

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-2-260-266>

Поступила 10.02.2025

Поступила после рецензирования 09.06.2025

Принята в печать 11.06.2025

© Соколова Д. В., Соловьева А. Е., 2025

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАЯ ИЗ ЛИСТЬЕВ АМАРАНТА (*AMARANTHUS CRUENTUS* L.) СОРТА «ФРАНТ»

Соколова Д. В.*, Соловьева А. Е.

Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

амарант,
биохимический
состав,
антиоксидантная
активность,
аскорбиновая
кислота, лютеин,
углеводы

Чай и различные чайные сборы всегда являлись популярными продуктами, богатыми антиоксидантами. Амарант считается «суперпродуктом» благодаря содержанию высококачественного безглютенового белка, ненасыщенных жирных кислот, витаминов и минералов. Богатые амарантином листья красноокрашенных сортов *Amaranthus cruentus* L. являются прекрасным сырьем для производства чайных напитков. Целью настоящей работы явилось сравнительное изучение биохимического состава и антиоксидантной активности чая из листьев амаранта сорта «Франт», приготовленного с помощью ферментации. Впервые установлено содержание ценных биохимических веществ в чайном напитке из амаранта — аскорбиновой кислоты, хлорофиллов, каротиноидов и лютеина, являющихся сильными антиоксидантами, необходимыми для здоровья человека. Определено содержание хлорофиллов (540,14–567,65 мг/100 г), каротиноидов (116,62–127,64 мг/100 г), амарантина (44,61–54,18 мг/100 г). В процессе ферментации происходило достоверное увеличение аскорбиновой кислоты, лютеина и общей кислотности. Анализ содержания низкомолекулярных компонентов углеводного профиля показал достоверное снижение сахарозы, рафинозы и моносахарида альтрозы, а также увеличение глюкозы и рибозы. В составе кислот определено 28 соединений, среди которых преобладают неорганическая фосфорная кислота и органические кислоты: янтарная и глицериновая. Установлено, что в процессе ферментации, сопровождающемся повышением общей кислотности, снижается содержание углеводов, что способствует уменьшению сладости вкуса чая. Выявлены факторы, сопряженные с антиоксидантной активностью амарантового чая. Пользу чайного продукта из амаранта подтверждает высокое содержание кверцетина, феруловой и эллаговой кислот. Выявленные корреляции имеют теоретическую и практическую значимость для понимания процессов, происходящих при ферментации листьев амаранта.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена по теме НИР FGEM-2022-0003 «Мировые ресурсы овощных и бахчевых культур коллекции ВИР: эффективные пути раскрытия эколого-генетических закономерностей формирования разнообразия и использования селекционного потенциала».

Received 10.02.2025

Accepted in revised 09.06.2025

Accepted for publication 11.06.2025

© Sokolova D. V., Solovyeva A. E., 2025

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF TEA FROM AMARANTH LEAVES (*AMARANTHUS CRUENTUS* L.) OF THE 'FRANT' VARIETY

Diana V. Sokolova*, Alla E. Solovyeva

N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

KEY WORDS:

amaranth, biochemical
composition,
antioxidant activity,
ascorbic acid, lutein,
carbohydrates

ABSTRACT

Tea and various tea beverages have always been popular products rich in antioxidants. Amaranth is considered a “super product” due to the content of high-quality gluten-free protein, unsaturated fatty acids, vitamins and minerals. The leaves of the red-colored varieties of *Amaranthus cruentus* L., rich in amaranthine, are an excellent raw material for the production of tea beverages. The purpose of this study was comparative investigation of the biochemical composition and antioxidant activity of tea from amaranth leaves of the 'Frant' variety prepared both with and without fermentation. For the first time, the content of valuable biochemical substances in a tea drink made from amaranth has been established: ascorbic acid, chlorophylls, carotenoids and lutein, which are strong antioxidants and necessary for human health. The composition of tea has a high content of chlorophylls (540.14–567.65 mg/100g), carotenoids (116.62–127.64 mg/100g), and amaranthine (44.61–54.18 mg/100g). During fermentation, there was a significant increase in ascorbic acid, lutein and total acidity. Analysis of the content of low-molecular-weight components of the carbohydrate profile showed a significant decrease of sucrose, raffinose and monosaccharide altrose and an increase in glucose and ribose. The composition of the acids included 28 compounds with a predominance of inorganic phosphoric acid and organic acids: succinic and glyceric. It has been established that during the fermentation process accompanied by an increase in total acidity, the carbohydrate content decreases, which leads to a decrease in the sweet taste of tea. Factors associated with the antioxidant activity of amaranth tea were identified. The benefit of amaranth tea is confirmed by the significant presence of quercetin, ferulic and ellagic acids. The identified correlations are of theoretical and practical importance for understanding the processes occurring during the fermentation of amaranth leaves.

