

Научная статья

УДК 635.074:543.63

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-1-121-129>



Накопление антоцианов и фенольных кислот и антиоксидантная активность некоторых сортов салата, выращенных в открытом грунте и методом гидропоники

Елена Юрьевна Олейниц*, Илья Андреевич Суходолов**,
Анастасия Владимировна Константинович**, Виктор Иванович Дейнека*,
Ирина Петровна Блинова*, Людмила Александровна Дейнека*

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

г. Белгород, Российская Федерация

**Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева,

г. Москва, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Олейниц Елена Юрьевна, oleinits_e@bsu.edu.ru

Аннотация. Целью исследования является определение уровня накопления антоцианов и фенольных кислот в листьях некоторых сортов салата, выращенных в условиях открытого грунта и гидропоники, определение антиоксидантной активности. Растительный материал экстрагировали настаиванием в избранном экстрагенте (оставляли на ночь). Концентрацию антоцианов определяли спектрофотометрическим методом, а видовой состав антоцианов и фенольных соединений – методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии. Показано, что антоцианы экстрактов всех красностебельных сортов салата представлены в основном цианидин-3-(6"-малонилглюкозидом) с небольшими добавками его изомера – цианидин-3-(3"-малонилглюкозида). Наивысший уровень накопления антоцианов обнаружен в листьях салата сорта Туринус – до 0,200 г на 100 г свежего продукта для интенсивно окрашенных частей листьев. При этом выращивание салатов в условиях теплицы (на гидропонике) приводит к значительному снижению концентрации антоцианов в листьях. Установлено, что при сушке листьев потери антоцианов могут превышать 50%. Кроме антоцианов, важными водорастворимыми соединениями и антиоксидантами являются производные кофейной кислоты – хлорогеновая (5-кофеоилхинная) кислота, 5CQA, цикориевая (3,4-дикофеоилвинная) кислота и 3,5-дикофеоилхинная кислота. Уровень накопления 5CQA оказался наивысшим – 140 мг на 100 г свежей массы (сорт Туринус красный). Антиоксидантные свойства, коррелирующие с уровнем накопления антоцианов, определяли по методу Фолина–Чокальтеу. Выявлено, что салаты красностебельных сортов обладают большей антиоксидантной активностью по сравнению с зеленолиственными сортами, поэтому представляют собой более ценные и функциональные продукты питания. Показано, что для получения высококачественной продукции при выращивании методом гидропоники в тепличных хозяйствах следует разработать систему дополнительной подсветки для усиления биосинтеза антоцианов.

Ключевые слова: *Lactuca sativa* L., открытый грунт, гидропоника, антоцианы, фенольные кислоты, антиоксидантные свойства

Для цитирования: Олейниц Е. Ю., Суходолов И. А., Константинович А. В., Дейнека В. И., Блинова И. П., Дейнека Л. А. Накопление антоцианов и фенольных кислот и антиоксидантная активность некоторых сортов салата, выращенных в открытом грунте и методом гидропоники // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. N 1. С. 121–129. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-1-121-129>.

Accumulation of anthocyanins and phenolic acids and antioxidant activity of lettuce cultivars grown hydroponically and in the open ground

Elena Yu. Oleinits*, Ilia A. Sukhodolov**,
Anastasiya V. Konstantinovich**, Viktor I. Deineka*,
Irina P. Blinova*, Lyudmila A. Deineka*

*Belgorod National Research University,
Belgorod, Russian Federation

**Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Elena Yu. Oleinits, oleinits_e@bsu.edu.ru

Abstract. We assess the level of anthocyanins and phenolic acids accumulated in the leaves of lettuce cultivars grown hydroponically and in the open ground. In addition, the antioxidant activity of the cultivars under study was determined. The plant material was macerated overnight using a selected extractant. The anthocyanin concentration was determined by spectrophotometry, while the composition of anthocyanins and phenolic compounds was determined by reverse-phase high performance liquid chromatography. In general, anthocyanins in the extracts of all red-leaved lettuce cultivars were represented by cyanidin-3-(6"-malonylglucoside) with a small amount of its isomer – cyanidin-3-(3"-malonylglucoside). The highest level of anthocyanins was detected in the leaves of c.v. Thurinus, amounting up to 0.200 g per 100 g of fresh product for the intensively painted leaf areas. The cultivation of lettuce under the green-house conditions (hydroponically) leads to a significant reduction in the anthocyanin concentration in its leaves. The loss of anthocyanins during leaf drying was established to exceed 50%. Along with anthocyanins, the derivatives of caffeic acid, including chlorogenic (5-caffeoylquinic) acid, 5CQA, chicoric (3,4-caffeoyltartaric) acid, and 3,5-dicaffeoylquinic acid are important water-soluble compounds with antioxidant effects. The 5CQA accumulation was the highest, comprising 140 mg per 100 g of fresh weight (Red Thurinus). Antioxidant properties correlating with the level of anthocyanin accumulation were determined using the Folin-Ciocalteu method. In comparison with green-leaved cultivars, red-leaved lettuce was found to exhibit a greater antioxidant activity, thus representing a more valuable and functional food product. According to the obtained results, a system of additional illumination is required for intensification of the anthocyan biosynthesis aimed at obtaining high-quality products cultivated hydroponically in green-house facilities.

