетические маркеры для направленного отбора // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. № 52 (1). С. 37–49. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.25rus.
- Anthocyanins: From plant pigments to health benefits at mitochondrial level / V. Bendokas [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020; 60(19):3352-3365. DOI: 10.1080/10408398.2019.1687421.
- Anthocyanins from Skins and Fleshes of Potato Varieties / Mori Motoyuki [et al.] // *Food Sci. Technol. Res.* 2010;16(2):115-122. DOI: 10.3136/fstr.16.115.
- Козлова Л.Н., Пискун Г.И., Корзан А.А. Суммарная антиоксидантная способность клубней картофеля // *Картофелеводство*. Минск, 2018. Т. 26. С. 39–45.
- База знаний SOLANUM TUBEROSUM: раздел по молекулярно-генетической регуляции метаболических путей / Т.В. Иванисенко [и др.] // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22, № 1. С. 8–17. DOI: 10.18699/VJ18.325.
- Состав и содержание антоцианов в диетических сортах картофеля (*Solanum tuberosum* L.), перспективных для выращивания и селекции в условиях Дальнего Востока России / И.В. Ким [и др.] // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55, № 5. С. 995–1003. DOI: 10.15389/agrobiology.2020
- Study of anthocyanins in tubers of potato hybrids (*Solanum Tuberosum* L.) of Primorsky krai Selection / I.V. Kim [и др.] // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022; 353:113–121. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8\_14.
- Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in coloured potatoes. I: Coloured cultivars of *Solanum tuberosum* L. / C.E. Lewis [et al.] // *J. Sci. Food Agric.* 1998; 77(1): 45–57. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199805)77:1<45:AID-JSFA1>3.0.CO;2-S.
- Актуальные направления развития селекции и семеноводства картофеля в России / Е.А. Симаков [и др.] // *Картофель и овощи*. 2020. № 12. С. 22–26. DOI: 10.25630/PAV.2020.49.70.005.
- Kalita D., Jayanty S.S. Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of colored potato tubers, pomegranate and blueberries // *Journal of Food Processing and Technology*. 2014; 5: 358. DOI: 10.4172/2157-7110.1000358.



## References

- Promising antioxidant and antimicrobial food colourants from *Lonicera caerulea* L. var. *Kamtschatica* / A.K. Molina [et al.] // Antioxidants. 2019;8(9):394. DOI: 10.3390/antiox8090394.
- Sorta kartofelya selekcionnogo centra VNIKH. Potrebitel'skie i stolovye kachestva, kulinarnyj tip. M., 2016.
- Strygina K.V., Hlestkina E.K. Sintez antocianov u kartofelya (*Solanum tuberosum* L.): geneticheskie markery dlya napravlennogo otbora // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2017. № 52 (1). S. 37–49. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.25rus.
- Anthocyanins: From plant pigments to health benefits at mitochondrial level / V. Bendokas [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020; 60(19):3352-3365. DOI: 10.1080/10408398.2019.1687421.
- Anthocyanins from Skins and Fleshes of Potato Varieties / Mori Motoyuki [et al.] // Food Sci. Technol. Res. 2010;16(2):115-122. DOI: 10.3136/fstr.16.115.
- Kozlova L.N., Piskun G.I., Korzan A.A. Summarnaya antioksidantnaya sposobnost' klubnej kartofelya // Kartofelevodstvo. Minsk, 2018. T. 26. S. 39–45.
- Baza znaniy SOLANUM TUBEROSUM: razdel po molekulyarno-geneticheskoj regulyacii metabolicheskikh putej / T.V. Ivanisenko [i dr.] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2018. T. 22, № 1. S. 8–17. DOI: 10.18699/VJ18.325.
- Sostav i sodержanie antocianov v dieticheskikh sortah kartofelya (*Solanum tuberosum* L.), perspektivnyh dlya vyrashchivaniya i selekcii v usloviyah Dal'nego Vostoka Rossii / I.V. Kim [i dr.] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2020. T. 55, № 5. S. 995–1003. DOI: 10.15389/agrobiology.2020
- Study of anthocyanins in tubers of potato hybrids (*Solanum Tuberosum* L.) of Primorsky krai Selection / I.V. Kim [i dr.] // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022; 353:113-121. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8\_14.
- Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in coloured potatoes. I: Coloured cultivars of *Solanum tuberosum* L. / C.E. Lewis [et al.] // J. Sci. Food Agric. 1998; 77(1): 45-57. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199805)77:1<45:AID-JSFA1>3.0.CO;2-S.
- Aktual'nye napravleniya razvitiya selekcii i semenovodstva kartofelya v Rossii / E.A. Simakov [i dr.] // Kartofel' i ovoschi. 2020. № 12. S. 22–26. DOI: 10.25630/PAV.2020.49.70.005.
- Kalita D., Jayanty S.S. Comparison of polyphenol content and antioxidant capacity of colored potato tubers, pomegranate and blueberries // Journal of Food Processing and Technology. 2014; 5: 358. DOI: 10.4172/2157-7110.1000358.

Статья принята к публикации 09.03.2023 / The article accepted for publication 09.03.2023.

Информация об авторах:

**Ирина Вячеславовна Ким**<sup>1</sup>, ведущий научный сотрудник лаборатории диагностики болезней картофеля, кандидат сельскохозяйственных наук

**Алексей Григорьевич Клыков**<sup>2</sup>, заведующий отделом селекции и биотехнологии сельскохозяйственных культур, доктор биологических наук, академик РАН

Information about the authors:

**Irina Vyacheslavovna Kim**<sup>1</sup>, Leading Researcher, Laboratory for Diagnostics of Potato Diseases, Candidate of Agricultural Sciences

**Alexey Grigorievich Klykov**<sup>2</sup>, Head of the Department of Breeding and Biotechnology of Agricultural Crops, Doctor of Biological Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences