УДК 635.21:633.49 **Исследовательская статья**

Сравнительная оценка содержания антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти с различной окраски клубней картофеля

Омарова Г.К.[1], **Каландия А.**[2], **Джафаридзе И.**[2], **Сурманидзе Н.**[2], **Карцвадзе И.**[2], **Хасанов В.Т.**[1]

[1]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Астана, Казахстан
[2]Батумский государственный университет имени Ш. Руставели, Батуми, Грузия

Автор-корреспондент: Хасанов В.Т.: vadim_kazgatu@mail.ru
Соавторы: (1: ГО) gulnur.omarova1994@gmail.com; (2: АК) aleko.kalandia@bsu.edu.ge
(3: ИД) indira.djafaridze@gmail.com; (4: НС) nona.surmanidze@bsu.edu.ge
(5: ИК) inga.kartsivadze@bsu.edu.ge

Получено: 10.06.2026 **Принято:** 10.06.2026 **Опубликовано:** 10.06.2026

Авторские права: Омарова Г.К. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Аннотация

Предпосылки и цель. Картофель с пигментированной мякотью является ценным источником биологически активных соединений, включая антоцианы, фенольные соединения и флавоноиды, обладающие выраженной антиоксидантной активностью. Содержание данных соединений может существенно варьировать в зависимости от окраски мякоти и анатомической части клубня. Целью настоящего исследования являлся сравнительный биохимический анализ кожуры и мякоти картофеля с различной окраской клубней по содержанию антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов.

Материалы и методы. Объектами исследования служили клубни картофеля казахстанской и зарубежной селекции с различной окраской мякоти. Кожуру и мякоть анализировали отдельно. Содержание антоцианов, общего количества фенольных соединений и флавоноидов определяли спектрофотометрическими методами. Полученные данные подвергали статистической обработке с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты. Установлено, что кожура клубней независимо от окраски мякоти характеризовалась более высоким содержанием антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов по сравнению с мякотью. Максимальное содержание антоцианов выявлено у селекционного образца 17-223-10 и составило 233,1 ± 2,17 мг/100 г сухого вещества в кожуре. Наибольшее содержание фенольных соединений отмечено у сорта Олюшка – 21,75 ± 3,08 мг/г сухого вещества, а максимальное содержание флавоноидов зарегистрировано у сорта Олюшка (28,52 ± 0,28 мг/г сухого вещества) и сорта Киру (28,20 ± 0,13 мг/г сухого вещества). Высокими показателями содержания антоцианов также характеризовались сорта Xisen 8 и Red Rose. Во всех исследованных генотипах содержание биологически активных соединений в кожуре существенно превышало показатели мякоти.

Заключение. Результаты исследования показали, что кожура картофеля с пигментированной мякотью является наиболее богатым источником антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов. Наиболее перспективными по содержанию антиоксидантных соединений оказались образцы 17-223-10, Олюшка, Xisen 8 и Red Rose. Полученные данные свидетельствуют о перспективности комплексного использования как кожуры, так и мякоти цветного картофеля в пищевой промышленности, производстве функциональных продуктов питания и натуральных антиоксидантных ингредиентов.

Ключевые слова: картофель; пигментированная мякоть; антоцианы; фенольные соединения; флавоноиды; кожура.

Как цитировать: Омарова, Г.К., Каландия, А., Джафаридзе, И., Сурманидзе, Н., Карцвадзе, И. Хасанов, В.Т. (2026). Сравнительная оценка содержания антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти с различной окраски клубней картофеля. *Евразийский агротехнический журнал*, 3(131), 240-249. DOI: https://doi.org/10.51452/eaj.2026.3(131).2262

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является одной из важнейших продовольственных культур мира [1]. Традиционно выращиваемые сорта имеют белую или желтую мякоть, однако в последние годы возрастает интерес к сортам с красной, синей и фиолетовой окраской клубней [2, 3]. Такая окраска обусловлена накоплением антоцианов – водорастворимых флавоноидных пигментов, обладающих выраженными антиоксидантными свойствами [4, 5].

Антоцианы представляют особый интерес для медицины и пищевой промышленности благодаря их высокой антиоксидантной активности. Установлено, что регулярное потребление продуктов богатых антоцианами способствует снижению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета второго типа, ожирения, нейродегенеративных нарушений и некоторых видов онкологических заболеваний [3, 6]. Кроме того, данные соединения обладают противовоспалительным, антибактериальным и иммуномодулирующим действием, что делает их важными компонентами функционального питания [7].

Помимо антоцианов, клубни картофеля содержат широкий спектр фенольных соединений, включая фенольные кислоты, флавоноиды и другие вторичные метаболиты. Наиболее распространенными фенольными соединениями в картофеле являются хлорогеновая, кофейная и феруловая кислоты, которые также вносят существенный вклад в антиоксидантный потенциал клубней [8]. Флавоноиды и фенольные соединения способны нейтрализовать свободные радикалы, предотвращать процессы перекисного окисления липидов и защищать клетки организма от окислительного стресса [9].

Согласно данным ряда исследований, наиболее высокие концентрации фенольных соединений и антоцианов локализуются в кожуре и прилегающих к ней тканях, тогда как содержание этих веществ в мякоти может существенно варьировать в зависимости от окраски клубня и сортовых особенностей [10, 11]. В связи с этим, кожура картофеля рассматривается как перспективный источник натуральных антиоксидантов и красителей для пищевой, фармацевтической и косметической промышленности.

В условиях переработки картофеля образуется большое количество кожуры, которая часто рассматривается как отход. Однако, благодаря высокому содержанию биологически активных соединений кожура цветного картофеля представляет интерес как источник натуральных антиоксидантов и функциональных пищевых ингредиентов [12].

Изучение распределения антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти картофеля имеет важное значение для селекции сортов с повышенной пищевой ценностью и разработки функциональных продуктов питания.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые в условиях Костанайской области Казахстана проведено комплексное сравнительное исследование содержания антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти казахстанских селекционных образцов и зарубежных сортов картофеля. Выявлены генотипы, характеризующиеся повышенным накоплением биологически активных соединений, а также установлены различия в их распределении между тканями клубня.

Целью исследования являлся сравнительный анализ содержания антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов в кожуре и мякоти картофеля с различной окраской клубней и оценка особенностей их распределения в тканях клубня.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись 12 сортов и селекционных образцов картофеля с различной окраской мякоти: Xisen 6 (желтая мякоть, КНР), Xisen 8 (фиолетовая, КНР), Gala (желтая, Нидерланды), Colomba (жёлтая, Нидерланды), Есиль (светло-жёлтея, Казахстан-Россия), Red Rose (красная или розовая, Казахстан-Китай), Травник (розовая, Казахстан), Олюшка (розовая, Казахстан), Танюша (розовая, Казахстан), Киру (фиолетовая, Казахстан-Россия), 17-223-10 (фиолетовая, Казахстан-Китай) и Багира (фиолетовая, Россия). На рисунке 1 предоставлены сортообразцы картофеля с различной окраской кожуры и мякоти клубней.

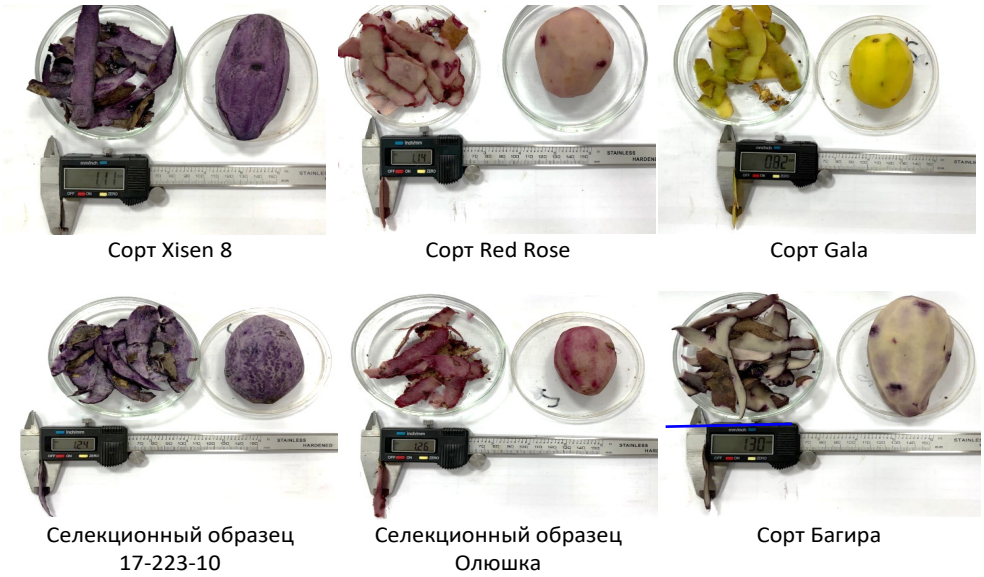


Рисунок 1. Сортообразцы картофеля с различной окраской кожуры и мякоти клубней

Полевой эксперимент был проведён в КХ «Тэрра» в Костанайская области Казахстана. Почвы представлены высокоплодородными чернозёмами, типичными для данного региона.

Посадку картофеля осуществляли вручную в третьей декаде мая по схеме 75 × 30 см. Опыт был заложен по схеме рандомизированных полных блоков (RCBD) в четырёхкратной повторности. Агротехнические мероприятия включали обработку фунгицидами, применение биологических средств защиты растений от болезней и проведение орошения в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания (ГСИ) [13].

Уборку урожая проводили в период с 19 по 21 сентября 2025 года. Для всех изучаемых генотипов были обеспечены одинаковые агротехнические условия выращивания и единый уровень воздействия факторов внешней среды.

Определение содержания антоцианов

Содержание антоцианов определяли спектрофотометрическим методом. Навеску свежего растительного материала массой 2,000 ± 0,005 г экстрагировали трёхкратно подкисленным метанолом при 30–35 °C с использованием ультразвуковой обработки. Объединённые экстракты фильтровали и доводили до 50 мл. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре UV5 Excellence (Mettler-Toledo, Швейцария) при 528 нм относительно 0,1% HCl. Содержание рассчитывали в пересчёте на цианидин-3-О-глюкозид [14].

Определение содержания фенольных соединений

Содержание общих фенольных соединений определяли методом Фолина-Чокальтеу. Экстракцию проводили 70% этанолом, подкисленным 0,1% HCl. К аликвоте экстракта добавляли дистиллированную воду, реактив Фолина-Чокальтеу и раствор Na_2CO_3 для создания щелочной среды. После инкубации при комнатной температуре оптическую плотность измеряли при 750 нм на спектрофотометре UV5 Excellence. Результаты выражали в пересчёте на галловую кислоту [15].

Определение содержания флавоноидов

Содержание флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом. Экстракцию проводили 70% этанолом. К аликвоте последовательно добавляли $NaNO_2$ и $AlCl_3$, затем после выдержки вводили щелочной раствор для формирования окрашенного комплекса. Оптическую плотность измеряли при 510 нм. Содержание флавоноидов рассчитывали в пересчёте на кверцетин [16].

Все эксперименты проводили в трёхкратной повторности для обеспечения воспроизводимости и надёжности полученных данных. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программы Microsoft Excel 2021. Для всех исследуемых показателей рассчитывали средние арифметические значения (M) и стандартные отклонения (SD). Выполняли описательный статистический анализ данных, а также строили графические

материалы для визуализации результатов. Достоверность различий между исследуемыми генотипами оценивали с помощью t-критерия Стьюдента и однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Различия считали статистически значимыми при уровне вероятности $p<0,05$.

Результаты

Определения общего содержания антоцианов

Результаты определения общего содержания антоцианов показали выраженные различия между исследуемыми сортообразцами картофеля. Антоцианы преимущественно накапливались в кожуре клубней, тогда как в мякоти их содержание было значительно ниже (таблица 1).

Таблица 1. Результаты определения общего содержания антоцианов

№	Образцы	Суммарные антоцианы (C-3-G), мг/100 г СВ, кожура	Суммарные антоцианы (C-3-G), мг/100 г СВ, мякоть
1	Киру	18,8 ± 0,49	4,1± 0,10
2	Xisen 8	155,5 ± 3,04	4,7 ± 0,36
3	Gala	-	-
4	Багира	20,4 ± 0,72	5,6 ± 0,31
5	Танюша	50,2 ± 1,22	2,9 ± 0,35
6	Xisen 6	-	-
7	Red Rose	150,9± 0,46	6,8 ± 0,35
8	Colomba	-	-
9	Травник	80,6 ± 0,55	4,3 ± 0,15
10	Есиль	-	-
11	17-223-10	233,1 ± 2,17	8 ± 0,06
12	Олюшка	86,8 ± 0,85	22,6 ± 0,31

Примечание: C-3-G – цианидин-3-глюкозид, СВ – сухое вещество.

Содержание антоцианов значительно варьировало в зависимости от генотипа и исследуемой ткани клубня. Во всех образцах максимальное накопление антоцианов наблюдалось в кожуре, где их содержание превышало показатели мякоти в 3,8-33,1 раза.

Наиболее высокие концентрации антоцианов в кожуре выявлены у селекционного образца 17-223-10 (233,1 ± 2,17 мг/100 г СВ), а также у сортов Xisen 8 (155,5 ± 3,04 мг/100 г СВ) и Red Rose (150,9 ± 0,46 мг/100 г СВ). Высоким содержанием антоцианов также характеризовались Олюшка (86,8 ± 0,85 мг/100 г СВ) и Травник (80,6 ± 0,55 мг/100 г СВ).

В мякоти максимальное накопление антоцианов отмечено у сорта Олюшка (22,6 ± 0,31 мг/100 г СВ), тогда как у остальных генотипов их содержание не превышало 8,0 мг/100 г СВ. Наиболее высокие значения после Олюшка зарегистрированы у 17-223-10 (8,0 ± 0,06 мг/100 г СВ) и Red Rose (6,8 ± 0,35 мг/100 г СВ). Генотипы 17-223-10, Xisen 8 и Red Rose выделялись интенсивным накоплением антоцианов в кожуре, тогда как Олюшка отличалась повышенным содержанием антоцианов как в кожуре, так и в мякоти. Полученные результаты подтверждают выраженное влияние генотипа на биосинтез антоцианов и высокую антиоксидантную ценность окрашенных форм картофеля.

Определения общего содержания фенольных соединений

Результаты анализа содержания общих фенольных соединений показали значительную вариабельность между исследуемыми сортообразцами картофеля. Во всех образцах содержание фенольных соединений в кожуре было существенно выше по сравнению с мякотью, что свидетельствует о преимущественном накоплении фенольных метаболитов в наружных тканях клубней (таблица 2).

Таблица 2. Общее содержание фенольных соединений

№	Образцы	Фенольные соединения (мг/г СВ), кожура	Фенольные соединения (мг/г СВ), мякоть
1	Киру	19,07 ± 0,16	2,1 ± 0,06
2	Xisen 8	16,68 ± 0,35	6,53 ± 0,17
3	Gala	13,05 ± 0,08	2,41 ± 0,21
4	Багира	8,49 ± 0,25	3,07 ± 0,09
5	Танюша	12,38 ± 0,19	3,59 ± 0,30
6	Xisen 6	7,2 ± 0,15	3,3 ± 0,15
7	Red Rose	11,92 ± 0,46	2,59 ± 0,25
8	Colomba	9,2 ± 0,10	2,44 ± 0,22
9	Травник	10,3 ± 0,15	4,01 ± 0,03
10	Есиль	10,02 ± 0,06	1,69 ± 0,25
11	17-223-10	16,01 ± 0,06	5,85 ± 0,34
12	Олюшка	21,75 ± 3,08	3,63 ± 0,22

Исследуемые генотипы картофеля существенно различались по уровню накопления фенольных соединений в кожуре и мякоти клубней, при этом во всех образцах их содержание было значительно выше в кожуре по сравнению с мякотью. Соотношение между содержанием фенольных соединений в кожуре и мякоти варьировало от 2,2 раза у сорта Xisen 6 до 9,1 раза у образца Киру. Высокие различия также отмечены у Есиль (5,9 раза), Gala (5,4 раза), Red Rose (4,6 раза), Олюшка (6,0 раза) и Киру (9,1 раза), что свидетельствует о преимущественной локализации фенольных соединений в покровных тканях клубня.

Среди исследованных генотипов наиболее высоким содержанием фенольных соединений в кожуре характеризовались Олюшка (21,75 ± 3,08 мг/г СВ), Киру (19,07 ± 0,16 мг/г СВ), Xisen 8 (16,68 ± 0,35 мг/г СВ) и селекционный образец 17-223-10 (16,01 ± 0,06 мг/г СВ). Наименьшие значения отмечены у Xisen 6 (7,20 ± 0,15 мг/г СВ), Багира (8,49 ± 0,25 мг/г СВ) и Colomba (9,20 ± 0,10 мг/г СВ).

В мякоти клубней лидирующие позиции занимали Xisen 8 (6,53 ± 0,17 мг/г СВ) и селекционный образец 17-223-10 (5,85 ± 0,34 мг/г СВ), содержание фенольных соединений у которых превышало показатели большинства остальных генотипов. Повышенные значения также были зарегистрированы у Травник (4,01 ± 0,03 мг/г СВ), Олюшка (3,63 ± 0,22 мг/г СВ) и Танюша (3,59 ± 0,30 мг/г СВ). Минимальное накопление фенольных соединений в мякоти наблюдалось у сорта Есиль (1,69 ± 0,25 мг/г СВ).

Особый интерес представляют генотипы Xisen 8 и 17-223-10, которые сочетали высокое содержание фенольных соединений как в кожуре, так и в мякоти. Сорт Киру выделялся максимальным контрастом между кожурой и мякотью, тогда как Xisen 6 характеризовался наиболее равномерным распределением фенольных соединений между исследуемыми тканями. Полученные данные подтверждают значительное влияние генотипа на накопление фенольных соединений и позволяют рассматривать отдельные образцы, как перспективный исходный материал для селекции картофеля с повышенным содержанием биологически активных веществ.

Определения общего содержания флавоноидов

Сравнительный анализ общего содержания флавоноидов показал, что во всех исследуемых сортообразцах картофеля содержание флавоноидов в кожуре значительно превышало их количество в мякоти. Это указывает на интенсивное накопление флавоноидных соединений в покровных тканях клубней (таблица 3).

Таблица 3. Результаты определения общего содержания флавоноидов

№	Образцы	Флавоноиды (мг/г СВ), кожура	Флавоноиды (мг/г СВ), мякоть
1	Киру	28,2 ± 0,13	2,07 ± 0,04
2	Xisen 8	24,36 ± 0,19	7,18 ± 0,09
3	Gala	19,01 ± 0,06	2,73 ± 0,37
4	Багира	12,44 ± 0,17	2,99 ± 0,25
5	Танюша	17,32 ± 0,16	2,57 ± 0,26
6	Xisen 6	9,56 ± 0,23	2,77 ± 0,14
7	Red Rose	12,61 ± 0,16	2,76 ± 0,19
8	Colomba	13,52 ± 0,26	1,69 ± 0,10
9	Травник	14,01 ± 0,01	3,34 ± 0,13
10	Есиль	16,54 ± 0,27	1,75 ± 0,13
11	17-223-10	19,21 ± 0,11	5,17 ± 0,10
12	Олюшка	28,52 ± 0,28	2,69 ± 0,10

Анализ показал наличие значительной вариабельности содержания флавоноидов среди изученных генотипов картофеля, при этом их концентрация в кожуре во всех образцах была существенно выше, чем в мякоти клубней. Превышение содержания флавоноидов в кожуре по сравнению с мякотью составляло от 3,4 раза у образца Xisen 8 до 13,6 раза у сорта Киру.