Keywords: *Lactuca sativa* L., open ground, hydroponics, anthocyanins, phenolic acids, antioxidant properties

For citation: Oleinits E. Yu., Sukhodolov I. A., Konstantinovich A. V., Deineka V. I., Blinova I. P., Deineka L. A. Accumulation of anthocyanins and phenolic acids and antioxidant activity of lettuce cultivars grown hydroponically and in the open ground. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(1):121-129. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-1-121-129>.

ВВЕДЕНИЕ

Салат (*Lactuca sativa* L.) относится к наиболее востребованному культивируемому зеленому листовым овощам во всем мире, объем продукции которого ежегодно возрастает. По оценкам [1], площадь посевов этой культуры превышала 1,27 млн га в 2018 году с суммарной товарной продукцией около 27,3 млн т. *L. sativa* L. принадлежит к семейству Астровые (Asteraceae), а вид салатов разделен по морфологическим признакам на разнообразные (для различных авторов [1, 2]) группы, включающие листовые, кочанные, спаржевые и т.д. салаты. При этом с культивируемыми салатами таксономически тесно связаны семь диких видов [3].

Популярность салатов обусловлена его положительным влиянием на здоровье человека: при низкой калорийности салаты являются относительно хорошими источниками клетчатки, фолатов, витамина К [1]. Большое значение имеют водорастворимые антиоксиданты, такие как аскорбиновая кислота, антоцианы (для красных сортов) и фенольные соединения, а также жирорастворимые антиоксиданты – каротиноиды фотосинтетического комплекса. В целом уровень накопления указанных веществ зависит от сорта и условий выращивания [4–10]. Антоцианы красного сорта салата (Var. Cherokee, Holland) представлены единственным цианидин-3-(6"-малонил-β-глюкопиранозидом), который немедленно

превращался в метиловый эфир этого соединения и в цианидин-3-β-глюкопиранозид в лабораторных условиях [11]. В работе [1] исследовали накопление аскорбиновой кислоты и антоцианов в широком наборе салатов, разделенных на коммерческие и традиционные сорта *L. sativa* L. и семь видов дикорастущих салатов из различных регионов мира. При этом был установлен высокий уровень накопления аскорбиновой кислоты – от 150 и почти до 300 мг на 100 г сухой массы (за исключением нескольких видов дикоросов). Наивысший уровень накопления антоцианов найден для сорта Likarix – почти 125 мг на 100 г сухой массы. При этом в красных сортах салата был обнаружен не только цианидин-3-(6"-малонил-β-глюкопиранозид) как основной компонент, на который приходилось порядка 97% от суммы антоцианов, но и небольшое количество пеонидин-3-β-глюкопиранозид и цианидин-3-(6"-ацетил-β-глюкопиранозид) [1]. Среди прочих фенольных соединений в исследованных красном и зеленом (Var. Noth Star, Holland) сортах салатов в работе [11] обнаружены цикориевая кислота, кверцетин-3-глюкозид, феруловая и кофейная кислоты. В работе [12] сопоставляли накопление фенольных соединений в салатах, выращенных в теплице и на открытом воздухе. При этом было установлено, что в теплицах накопление флавоноидов (кверцетин-3-глюкозида, кверцетин-3-глюкуронида и кверцетин-3-(6"-малонилглюкозида)) чуть ли не на порядок уступало показателям салатов, выращенных на открытом воздухе. Содержание производных кофейной кислоты (главным образом цикориевой и хлорогеновой кислот) было более выровненным, хотя условия открытого грунта остаются несколько более благоприятными и в этом случае.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы салатов были выращены в открытом грунте в УНПЦ «Овощная опытная станция имени В. И. Эдельштейна» Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К. А. Тимирязева (г. Москва) и методом гидропоники в ООО «Вертикальные фермы» (г. Москва) в закрытом помещении без доступа солнечного света в 2021 году.

Изучаемые гибриды отличались друг от друга размером, формой листовой розетки и окраской листьев. Контролем служил гибрид Лимейра. В испытаниях участвовало 2 образца листового салата – Лимейра и Сенситель, 1 образец салата типа Lollo rossa (triple red) – Кармези и по одному образцу салата ромэн – Туринус и дуболистного салата – Сатудай. Салат выращивали в мае-июне (посев 01.05.2021). После посева растения помещали в камеру проращивания на 3 дня. Температуру воздуха в камере поддерживали на уровне 23 °С, относительную влажность воздуха – 90%. Далее салат был перенесен в рассадное

отделение на 13 дней. После этого растения были помещены в открытый грунт и вертикальную ферму. Освещенность в вертикальной ферме составляла 12 тыс. лк 16 ч в сутки. Параметры источника освещения – 5000 К+600 нм при соотношении белый к красному 6:1; температура воздуха – 22 °С; относительная влажность воздуха – 70–80%. Урожай всех изучаемых образцов салата убрали 05.06.2021.

Для экстракции антоцианов навеску листьев (один лист) заливали 0,1 М водным раствором HCl и настаивали в течение суток. Полученный экстракт отделяли фильтрованием от остатка и остаток вновь заливали экстрагентом, повторяя настаивание. Экстракты объединяли и концентрацию антоцианов в пересчете на исходный материал рассчитывали по формуле:

$$C = \frac{A \cdot V \cdot 484,8 \cdot 100 \cdot d}{26900 \cdot m},$$

где A – оптическая плотность разбавленного экстракта, измеренная в кювете с длиной оптического пути 1 см; V – объем экстракта в л; 484,8 – молярная масса цианидин-3-глюкозида хлорида; d – кратность разбавления экстракта перед спектрофотометрированием; 26900 – коэффициент молярного поглощения в пересчете на цианидин-3-глюкозид [13]; m – масса навески листа, г; 100 – коэффициент пересчета на 100 г.

Хроматографирование осуществляли на хроматографе Agilent 1200 Infinity с диодно-матричным детектором (Agilent Technologies, США).

Для разделения методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) экстракты очищали на концентрирующих патронах ДИАПАК C18 (ЗАО «БиоХимМак СТ», Россия) [14].

Видовой состав антоцианов определяли методом обращенно-фазовой ВЭЖХ в подвижной фазе 10 об.% муравьиной кислоты и 8 об.% ацетонитрила в воде, скорость подачи подвижной фазы – 1 мл/мин; колонка 150×4,6 мм, Symmetry C18, 3,5 мкм (Waters, США), температура термостата колонки – 40 °С. Детектирование осуществляли с использованием диодно-матричного детектора с записью электронных спектров поглощения, представляя хроматограммы, записанные при λ=515 нм.

Антоцианы идентифицировали по совпадению времен удерживания (в двух составах подвижных фаз) с образцами из коллекции лаборатории и по совпадению электронных спектров поглощения антоцианов и экстрактов со спектром цианидин-3-глюкозида, поскольку ацилирование малоновой кислотой практически не сказывается на электронных спектрах поглощения.

Видовой состав фенольных кислот определяли методом обращенно-фазовой ВЭЖХ в подвижной фазе 0,3 об.% ортофосфорной кислоты и 20 об.% ацетонитрила в воде, скорость по-

дачи подвижной фазы – 1 мл/мин; колонка 250×4,6 мм, Kromasil 110-5-C18 (Nouryon, Швеция), температура термостата колонки – 30 °С. Детектирование осуществляли с использованием диодно-матричного детектора с записью электронных спектров поглощения, представляя хроматограммы, записанные при $\lambda=326$ нм.

Определение антиоксидантных свойств проводили методом Фолина–Чокальтеу [15]. В колбу на 5 мл вносили 1 мл 20%-го раствора соды, затем заданный объем экстракта, 200 мкл реактива Фолина–Чокальтеу, доводили водой до метки, выдерживали 40 мин перед спектрофотометрированием при 760 нм на спектрофотометре Shimadzu UV-2550 (Shimadzu Corporation, Япония).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Определение антоцианов. Как следует из представленных в табл. 1 результатов, при выбранных соотношениях масса салата: объем экстрагента (0,1 М водный раствор соляной кислоты) за первую экстракцию извлекается не менее 95% антоцианов. А после второй экстракции остается практически бесцветный остаток, что указывает на исчерпывающую экстракцию. При соотношении материал: экстрагент 1:50 (г/мл) достаточно одной экстракции.

Таким образом, антоцианы легко переходят просто в подкисленную воду без добавок органических модификаторов. Концентрация антоцианов в листьях неодинакова по площади листа, но в среднем наивысшее содержание этих соединений найдено для салата сорта Туринус, выращенного в открытом грунте. Во всех случаях при выращивании в открытом грунте накопление антоцианов существенно выше, чем в условиях теплицы. Следовательно, для получения более высококачественного продукта следует разработать варианты дополнительной подсветки при выращивании салатов методом гидропоники.

Учитывая, что в мировой литературе часто приводят уровень накопления в пересчете не на свежий вес (FW), а на сухую массу (DW), мы

проверили сохранность антоцианов при высушивании листьев салата. При этом оказалось, что потери антоцианов очень велики (60–80%). Следовательно, определение следует проводить экстракцией из свежих листьев, а параллельно ставить аналогичные образцы на сушку.

Электронные спектры поглощения и самих экстрактов, и индивидуальных антоцианов оказались одинаковыми для всех исследованных образцов, причем положение максимума абсорбции (около 515 нм) указывает на то, что основа антоцианов – производные цианидина без ацилирования замещенными коричневыми кислотами.

Действительно, видовой состав антоцианов, определенный методом ВЭЖХ, оказался практически одинаковым для всех красностных сортов салата (табл. 2).

На хроматограмме на рис. 1 в экстракте листьев салата обнаруживается один основной антоциан, который был идентифицирован сопоставлением времен удерживания (в двух различных составах подвижной фазы) этого пика и компонентов экстракта оберток пурпурной кукурузы [14] как цианидин-3-(6"-малонил- β -глюкопиранозид), что соответствует литературным данным. Однако второй минорный пик по удерживанию не совпадает с пеонидин-3- β -глюкопиранозидом, но совпадает с цианидин-3-(2"-малонил- β -глюкопиранозидом) [14], что неудивительно, поскольку малонирование антоцианов часто сопровождается образованием не только одного изомера по положению ацилирования углевода. Причем получить подтверждение правильности выполненного отнесения очень легко: необходимо оставить экстракт на 2–3 недели и повторно записать хроматограмму. При этом основной пик постепенно исчезает, поскольку малоновая кислота легко удаляется при хранении кислых экстрактов. В результате гидролиза основным пиком окажется цианидин-3- β -глюкопиранозид, следы которого видны только (пик 1) на начальной хроматограмме экстракта. Кстати, последний факт указывает на корректность использованной в работе пробоподготовки.

Таблица 1. Определение антоцианов в листьях салатов при экстракции

Table 1. Determination of anthocyanins in lettuce leaves by extraction

№	Сорт	Навеска, г	Объем, л	Извлечено из материала, г*** / 100 г FW	
				После 1-й экстракции	После 2-х экстракций
1	Туринус	3,095	0,095	0,137	0,143
	Туринус**	0,470	0,050	0,185	0,195
2	Туринус*	1,000	0,050	0,013	–
3	Сатудай	5,416	0,098	0,111	0,117
4	Сатудай*	1,037	0,050	0,019	–
5	Кармези	9,552	0,102	0,089	0,093
6	Кармези*	1,029	0,050	0,017	–
7	Сенситель	8,923	0,095	0,120	0,126
8	Сенситель*	1,023	0,050	0,010	–

* – выращен в теплице; ** – выбран только интенсивно окрашенный участок листа;

*** – в пересчете на цианидин-3-глюкозид хлорид по формуле в г на 100 г свежего салата (FW).

Таблица 2. Антоциановый состав листьев салата

Table 2. Anthocyanin types composition of lettuce leaves

№	Сорт	Суммарный уровень накопления, г**/100 г FW	Доля по площадям пиков, %	
			№ 1	№ 2
1	Лимейра	0	—	—
2	Лимейра*	0	—	—
3	Сенситель красный	0,159	2,7	91,6
4	Сенситель*	0,010	н/о	н/о
5	Кармези красный	0,154	2,7	91,6
6	Кармази*	0,017	н/о	н/о
7	Туринус красный	0,160	3,9	89,8
8	Туринус*	0,013	н/о	н/о
9	Сатудай красный	0,117	2,7	91,3
10	Сатудай*	0,019	3,3	91,0

Примечание. № 1 – цианидин-3-(3"-малонилглюкозид); № 2 – цианидин-3-(6"-малонилглюкозид).

* – выращен в теплице; ** – в пересчете на цианидин-3-глюкозид хлорид; н/о – не определяли.

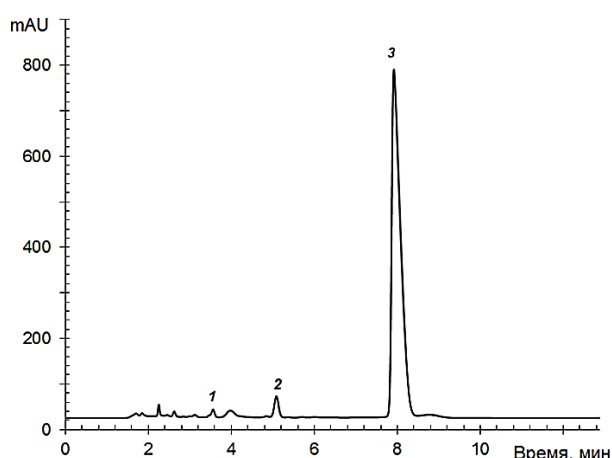


Рис. 1. Разделение антоцианов листьев салата.

Вещества: 1 – цианидин-3-глюкозид;
2 – цианидин-3-(3"-малонилглюкозид);
3 – цианидин-3-(6"-малонилглюкозид)

Fig. 1. Separation of lettuce leaves anthocyanins.