FUNDING: The study was carried out within the framework of the research work FGEM-2022-0003 “World resources of vegetable and melon crops of the VIR collection: effective ways to identify ecological and genetic patterns of diversity formation and use of breeding potential”.

1. Введение

Среди научного сообщества возрастает интерес к лечебно-профилактическим средствам растительного происхождения, что объясняется широким спектром их биологической активности и без-

вредностью. Относительно новая для сельского хозяйства в РФ культура амаранта (*Amaranthus* L.) представляет особый интерес в связи с содержанием полноценного белка в семенах и листовой биомассе, а также благодаря уникальному аминокислотному составу.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Соколова, Д. В., Соловьева, А. Е. (2025). Биохимическая характеристика чая из листьев амаранта (*Amaranthus cruentus* L.) сорта «Франт». *Пищевые системы*, 8(2), 260–266. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-2-260-266>

FOR CITATION: Sokolova, D. V., Solovyeva, A. E. (2025). Biochemical characteristics of tea from amaranth leaves (*Amaranthus cruentus* L.) of the 'Frant' variety. *Food Systems*, 8(2), 260–266. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-2-260-266>

ву [1,2]. Высокая пищевая ценность обусловлена сбалансированным содержанием белков, жиров и углеводов, микроэлементов и минералов, таких как бета-каротин, железо, кальций, витамин С, фолиевая кислота и др. [3,4]. По способу использования культивируемые виды амаранта подразделяют на пищевые (овощные и зерновые) и кормовые. Также известно применение культуры в медицине, в ландшафтном озеленении [5,6]. Упоминается новаторский метод создания строительных панелей из стеблей амаранта [7]. Менее известно изготовление чая из листьев амаранта. Богатые амарантином листья красноокрашенных сортов *Amaranthus cruentus* L. являются прекрасным сырьем для производства чайных напитков, обладающих терапевтическим и профилактическим эффектом.

Содержащийся в амаранте пигмент бордового цвета амарантин относится к группе беталаинов — водорастворимых, азотсодержащих тирозин-производных пигментов, характерных для растений только одного порядка *Caryophyllales*, который никогда не идентифицируется в одном растении с антоцианами [8]. Беталаины присутствуют главным образом в таких продуктах, как свекла, амарант, плоды опунции. Многочисленными медицинскими исследованиями подтверждено их положительное влияние на здоровье человека [9]. Авторами отмечены противовоспалительные, антиканцерогенные и антиоксидантные свойства [10,11]. Благодаря содержанию в листьях красноокрашенных сортов амаранта амарантина и богатому биохимическому составу, чай из листьев этой культуры оказывает благотворное влияние на здоровье населения.

Чай и различные чайные сборы всегда являлись популярными среди населения в РФ продуктами, богатыми антиоксидантами. Хотя целебные свойства чая из чайного куста (*Camellia sinensis* L.) известны с глубокой древности, исследование биохимических характеристик появляющегося нового продукта из листьев амаранта имеет теоретическую и практическую значимость. Традиционно производители чая фиксируют изменения в цвете и аромате чая с помощью субъективных и эмпирических методов. Оценка вкуса чая человеком в значительной степени зависит от личных предпочтений. Содержание качественных компонентов, определяемых биохимическим анализом, является более точным и показательным [12,13].