Наиболее высокое содержание флавоноидов в кожуре выявлено у образцов Олюшка (28,52 ± 0,28 мг/г СВ) и Киру (28,20 ± 0,13 мг/г СВ), а также у Xisen 8 (24,36 ± 0,19 мг/г СВ). Высокими значениями характеризовались также селекционный образец 17-223-10 (19,21 ± 0,11 мг/г СВ) и сорт Gala (19,01 ± 0,06 мг/г СВ). Минимальное содержание флавоноидов в кожуре отмечено у Xisen 6 (9,56 ± 0,23 мг/г СВ).

В мякоти максимальные значения зарегистрированы у Xisen 8 (7,18 ± 0,09 мг/г СВ) и селекционного образца 17-223-10 (5,17 ± 0,10 мг/г СВ), тогда как у остальных генотипов содержание флавоноидов не превышало 3,34 мг/г СВ.

Таким образом, генотипы Xisen 8 и 17-223-10 выделялись высоким накоплением флавоноидов как в кожуре, так и в мякоти, тогда как сорта Киру и Олюшка характеризовались преимущественным накоплением данных соединений в кожуре клубней.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают данные литературы о том, что антоцианы, фенольные соединения и флавоноиды преимущественно накапливаются в кожуре клубней картофеля, что связано с их защитной функцией в растительных тканях [3, 8]. Во всех исследованных генотипах содержание изученных соединений в кожуре значительно превышало показатели мякоти, что согласуется с результатами других авторов, рассматривающих кожуру как основное место локализации вторичных метаболитов и антиоксидантов [4, 9].

Наиболее высокое содержание антоцианов было выявлено у образцов 17-223-10, Xisen 8, Red Rose и Олюшка. Аналогичные уровни накопления антоцианов ранее отмечались у сортов картофеля с фиолетовой и красной окраской клубней. Повышенное содержание антоцианов у данных генотипов обусловлено высокой активностью генов фенилпропаноидного и флавоноидного путей биосинтеза, включая структурные гены CHS, CHI, F3H, DFR и ANS, а также регуляторные транскрипционные факторы семейства MYB-bHLH-WD40, контролирующие образование пигментов. Именно поэтому фиолетовые формы картофеля, как правило, характеризуются более интенсивным накоплением антоцианов по сравнению с сортами со светлой или жёлтой мякотью [17].

Особый интерес представляет сорт Олюшка, который отличался не только высоким содержанием антоцианов в кожуре, но и максимальным уровнем их накопления в мякоти. Вероятно, это связано с экспрессией генов биосинтеза антоцианов не только в покровных

тканях клубня, но и в паренхиме мякоти. Подобное явление ранее было описано для картофеля с интенсивно окрашенной мякотью, у которого синтез пигментов происходит во всех тканях клубня, а не ограничивается только кожурой [18].

Высокое содержание фенольных соединений в образцах Xisen 8 и 17-223-10 согласуется с литературными данными, согласно которым генотипы с интенсивной окраской клубней часто характеризуются повышенным накоплением фенольных метаболитов и более высокой антиоксидантной активностью. Для Xisen 8 повышенный уровень фенолов может быть обусловлен генетически детерминированной активностью фенилаланинаммиак-лиазы (PAL) -ключевого фермента фенилпропаноидного пути, обеспечивающего синтез широкого спектра фенольных соединений. Кроме того, накопление фенолов может усиливаться под влиянием стрессовых факторов окружающей среды, включая повышенные температуры и дефицит влаги, наблюдавшиеся в период вегетации [19].

Полученные результаты также свидетельствуют о выраженной генотипической изменчивости по содержанию флавоноидов. Генотипы Xisen 8 и 17-223-10 характеризовались повышенным накоплением флавоноидов как в кожуре, так и в мякоти, что указывает на высокую интенсивность вторичного метаболизма. Поскольку антоцианы являются одной из групп флавоноидов, повышение содержания этих соединений часто сопровождается общим увеличением уровня фенольных веществ и антиоксидантной активности тканей [20, 21].

В целом накопление антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов определяется сложным взаимодействием генетических факторов и условий среды. Генотипические особенности контролируют активность ферментов биосинтетических путей и экспрессию регуляторных генов, тогда как абиотические факторы способны дополнительно стимулировать синтез защитных метаболитов. Полученные данные подтверждают перспективность использования образцов Олюшка, Xisen 8, Red Rose и 17-223-10 в селекционных программах, направленных на создание сортов картофеля с повышенной антиоксидантной ценностью и улучшенными функциональными свойствами.