Compounds: 1 – cyanidin-3-(3"-malonylglucoside);
2 – cyanidin-3-(6"-malonylglucoside);
3 – cyanidin-3-(6"-malonylglucoside)

Определение фенольных кислот. Вклад в антиоксидантную активность фенольных кислот может быть значительным, особенно если эти кислоты содержат *орто*-гидроксильные группы в ароматическом кольце [16]. Так, основные антиоксиданты широко популярного напитка кофе – хлорогеновые кислоты – эфиры хинной кислоты и фенольных кислот, главной из которых является кофейная кислота. По этой причине для контроля мы выбрали эфиры кофейной кислоты, образующиеся при этерификации этой кислотой хинной и винной кислот. Из таких производных в экстрактах салатов были обнаружены 5-кофеилхинная (хлорогеновая) кислота, 2,3-дикофеилвинная (цикориевая) кислота и 3,5-дикофеилхинная кислота.

На рис. 2 представлены хроматограммы экстрактов некоторых сортов салата. Основным компонентом (табл. 3) оказалась хлорогеновая

кислота (пик 1 на хроматограммах). Ее (как и другие производные коричной кислоты) идентифицировали по совпадению времен удерживания со стандартным образцом в двух различных составах подвижных фаз и по электронным спектрам поглощения.

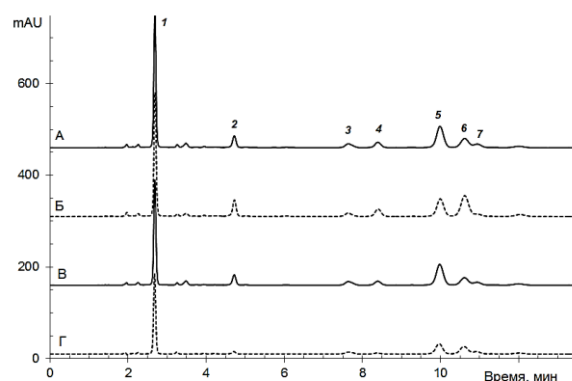


Рис. 2. Хроматограмма экстракта листьев салата при λ=326 нм. Сорта салатов: А – Туринус; Б – Сатудай; В – Кармези; Г – Лимейра. Вещества: 1 – хлорогеновая кислота; 6 – цикориевая кислота; 7 – 3,5diCQA

Fig. 2. Chromatograms of lettuce leaves extract at λ=326 nm. Lettuce cultivars: А – Turinus; Б – Saturday; В – Karmezy; Г – Limaira. Compounds: 1 – chlorogenic acid; 6 – chicoric acid; 7 – 3,5diCQA

Второй по площади пика оказалась цикориевая кислота и, наконец, 3,5diCQA. Образец цикориевой кислоты для сопоставления был выделен из экстракта надземной части *Echinacea purpurea* L. [17], а 3,5diCQA – из экстракта листьев *Ilex paraguariensis* L. [18]. Все эти вещества имеют близкие электронные спектры поглощения с максимумом 326 нм для эфиров хинной кислоты и при 328 нм для эфиров винной кислоты (см. рис. 2). Удивительно, но при биосинтезе цикориевой кислоты кафтаровая кислота (монокофеилвинная кислота) во всех исследованных экстрактах салатов отсутствовала. Вещества 3, 4 и 5 по электронным спектрам поглощения были отнесены к

флавоноидам, тогда как вещество 2 может быть предположительно отнесено (на основании литературных данных [18–20]) к монокофеоилквартетной кислоте.

Поскольку антоцианы и фенольные кислоты являются важнейшими природными водорастворимыми антиоксидантами, были сопоставлены антиоксидантные свойства экстрактов по методу Фолина–Чокальтеу [15]. Этот метод в научной литературе используется для определения суммы фенольных соединений, хотя это не совсем корректно, поскольку восстановление фосфомолиб-

дата легко осуществляется по нашим данным и аскорбиновой кислотой, поэтому результаты определения фенольных соединений в природных растительных источниках могут быть сильно завышенными. В действительности метод Фолина–Чокальтеу позволяет определить наиболее активную составляющую антиоксидантов – восстановительную. Полученные результаты представлены в табл. 3, из которой следует, что антиоксидантная активность экстрактов тем выше, чем выше концентрация фенольных кислот в экстракте и, следовательно, в листьях салата.

Таблица 3. Содержание основных фенольных кислот и антиоксидантные свойства экстракта листьев салатов

Table 3. Content of the main phenolic acids and antioxidant properties of lettuce leaves

№	Сорт салата и способ выращивания	Содержание производных коричной кислоты, мг/100 г FW			Антиоксидантные свойства, мкмоль*/100 г
		5CQA	цикориевая	3,5diCQA	
1	Лимейра	70,8	16,72	5,17	1,97
2	Лимейра*	65,9	19,85	2,46	1,52
3	Сенситель красный	90,9	19,57	5,32	4,23
4	Сенситель*	34,1	16,66	3,06	1,00
5	Кармези красный	113	19,14	7,77	4,35
6	Кармази*	72,9	38,02	12,9	1,79
7	Туринус красный	146	25,59	9,47	5,19
8	Туринус*	59,6	10,69	9,78	1,26
9	Сатудай красный	134	52,36	4,26	5,59
10	Сатудай*	52	24,66	4,26	1,36

* – выращен в теплице.