Известно, что производство ферментированного чая проходит за счет собственных ферментов сырья и микробной метаболической активности. Этот процесс считается ключевым методом, ответственным за различные биохимические изменения и приводящим к улучшению сенсорных свойств чая [14]. В последние годы появилось большое количество подтверждений того, что во время ферментации чая происходит ряд биотрансформаций, таких как деградация, окисление, полимеризация, конденсация и структурные модификации [15,16]. Ферментация является ключевым процессом при приготовлении черного чая и улуна из чайного куста (*Camellia sinensis* L.). В процессе ферментации присутствующие в листьях энзимы вступают в контакт с атмосферным кислородом. Умеренная ферментация способствует серии биохимических реакций, связанных с окислением полифенолазы, что может повлиять на содержание некоторых биохимических компонентов и сформировать уникальный вкус чая. Конечным результатом процесса является улучшение вкусовых,

ароматических и цветовых характеристик. Чай из листьев амаранта *A. cruentus* L. с бордовой окраской листа — новый продукт, набирающий популярность в России (Рисунок 1). Однако его биохимические характеристики, в отличие от чайного куста, ранее не изучались.

В связи с этим целью настоящей работы являлось сравнительное изучение биохимического состава и антиоксидантной активности чая из листьев амаранта, приготовленного как с помощью ферментации, так и без. Данное исследование освещает вопрос содержания и различия между ферментированным и неферментированным чаем из амаранта по наиболее ценным биохимическим компонентам.

2. Материалы и методы

Растения амаранта сорта «Франт» [17] были выращены в 2023 году в открытом грунте в условиях Пушкинских и Павловских лабораторий Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР) (lat 59°7'11.275" N, long 30°43'03.2647" E; г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, РФ). Приготовление ферментированного чая выполнено по методу, описанному в Патенте на изобретение № 2793627 «Способ производства ферментированного чая из красноокрашенных сортов амаранта» [18].

Биохимические исследования выполнены в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР по методике под редакцией А. И. Ермакова [19]. Содержание аскорбиновой кислоты определено прямым извлечением из растений (1% HCl) с последующим титрованием с помощью реактива Тильманса (2,6-дихлориндофинол). Сахара определяли методом Бертрана; общую кислотность — титрованием экстракта 0,1 н щелочью, с пересчетом на яблочную кислоту. Пигменты каротиноиды и хлорофиллы экстрагировали 100% ацетоном. Абсорбцию измеряли при различных длинах волн (нм): 645, 662 для хлорофиллов *a* и *b*, 440 для каротиноидов, 454 для каротинов, 454 для β-каротина, 447 для лютеина, 440 для виолксантина и 443 для ксантофилла. Содержание беталаинов определяли спектрофотометрически на спектрофотометре Ultrospec II (LKB Vertriebs GmbH, Австрия). Сухие листья амаранта подвергали экстракции 2%-ным раствором муравьиной кислоты до обесцвечивания исходного материала, фильтровали через бумажный фильтр и собирали в мерную колбу, записывали полученный объем. Оптическую плотность полученных экстрактов измеряли при $\lambda = 535$ нм для бетацианинов (амарантин) и при $\lambda = 469$ нм для бетаксантинов (вульгаксантин) [20]. Содержание фенольных соединений устанавливали спектрофотометрически с использованием реактива Фолина-Чокалтеу на спиртовых экстрактах (70% этанол, 80 °C, 1 час) [21]. Стандартом служила галловая кислота. Результаты выражали в мг-экв галловой кислоты/г (мг-экв ГК/г). Содержание флавоноидов определяли по величине поглощения комплекса флавоноидов при 415 нм с хлористым алюминием на спиртовых экстрактах, результаты выражали в процентах. Для оценки антиоксидантной активности использовался метод колориметрии свободных радикалов, основанный на реакции DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил), растворенного в этаноле, с образцом антиоксиданта. Результат выражали в эквивалентах аскорбиновой кислоты (мкг-экв АК/100г) [22].