Заключение

В результате проведённых исследований установлено, что содержание антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов существенно зависит от генотипа картофеля и исследуемой ткани клубня. Во всех изученных образцах кожура содержала значительно больше биологически активных соединений по сравнению с мякотью. Содержание антоцианов в кожуре превышало показатели мякоти в 3,8–33,1 раза, фенольных соединений – в 2,2–9,1 раза, а флавоноидов – в 3,4–13,6 раза.

Наибольшее содержание антоцианов выявлено у селекционного образца 17-223-10 (233,1 ± 2,17 мг/100 г СВ), а также у сортов Xisen 8 и Red Rose. По содержанию фенольных соединений лидировал сорт Олюшка (21,75 ± 3,08 мг/г СВ), тогда как максимальное накопление флавоноидов отмечено у сортов Олюшка (28,52 ± 0,28 мг/г СВ) и Киру (28,20 ± 0,13 мг/г СВ). Генотипы Xisen 8 и 17-223-10 характеризовались высоким содержанием фенольных соединений и флавоноидов как в кожуре, так и в мякоти, что свидетельствует об их высокой антиоксидантной ценности.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов в селекционных программах по созданию сортов картофеля с повышенной антиоксидантной ценностью. Установлено, что кожура клубней является концентрированным источником антоцианов, фенольных соединений и флавоноидов, что открывает перспективы её рационального использования в качестве вторичного сырья. Кожура цветного картофеля может служить источником натуральных пищевых красителей, антиоксидантных экстрактов, функциональных ингредиентов и биологически активных добавок. Кроме того, пигментированные сорта картофеля представляют интерес для производства функциональных продуктов питания, обогащённых природными антиоксидантами, а также для более эффективного использования отходов переработки картофеля.

Вклад авторов

ГО, ИД, НС и ИК: проведение экспериментальных исследований, обзор и анализ научной литературы, обработка и интерпретация полученных данных, подготовка первоначального варианта рукописи. ВТ и АК: концептуализация исследования, научное руководство, критический пересмотр и редактирование текста рукописи. Все авторы прочитали, обсудили и одобрили окончательную версию рукописи.

Информация о финансировании

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках научного проекта AP23485559 «Картофель с цветной мякотью для Северного Казахстана: подбор сортов и гибридов, создание биологизированной технологии защиты» (2024–2026 гг.), а также в рамках докторской диссертационной работы «Исследование влияния вирозов на антиоксидантные свойства сортов и гибридов с пигментированной мякотью клубней картофеля».

Список литературы

1 Zaheer, K., Akhtar, M.H. (2016). Potato Production, Usage, and Nutrition-A Review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(5), 711–721. DOI: 10.1080/10408398.2012.724479.

2 Hellmann, H., Goyer, A., Navarre, D.A. (2021). Antioxidants in Potatoes: A Functional View on One of the Major Food Crops Worldwide. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(9), 2446. DOI: 10.3390/molecules26092446.

3 Furrer, A.N., Chegeni, M., Ferruzzi, M.G. (2018). Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals, and human health. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(1), 146–168. DOI:10.1080/10408398.2016.1139542.

4 Šulc, M., Kotíková, Z., Paznocht, L., Pivec, V., Hamouz, K., Lachman, J. (2017). Changes in anthocyanidin levels during the maturation of color-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Food chemistry*, 237, 981–988. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.155.

5 Singh, B., Singh, J., Singh, J.P., Kaur, A., Singh, N. (2020). Phenolic compounds in potato (*Solanum tuberosum* L.) peel and their health-promoting activities. *Int. J. Food. Sci. Technol.*, 55, 2273–2281. DOI:10.1111/ijfs.14361.

6 Saha, S., Singh, J., Paul, A., Sarkar, R., Khan, Z., Banerjee, K. (2020). Anthocyanin Profiling Using UV-Vis Spectroscopy and Liquid Chromatography Mass Spectrometry. *Journal of AOAC International,* 103(1), 23–39. DOI:10.5740/jaoacint.19-0201.

7 Durazzo, A., Lucarini, M., Souto, E.B., Cicala, C., Caiazzo, E., Izzo, A.A., Novellino, E., Santini, A. (2019). Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phytotherapy research*, 33(9), 2221–2243. DOI:10.1002/ptr.6419.

8 Akyol, H., Riciputi, Y., Capanoglu, E., Caboni, M.F., Verardo, V. (2016). Phenolic Compounds in the Potato and Its Byproducts: An Overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), 835. DOI: 10.3390/ijms17060835.

9 Włodarczyk, K., Zienkiewicz, A., Szydłowska-Czerniak, A. (2022). Radical Scavenging Activity and Physicochemical Properties of Aquafaba-Based Mayonnaises and Their Functional Ingredients. *Foods*, 11(8), 1129. DOI:10.3390/foods11081129.