ВЫВОДЫ

В работе показано, что салаты с красной окраской, обусловленной биосинтезом антоцианов, обладают более высокой антиоксидантной активностью по сравнению со слабоокрашенными или не окрашенными в красный цвет сортами и поэтому представляют собой более ценные продукты питания.

Установлено, что биосинтез антоцианов происходит существенно более эффективно при выращивании в открытом грунте по сравнению с продукцией, выращенной в теплицах. Важными для здоровья и жизнедеятельности человека водорастворимыми веществами салатов являются водорастворимые производные кофейной кислоты – хлорогеновая, цикориевая и 3,5-дикофеоилхинная кислоты.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Medina-Lozano I., Bertolín J. R., Díaz A. Nutritional value of commercial and traditional lettuce (*Lactuca sativa* L.) and wild relatives: Vitamin C and anthocyanin content // Food Chemistry. 2021. Vol. 359. P. 129864. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129864>.
2. Křístková E., Doležalová I., Lebeda A., Vinter V., Novotná A. Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources // Horticultural Science (Prague). 2008. Vol. 35. P. 113–129. <https://doi.org/10.17221/4/2008-HORTSCI>.
3. Zohary D. The wild genetic resources of cultivated lettuce (*Lactuca sativa* L.) // Euphytica. 1991. Vol. 53. P. 31–35. <https://doi.org/10.1007/BF00032029>.
4. Gazula A., Kleinbenz M. D., Scheerence J. C., Ling P. P. Anthocyanin levels in nine lettuce (*Lactuca sativa*) cultivars: influence of planting date and relations among analytic, instrumented, and visual assessments of color // HortScience. 2007. Vol. 42, no. 2. P. 232–238. <https://doi.org/10.21273/HORT>

SCI.42.2.232.

5. Lee M.-J., Son J. E., Oh M.-M. Growth and phenolic compounds of *Lactuca sativa* L. grown in a closed-type plant production system with UV-A, -B, or -C lamp // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2014. Vol. 94, no. 2. P. 197–204. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6227>.
6. Tsormpatsidis E., Henbest R. G. C., Battey N. H., Hadley P. The influence of ultraviolet radiation on growth, photosynthesis and phenolic levels of green and red lettuce: potential for exploiting effects of ultraviolet radiation in a production system // Annals of Applied Biology. 2010. Vol. 156, no. 3. P. 357–366. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00393.x>.
7. Eichholz I., Förster N., Ulrichs C., Schreiner M., Huyskens-Keil S. Survey of bioactive metabolites in selected cultivars and varieties of *Lactuca sativa* L. under water stress // Journal of Applied Botany and Food Quality. 2014. Vol. 87. P. 265–273. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6227>.

doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.037.

8. Mampholo B. M., Maboko M. M., Soundy P., Sivakumar D. Phytochemicals and overall quality of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in closed hydroponic system // Journal of Food Quality. 2016. Vol. 39. P. 805–815. <https://doi.org/10.1111/jfq.12234>.

9. Zhou W., Chen Y., Xu H., Liang X., Hu Y., Jin C., et al. Short-term nitrate limitation prior to harvest improves phenolic compound accumulation in hydroponic-cultivated lettuce (*Lactuca sativa* L.) without reducing shoot fresh weight // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2018. Vol. 66. P. 10353–10361. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02157>.

10. Sularz O., Smoleń S., Koronowicz A., Kowalska I., Leszczyńska N. Chemical composition of lettuce (*Lactuca sativa* L.) biofortified with iodine by KIO₃, 5-iodo-, and 3,5-diiodosalicylic acid in a hydroponic cultivation // Agronomy. 2020. Vol. 10, no. 7. P. 1022. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071022>.

11. Mulabagal V., Ngouajio M., Nair A., Zhang Y., Gottumukkala A. L., Nair M. G. *In vitro* evaluation of red and green lettuce (*Lactuca sativa*) for functional food properties // Food Chemistry. 2010. Vol. 118, no. 2. P. 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.119>.

12. Romani A., Pinelli P., Galardi C., Sani G., Cimato A., Heimler D. Polyphenols in greenhouse and open-air-grown lettuce // Food Chemistry. 2002. Vol. 79, no. 3. P. 337–342. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00170-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00170-X).

13. Giusti M. M., Wrolstad R. E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001. F1.2.1–F1.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.