Рисунок 1. Амарант *Amaranthus cruentus* L. сорта «Франт». Молодые растения (слева), взрослые цветущие растения (справа) (фото авторов)

Figure 1. Amaranth *Amaranthus cruentus* L. cultivar 'Frant'. Young plants (left), adult flowering plants (right) (photo by the authors)

Метаболитный профиль идентифицировали с использованием газо-жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией на хроматографе Agilent 6850 (США) согласно Лоскутову и др. [23]. Не менее 40 мг измельченного образца смешивали с метанолом в соотношении 1:10 (w: v), пробу настаивали не менее 30 суток при температуре 5–6 °С. Далее 100 мкл экстракта высушивали на установке CentriVar Concentrator (Labconco, США). В качестве внутреннего стандарта в пробу добавляли 50 мкл раствора трикозана в пиридине в концентрации 1 мкг/мкл и силилировали с помощью бис(триметилсилил) трифторацетамида 40 минут при температуре 100 °С. Разделение пробы объемом 1,2 мкл проводили с помощью капиллярной колонки HP-5MS (5 % фенил 95 % метилполисилоксан, 30,0 м, 250,00 мкм, 0,25 мкм) на газовом хроматографе с квадрупольным масс-селективным детектором Agilent 5975B VL MSD (Agilent Technology, США). Соединения идентифицировали по их масс-спектру и индексу удерживания с применением программы Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System (AMDIS, National Institute of Standards and Technology, США). Масс-спектр считали определенным при совпадении с библиотечным вариантом при индексе соответствия не менее 80. Использовали библиотеки NIST2010 (National Institute of Standards and Technology, США), а также коллекции масс-спектров стандартных соединений Санкт-Петербургского университета и Ботанического института РАН. Результаты обрабатывали с использованием программ UniChrom (ООО «Новые Аналитические Системы», Беларусь), AMDIS и библиотеки масс-спектров NIST 2010 научно-исследовательского парка Санкт-Петербургского университета и ботанического института Российской академии наук им. В. Л. Комарова [24,25]. Индексы удерживания определяли с использованием калибровки по стандартным предельным углеводородам. Количественная интерпретация метаболитного профиля выполнена по площадям пиков полного ионного тока методом внутреннего стандарта без учета коэффициентов чувствительности. Данные приведены в пересчете на сухое вещество.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ MS Excel 2007, Statistica 10.0 и в программном обеспечении R (версия R-4.2.1), пакеты 'metan'. Для всех параметров рассчитывались описательные статистики (среднее, стандартная ошибка среднего, коэффициент вариации). Оценку изменчивости структуры связей между признаками анализировали с помощью факторного анализа методом главных компонент. Значения коэффициента корреляции Пирсона при $r < 0,3$ считались слабыми, $0,3 > r > 0,5$ — умеренными, $0,5 > r > 0,7$ — заметными, $0,7 > r > 0,9$ — сильными, $r > 0,9$ — очень сильными.

3. Результаты и обсуждение

По субъективной оценке, были отмечены изменения в цвете и аромате ферментированного чая из амаранта (Рисунок 2 А, В, С). В варианте с ферментацией листа напиток характеризовался более



Рисунок 2. Высушенный лист амаранта (А), высушенный ферментированный лист амаранта (В), заваренный горячей водой в течение 5 минут чай из амаранта (С), залитый холодной водой в течение 2 минут чай из амаранта (D)
Figure 2. Dried amaranth leaf (A), dried fermented amaranth leaf (B), amaranth tea brewed in hot water for 5 minutes (C), amaranth tea brewed in cold water for 2 minutes (D)

насыщенным бордовым цветом и терпким приятным вкусом. Также отмечена высокая скорость заваривания (1–2 минуты) и возможность использовать холодную воду для получения летнего освежающего напитка, что является значительным преимуществом (Рисунок 2 D). Чай из высушенного неферментированного листа отличался «травяным» привкусом и менее насыщенным бордовым цветом, для заваривания необходимо 10–15 минут.

Количественный и качественный состав компонентов, определяемых биохимическими параметрами, — объективный показатель, отражающий различия или сходство между вариантами опыта. По большинству параметров биохимических показателей сушеного и ферментированного листа амаранта достоверных различий не выявлено (Таблица 1). В целом, отмечено высокое содержание хлорофиллов (540,14–567,65 мг/100 г), каротиноидов (116,62–127,64 мг/100 г), амарантина (44,61–54,18 мг/100 г). Существенные различия ($p < 0,05$) между вариантами опыта выявлены по содержанию сухого вещества, аскорбиновой кислоты, суммы сахаров, моносахаров, титруемой кислотности, α -каротина и лютеина. Количество витамина С после ферментации возросло на 46,7%, сумма сахаров снизилась на 53,3%, кислотность поднялась на 80,7%, содержание лютеина увеличилось в 2 раза.