10 Navarre D., Holden, M., Pillai, S., Shakya, R. (2011). HPLC profiling of phenolics in diverse potato genotypes. *Food Chemistry*, 127(1), 34–41.

11 Teng, Z., Jiang, X., He, F., Bai, W. (2020), Qualitative and Quantitative Methods to Evaluate Anthocyanins. *eFood*, 1, 339–346. DOI:10.2991/efood.k.200909.001.

12 De Camargo, A.C., Schwember, A.R., Parada, R., Garcia, S., Maróstica Júnior, M.R., Franchin, M., Regitano-d'Arce, M.A.B., Shahidi, F. (2018). Opinion on the Hurdles and Potential Health Benefits in Value-Added Use of Plant Food Processing By-Products as Sources of Phenolic Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(11), 3498. DOI:10.3390/ijms19113498.

13 Ministerstvo sel'skogo hozyaystva Respubliki Kazakhstan. (2011). *Metodika provedeniya sortoispytaniya sel'skohozyaistvennyh rastenii* [*Methodology for conducting variety trials of agricultural plants*]. Nur-Sultan: 06-2/254.

14 Yan, S., Li, Y., Liu, J., Si, D., Zhang, X. (2023). Guideline for extraction, qualitative, quantitative, and stability analysis of anthocyanins. *eFood*, 4(1), e59. DOI:10.1002/efd2.59.

15 Sampaio, S.L., Petropoulos, S.A., Dias, M.I., Pereira, C., Calhelha, R.C., Fernandes, Â., Leme, C.M.M., Alexopoulos, A., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R., Barros, L. (2021). Phenolic composition and cell-based biological activities of ten coloured potato peels (*Solanum tuberosum* L.). *Food chemistry*, 363, 130360. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130360.

16 Rasheed, H., Deng, B., Ahmad, D., Bao, J. (2024). Genetic Diversity and Genome-Wide Association Study of Total Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Properties in Potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *International journal of molecular sciences*, 25(23), 12795. DOI:10.3390/ijms252312795.

17 Han, L., Li, R., Jin, X., Li, Y., Chen, Q., He, C., Wang, M. (2024). Metabolomic analysis, extraction, purification and stability of the anthocyanins from colored potatoes. *Food chemistry*, 22, 101423. DOI:10.1016/j.fochx.2024.101423.

18 Li, M., Xiong, Y., Yang, X., Gao, Y., Li, K. (2024). Transcriptomic and Metabolic Analysis Reveals Genes and Pathways Associated with Flesh Pigmentation in Potato (*Solanum tuberosum*) Tubers. *Current Issues in Molecular Biology*, 46(9), 10335-10350. DOI:10.3390/cimb46090615.

19 Liu, F., Chen, G., Zhang, Y. et al. (2023). A Comparative Analysis of Metabolome Reveals the Regulation of the Anthocyanin Biosynthesis Branch in Potatoes. *Potato Res*., 66, 831–850. DOI:10.1007/s11540-022-09586-5.

20 Makori, S.I., Mu, T.H., Sun, H.N. (2022). Profiling of Polyphenols, Flavonoids and Anthocyanins in Potato Peel and Flesh from Four Potato Varieties. *Potato Res*., 65, 193–208 DOI:/10.1007/s11540-021-09516-x.

21 Rodríguez-Martínez, B., Gullón, B., Yáñez, R. (2021). Identification and Recovery of Valuable Bioactive Compounds from Potato Peels: A Comprehensive Review. *Antioxidants (Basel, Switzerland),* 10(10), 1630. DOI:10.3390/antiox10101630.

Түрлі-түсті түйнекті картоп қабығы мен жұмсағындағы антоцианин, фенолдық қосылыстар және флавоноидтардың мөлшерін салыстырмалы бағалау

Омарова Г.К.[1], Каландия А.[2], Джафаридзе И.[2], Сурманидзе Н.[2], Карцвадзе И.[2], Хасанов В.Т.[1]

[1]«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан
[2]Шота Руставели атындағы Батуми мемлекеттік университеті, Батуми, Грузия

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Түрлі-түсті түйнекті картоп биологиялық белсенді қосылыстарға ие, соның ішінде антоцианиндер, фенолдық қосылыстар және флавоноидтар сияқты биоактивті қосылыстардың құнды көзі. Бұл қосылыстардың құрамы түйнек жұмсағының түсіне және анатомиялық бөлігіне байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Зерттеудің мақсаты әртүрлі түйнек түстері бар картоптың қабығы мен жұмсағындағы антоцианин, фенолдық қосылыстар және флавоноидтардың құрамына салыстырмалы биохимиялық талдау жүргізу.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысаны ретінде Қазақстандық және шетелдік селекцияға жататын, түрлі-түсті түйнекті картоп пайдаланылды. Түйнектердің қабығы мен жұмсағы жеке-жеке талданды. Антоцианин, жалпы фенолдық қосылыстар және флавоноидтардың мөлшері спектрофотометриялық әдістермен анықталды. Алынған нәтижелер Microsoft Excel бағдарламасының көмегімен статистикалық өңдеуден өткізілді.