14. Дейнека В. И., Сидоров А. Н., Дейнека Л. А. Определение антоцианов оберток пурпурной кукурузы // Журнал аналитической химии. 2016. Т. 71. N 11. С. 1203–1208. <https://doi.org/10.7868/S0044450216110049>.

15. Kupina S., Fields C., Roman M. C., Bru-

nelle S. L. Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: single-laboratory validation, first action 2017.13 // Journal of AOAC International. 2018. Vol. 101, no. 5. P. 1466–1472. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0031>.

16. Chen J., Yang J., Ma L., Li J., Shahzad N., Kim C. K. Structure-antioxidant activity relationship of methoxy, phenolic hydroxyl, and carboxylic acid groups of phenolic acids // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. Article number 2611. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59451-z>.

17. Brown P. N., Chan M., Paley L., Betz J. M. Determination of major phenolic compounds in *Echinacea* spp. raw materials and finished products by high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection: single-laboratory validation matrix extension // Journal of AOAC International. 2011. Vol. 94, no. 5. P. 1400–1410. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.11-142>.

18. Lima J. P., Farah A., King B., de Paulis T., Martin P. R. Distribution of major chlorogenic acids and related compounds in brazilian green and toasted *Ilex paraguariensis* (Maté) leaves // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2016. Vol. 64. P. 2361–2370. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00276>.

19. Materska M., Olszowska K., Chilczuk B., Stochmal A., Pecio Ł., Pacholczyk-Sienicka B., et al. Polyphenolic profiles in lettuce (*Lactuca sativa* L.) after CaCl₂ treatment and cold storage // European Food Research and Technology. 2019. Vol. 245. P. 733–744. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3195-0>.

20. Ribas-Agustí A., Gratacós-Cubarsí M., Sàrraga C., García-Regueiro J.-A., Castellari M. Analysis of eleven phenolic compounds including novel p-coumaroyl derivatives in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by ultra-high-performance liquid chromatography with photodiode array and mass spectrometry detection // Phytochemical Analysis. 2011. Vol. 22, no. 6. P. 555–563. <https://doi.org/10.1002/pca.1318>.

REFERENCES

1. Medina-Lozano I., Bertolín J. R., Díaz A. Nutritional value of commercial and traditional lettuce (*Lactuca sativa* L.) and wild relatives: Vitamin C and anthocyanin content. *Food Chemistry*. 2021;359:129864. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129864>.

2. Křístková E., Doležalová I., Lebeda A., Vinter V., Novotná A. Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. *Horticultural Science (Prague)*. 2008;35:113-129. <https://doi.org/10.17221/4/2008-HORTSCI>.

3. Zohary D. The wild genetic resources of cultivated lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Euphytica*. 1991; 53:31-35. <https://doi.org/10.1007/BF00032029>.

4. Gazula A., Kleinbenz M. D., Scheerence J. C., Ling P. P. Anthocyanin levels in nine lettuce (*Lactuca sativa*) cultivars: influence of planting date and relations among analytic, instrumented, and visual

assessments of color. *HortScience*. 2007;42(2):232-238. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.2.232>.

5. Lee M.-J., Son J. E., Oh M.-M. Growth and phenolic compounds of *Lactuca sativa* L. grown in a closed-type plant production system with UV-A, -B, or -C lamp. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014;94(2):197-204. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6227>.

6. Tsormpatsidis E., Henbest R. G. C., Battey N. H., Hadley P. The influence of ultraviolet radiation on growth, photosynthesis and phenolic levels of green and red lettuce: potential for exploiting effects of ultraviolet radiation in a production system. *Annals of Applied Biology*. 2010;156(3):357-366. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00393.x>.

7. Eichholz I., Förster N., Ulrichs C., Schreiner M., Huyskens-Keil S. Survey of bioactive metabolites in selected cultivars and varieties of *Lactuca sativa* L.

under water stress. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2014;87:265-273. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.037>.

8. Mampholo B. M., Maboko M. M., Soundy P., Sivakumar D. Phytochemicals and overall quality of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in closed hydroponic system. *Journal of Food Quality*. 2016;39:805-815. <https://doi.org/10.1111/jfq.12234>.

9. Zhou W., Chen Y., Xu H., Liang X., Hu Y., Jin C., et al. Short-term nitrate limitation prior to harvest improves phenolic compound accumulation in hydroponic-cultivated lettuce (*Lactuca sativa* L.) without reducing shoot fresh weight. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018;66:10353-10361. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02157>.

10. Sularz O., Smoleń S., Koronowicz A., Kowalska I., Leszczyńska N. Chemical composition of lettuce (*Lactuca sativa* L.) biofortified with iodine by KIO₃, 5-Iodo-, and 3,5-diiodosalicylic acid in a hydroponic cultivation. *Agronomy*. 2020;10(7):1022. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071022>.

11. Mulabagal V., Ngouajio M., Nair A., Zhang Y., Gottumukkala A. L., Nair M. G. *In vitro* evaluation of red and green lettuce (*Lactuca sativa*) for functional food properties. *Food Chemistry*. 2010;118(2):300-306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.119>.