Таблица 1. Сравнительная характеристика биохимических показателей сушеного листа амаранта с ферментированным
Table 1. Comparative characteristics of the biochemical parameters of dried amaranth leaf and fermented one

Биохимические показатели	Сушеный лист		Ферментированный лист		p (0,05)
	Mean	SD	Mean	SD	
Сухое вещество, %	92,47	0,15	93,47	0,29	0,006*
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	71,25	0,01	104,50	12,10	0,009*
Моносахара, %	3,16	0,06	1,74	0,65	0,02*
Сахароза, %	1,08	0,58	0,23	0,21	0,07
Сумма сахаров, %	4,24	0,54	1,98	0,54	0,007*
Титруемая кислотность, %	2,13	0,22	3,85	0,75	0,02*
Хлорофилл ^а , мг/100 г	405,64	194,95	423,71	34,20	0,88
Хлорофилл ^б , мг/100 г	162,01	42,78	116,43	10,77	0,15
Хлорофиллы, мг/100 г	567,65	192,71	540,14	24,63	0,82
Каротиноиды, мг/100 г	127,64	31,88	116,62	9,20	0,59
α -каротин, мг/100 г	17,33	4,67	8,19	2,95	0,04*
β -каротин, мг/100 г	25,66	5,86	23,07	1,04	0,49
Лютеин, мг/100 г	12,12	1,72	24,37	0,07	0,002*
Виолоксантин, мг/100 г	43,14	10,33	31,82	2,73	0,14
Ксантофиллы, мг/100 г	31,61	9,07	32,84	1,91	0,83
Амарантин, мг/100 г	54,18	21,43	44,61	3,29	0,49
Вульгаксантин, мг/100 г	9,82	1,53	7,71	0,70	0,10
Фенольные соединения, мг-экв ГК/100 г	8,20	1,25	8,95	0,64	0,40
Флавоноиды, %	0,36	0,11	0,30	0,05	0,46
АОА ^а , мкг-экв АК/100 г	410,99	87,05	401,00	29,63	0,86
ДРР ^б , %	65,47	13,78	64,56	4,54	0,92

Примечание: *различия существенны ($p < 0,05$), ^а антиоксидантная активность; ^б антирадикальная активность.

* the differences are significant ($p < 0.05$), ^a antioxidant activity; ^b antiradical activity.

Аскорбиновая кислота (АК) является важным показателем, поскольку это соединение является активным антиоксидантом. В процессе 12-часовой ферментации происходило ее достоверное увеличение с 71,2 до 104,5 мг/100 г. Синтез АК изучен достаточно хорошо на примере вегетирующих растений и плодов после уборки [26,27]. Описаны возможные альтернативные пути биосинтеза [28]. Наиболее коротким является D-галактуриновый путь, при котором начальными субстратами служат продукты разрушения полисахаридов клеточной стенки [29]. В нашем исследовании, согласно методике приготовления ферментированного чая из амаранта, на первом этапе листья подвергаются заморозке, что приводит к разрыву клеточных стенок. Предполагаем, что высвободившаяся сахароза подвергается гидролизу во время ферментации. Продукты ее распада включаются в синтез АК и органических кислот, что приводит к их повышению в конечном продукте и к снижению содержания сахаров. Данные корреляционного анализа подтверждают наши

предположения: выявлена сильная отрицательная корреляция АК с сахарами ($r = -0,82, p < 0,05$) и положительная с сухим веществом ($r = 0,95, p < 0,01$) и лютеином ($r = 0,91, p < 0,05$) (Рисунок 3). Примечательно, что в черном и зеленом чае из чайного куста зафиксированы близкие значения АК [30].

Сумма сахаров после ферментирования листа амаранта снизилась на 53,3% и в среднем составила 1,98%. Нужно отметить, что у классического черного чая этот показатель варьирует от 0,5 до 1,5% [31], у зеленого чая может достигать 5,13% [32]. Среди низкомолекулярных компонентов углеводного профиля выявлено достоверное снижение содержания дисахаров (сахарозы и рафинозы) и моносахарида альтрозы, а также увеличение глюкозы и рибозы (Таблица 2). Различия между метаболитами углеводного профиля были подтверждены результатами анализа главных компонент (PCA), которые объясняли 56,2% и 26,2% от общей дисперсии соответственно (Рисунок 4). Таким образом, можно сделать вывод об уменьшении сладости вкуса чая из амаранта после ферментации. Аналогичные результаты были показаны в работе китайских исследователей, которые анализировали ферментированный чайный лист *Ginkgo biloba* L. и также отметили снижение уровня сахаров [33].