Нәтижелер. Зерттеу нәтижелері бойынша, картоп түйнектерінің қабығы мәйегінің түсіне қарамастан, жұмсағымен салыстырғанда антоцианин, фенолдық қосылыстар және флавоноидтардың едәуір жоғары мөлшерімен сипатталды. Антоциандардың ең жоғары мөлшері 17-223-10 селекциялық үлгісінде анықталып, қабығында 233,1 ± 2,17 мг/100 г құрғақ затты құрады. Фенолдық қосылыстардың ең жоғары мөлшері Олюшка сортында байқалып,

21,75 ± 3,08 мг/г құрғақ затты, ал флавоноидтардың ең жоғары мөлшері Олюшка (28,52 ± 0,28 мг/г құрғақ зат) және Киру (28,20 ± 0,13 мг/г құрғақ зат) селекциялық үлгілерінде тіркелді. Антоциандардың жоғары мөлшері Xisen 8 және Red Rose сорттарында да анықталды. Зерттелген барлық генотиптерде биологиялық белсенді қосылыстардың мөлшері қабықта жұмсағына қарағанда айтарлықтай жоғары болды.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері пигменттелген жұмсағы бар картоп түйнектерінің қабығы антоцианин фенолдық қосылыстар және флавоноидтардың ең бай көзі болып табылды. Антиоксиданттық қосылыстардың мөлшері бойынша 17-223-10 селекциялық үлгісі, сондай-ақ Олюшка, Xisen 8 және Red Rose сорттары ең перспективалы болып табылды. Алынған нәтижелер түрлі-түсті картоптың қабығы мен жұмсағын тағам өнеркәсібінде, функционалдық тағам өнімдерін өндіруде және табиғи антиоксиданттық ингредиенттер алу үшін кешенді пайдаланудың перспективалы екенін көрсетеді.

Кілт сөздер: картоп; түрлі-түсті жұмсағы; антоцианин; фенолды қосылыстар; флавоноидтар; қабығы.

Comparative Evaluation of Anthocyanin, Phenolic Compound, and Flavonoid Contents in the Peel and Flesh of Differently Colored Potato Tubers

Gulnur K. Omarova[1], Aleko Kalandia[2], Indira Djafaridze[2], Nona Surmanidze[2], Inga Kartsivadze[2]
Vadim T. Khassanov[1]

[1]NJSC “S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University”, Astana, Kazakhstan
[2]Shota Rustaveli Batumi State University, Batumi, Georgia

Abstract

Background and Aim. Pigmented-flesh potatoes are a valuable source of biologically active compounds, including anthocyanins, phenolic compounds, and flavonoids, which exhibit pronounced antioxidant activity. The content of these compounds may vary considerably depending on the flesh color and the anatomical part of the tuber. The objective of this study was to conduct a comparative biochemical analysis of the peel and flesh of potato tubers with different flesh colors in terms of their anthocyanin, phenolic compound, and flavonoid contents.

Materials and Methods. . Potato tubers of Kazakhstani and foreign cultivars with different flesh colors were used as the study material. The peel and flesh were analyzed separately. Total anthocyanin, total phenolic compound, and total flavonoid contents were determined using spectrophotometric methods. The data obtained were statistically analyzed using Microsoft Excel.

Results. TThe results demonstrated that, regardless of flesh color, the potato peel contained significantly higher levels of anthocyanins, phenolic compounds, and flavonoids than the flesh. The highest anthocyanin content was recorded in breeding line 17-223-10, reaching 233.1 ± 2.17 mg/100 g dry weight in the peel. The highest total phenolic content was recorded in the cultivar Olyushka(21.75 ± 3.08 mg/g dry weight), whereas the highest flavonoid contents were detected in the cultivars Olyushka (28.52 ± 0.28 mg/g dry weight) and Kiru (28.20 ± 0.13 mg/g dry weight). High anthocyanin levels were also found in the cultivars Xisen 8 and Red Rose. In all investigated genotypes, the concentrations of biologically active compounds were significantly higher in the peel than in the flesh.

Conclusion. The findings indicate that the peel of pigmented-flesh potato tubers is the richest source of anthocyanins, phenolic compounds, and flavonoids. The breeding line 17-223-10 and the cultivars Olyushka, Xisen 8, and Red Rose showed the greatest potential in terms of antioxidant compound content. These results highlight the potential for the integrated utilization of both the peel and flesh of colored potatoes in the food industry, particularly for the production of functional foods and natural antioxidant ingredients.

Keywords: potato; pigmented flesh; anthocyanins; phenolic compounds; flavonoids; peel.