12. Romani A., Pinelli P., Galardi C., Sani G., Cimato A., Heimler D. Polyphenols in greenhouse and open-air-grown lettuce. *Food Chemistry*. 2002;79(3):337-342. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00170-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00170-X).

13. Giusti M. M., Wrolstad R. E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001:F1.2.1-F1.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.

14. Deineka V. I., Sidorov A. N., Deineka L. A. Determination of purple corn husk anthocyanins. *Zhurnal analiticheskoi khimii = Journal of Analytical Chemistry*. 2016;71(11):1203-1208. (In Russian).

<https://doi.org/10.7868/S0044450216110049>.

15. Kupina S., Fields C., Roman M. C., Brunelle S. L. Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: single-laboratory validation, first action 2017.13. *Journal of AOAC International*. 2018;101(5):1466-1472. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0031>.

16. Chen J., Yang J., Ma L., Li J., Shahzad N., Kim C. K. Structure-antioxidant activity relationship of methoxy, phenolic hydroxyl, and carboxylic acid groups of phenolic acids. *Scientific Reports*. 2020;10. Article number 2611. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59451-z>.

17. Brown P. N., Chan M., Paley L., Betz J. M. Determination of major phenolic compounds in *Echinacea* spp. raw materials and finished products by high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection: single-laboratory validation matrix extension. *Journal of AOAC International*. 2011;94(5):1400-1410. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.11-142>.

18. Lima J. P., Farah A., King B., de Paulis T., Martin P. R. Distribution of major chlorogenic acids and related compounds in brazilian green and toasted *Ilex paraguariensis* (Maté) leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016;64:2361-2370. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00276>.

19. Materska M., Olszowka K., Chilczuk B., Stochmal A., Pecio Ł., Pacholczyk-Sienicka B., et al. Polyphenolic profiles in lettuce (*Lactuca sativa* L.) after CaCl₂ treatment and cold storage. *European Food Research and Technology*. 2019;245:733-744. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3195-0>.

20. Ribas-Agustí A., Gratacós-Cubarsí M., Sàrraga C., García-Regueiro J.-A., Castellari M. Analysis of eleven phenolic compounds including novel p-coumaroyl derivatives in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by ultra-high-performance liquid chromatography with photodiode array and mass spectrometry detection. *Phytochemical Analysis*. 2011;22(6):555-563. <https://doi.org/10.1002/pca.1318>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. Ю. Олейниц,
аспирант,
Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,
Российская Федерация,
oleinits_e@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2065-6296>

И. А. Суходолов,
аспирант,
Российский государственный аграрный
университет – МСХА им. К. А. Тимирязева,
127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49,
Российская Федерация,
gotem1996@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1513-0142>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena Yu. Oleinits,
Postgraduate Student,
Belgorod National Research University,
85, Pobedy Ave., Belgorod, 308015,
Russian Federation,
oleinits_e@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2065-6296>

Iliia A. Sukhodolov,
Postgraduate Student,
Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127550,
Russian Federation,
gotem1996@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1513-0142>

А. В. Константинович,

к.с.-х.н., доцент,
доцент кафедры овощеводства,
Российский государственный аграрный
университет – МСХА им. К. А. Тимирязева,
127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49,
Российская Федерация,
konstantinovich@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6198-3379>

В. И. Дейнека,

д.х.н., профессор,
профессор кафедры общей химии,
Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,
Российская Федерация,
deineka@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3971-2246>

И. П. Блинова,

к.х.н., доцент,
доцент кафедры общей химии,
Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,
Российская Федерация,
blinova@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-00002-4525-4536>

Л. А. Дейнека,

к.х.н., доцент,
доцент кафедры общей химии,
Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,
Российская Федерация,
deyneka@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4101-2468>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.*

Информация о статье

Поступила в редакцию 17.11.2021.
Одобрена после рецензирования 15.02.2022.
Принята к публикации 28.02.2022.

Anastasiya V. Konstantinovich,

Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor,
Department of Vegetable Growing,
Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127550,
Russian Federation,
konstantinovich@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6198-3379>

Viktor I. Deineka,

Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
Department of General Chemistry,
Belgorod National Research University,
85, Pobedy Ave., Belgorod, 308015,
Russian Federation,
deineka@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3971-2246>

Irina P. Blinova,

Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Department of General Chemistry,
Belgorod National Research University,
85, Pobedy Ave., Belgorod, 308015,
Russian Federation,
blinova@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-00002-4525-4536>

Lyudmila A. Deineka,

Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Department of General Chemistry,
Belgorod National Research University,
85, Pobedy Ave., Belgorod, 308015,
Russian Federation,
deyneka@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4101-2468>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

Information about the article

The article was submitted 17.11.2021.
Approved after reviewing 15.02.2022.
Accepted for publication 28.02.2022.