Среди органических кислот в чае из амаранта было идентифицировано 28 соединений, (Рисунок 5) преобладали неорганическая фосфорная (20–22%) и органические янтарная (11–17%) и глицириновая (10–23%) кислоты. Достоверные различия между вариантами опыта были установлены для феруловой, галловой, ванилиновой, глицериновой и янтарной кислот. После ферментации глицериновая кислота повысилась на 107,3%, феруловая — на 134,4%; янтарная, ванилиновая и галловая кислоты снизились на 42,7%, 45,8 и 34,2% соответственно. В работе отечественных исследователей при анализе метаболитов в вегетирующих листьях амаранта вида *Amaranthus tricolor* L. было обнаружено 22 органические кислоты [34]. Отличия

Таблица 2. Углеводный профиль сушеного и ферментированного листа амаранта (мг/100 г)
Table 2. Carbohydrate profile of dried and fermented amaranth leaves (mg/100 g)

Биохимические показатели	Сушеный лист		Ферментиро- ванный лист		<i>p</i> (0,05)	НСР ₀₅
	Mean	SD	Mean	SD		
Моносахара						
Ribose	15,55 ^a	1,85	36,09 ^b	1,24	0,001	4,10
Arabinose	27,36	10,17	27,25	7,22	0,98	15,33
Lyxose	2,49	1,17	3,20	0,81	0,43	2,61
Rhamnose	24,15	2,26	29,35	2,95	0,07	6,79
Fructose	704,08	143,12	539,81	17,75	0,10	103,07
Sorbose	77,14	53,41	88,34	12,85	0,36	29,30
Galactose	142,01	43,45	287,39	133,75	0,24	284,65
Rutinose	36,91	13,23	23,07	7,41	0,09	15,8
Mannose	155,47	314,66	290,97	146,17	0,30	310,27
Altrose	275,56 ^a	139,34	131,39 ^b	8,51	0,001	34,11
Xylose	33,00	18,13	32,46	12,99	0,96	27,77
Glucose	403,30 ^a	374,95	506,20 ^b	41,18	0,04	87,42
Дисахара						
Sucrose	983,83 ^a	199,90	78,49 ^b	20,15	0,001	369,32
Maltose	1,67	0,44	1,46	0,56	0,65	1,31
Raffinose	51,14 ^a	13,73	5,53 ^b	1,23	0,004	25,32

Примечание: ^{ab} различные буквы в одной строке означают, что данные различаются существенно ($p < 0,05$).

^{ab} ab different letters in one line mean that the data differ significantly ($p < 0.05$).

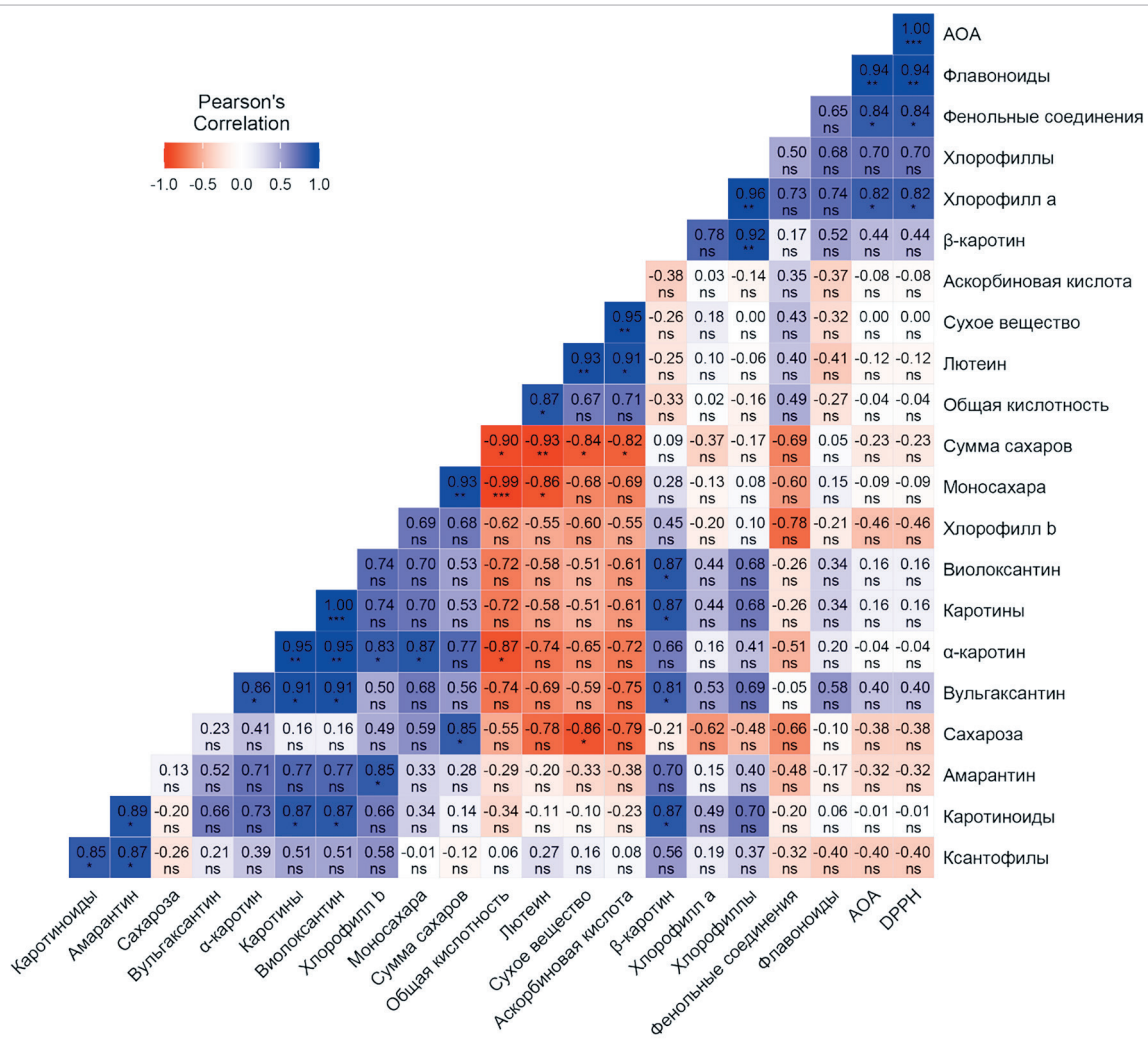
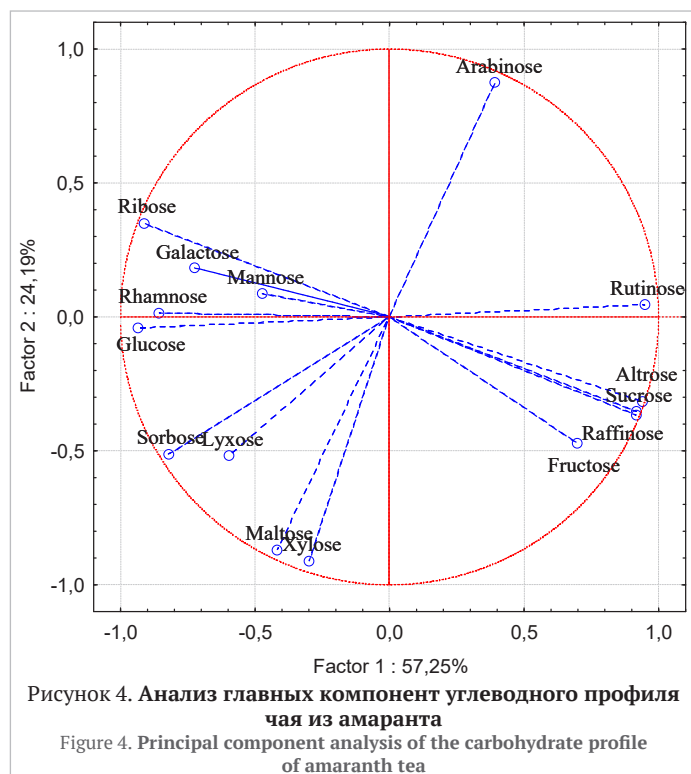


Рисунок 3. Корреляционная матрица биохимических показателей и антиоксидантной активности сушеного и ферментированного листа амаранта

Figure 3. Correlation matrix of biochemical indicators and antioxidant activity of dried and fermented amaranth leaves



в составе некоторых компонентов, вероятно, обусловлены видовыми особенностями данной культуры.

Максимальный рост зафиксирован для фенольного соединения — феруловой кислоты, содержание которой в ферментированном чае увеличилось в 2,3 раза (до 21,61 мг/100 г). В исследованиях Гинс с соавторами [4] в свежесушенном листе овощного амаранта *Amaranthus tricolor* L. также была идентифицирована феруловая кислота на уровне 0,01 мкг/100 мл. Известно, что эта кислота является сильным антиоксидантом и обладает рядом терапевтических свойств: противовоспалительным, антидиабетическим, антиканцерогенным, гепатопротекторным, антиатеросклеротическим [35–38]. Таким образом, ферментированный чай из амаранта является источником ценной для здоровья человека феруловой кислоты.

Отличительной чертой чая из амаранта является высокое содержание лутеина (12,12–24,37 мг/100 г), что соответствует или превышает концентрацию этого вещества в шпинате, традиционно признанном одним из лидеров по содержанию лутеина [39]. Наибольшее количество данного вещества содержит листовая капуста — 39,55 мг/100 г. Лутеин ($C_{40}H_{56}O_2$) является кислородосодержащим пигментом класса каротиноидов и широко встречается в овощах, фруктах, цветах и других растениях. Он содержится в макуле сетчатки глаза и не синтезируется в организме человека [40]. Поэтому потребление продуктов питания, включающих лутеин, крайне важно для предотвращения различных дистрофических заболеваний глаз [41,42]. В ряде исследований установлено, что прекурсором в биосинтезе лутеина является α -каротин [43,44]. Предполагаем, что достоверное снижение количества α -каротина в ферментированном чае и повышение содержания лутеина могут иметь косвенную связь (Таблица 1).

Известно, что биодоступность лутеина повышается при размельчении сырья [45]. Методика приготовления ферментированного чая из амаранта предусматривает замораживание листьев и последующую его нарезку, что способствует высвобождению содержимого клеток и большей биодоступности лутеина, который не деградирует при низких температурах, что отмечалось ранее [46]. Китайские исследователи изучали лутеин, выделенный из водоросли *Chlorella protothecoides*, и установили уменьшение его содержания при нагревании [47]. Таким образом, благодаря высокому содержанию и сохранности лутеина, холодный ферментированный напиток из амаранта обладает большей пользой для здоровья. Корреляционный анализ (Рисунок 3) показал сильную положительную взаимосвязь лутеина с общей кислотностью ($r = 0,87, p < 0,05$), АК ($r = 0,91, p < 0,05$) и отрицательную — с сахарами ($r = -0,93, p < 0,01$).

Антиоксидантная активность (АОА) чая по вариантам опыта не имела существенных различий и в среднем составила 405,99 мкг экв АК/100 г. Отмечена сильная положительная взаимосвязь АОА с суммой фенольных соединений ($r = 0,84, p < 0,05$), с хлорофиллом а ($r = 0,82, p < 0,05$) и с суммой флавоноидов ($r = 0,94, p < 0,01$) (Рисунок 3). Wojciechowski с соавторами [48] в опытах с экстрактами зеленого и черного чая также отмечали сильную корреляцию АОА с фенольными веществами. Из 13 идентифицированных нами фенольных соединений наибольшую долю составили шикимовая (36,0%) и эллаговая (19,8%) кислоты. Среди флавоноидов преобладал кверцетин (117,04 мг/100 г). Установлено, что эллаговая кислота и кверцетин обладают подтвержденным противовоспалительным, кардиопротекторным, гипотензивным эффектом, способствуют повышению жизнеспособности нейронов и смягчают повреждения при

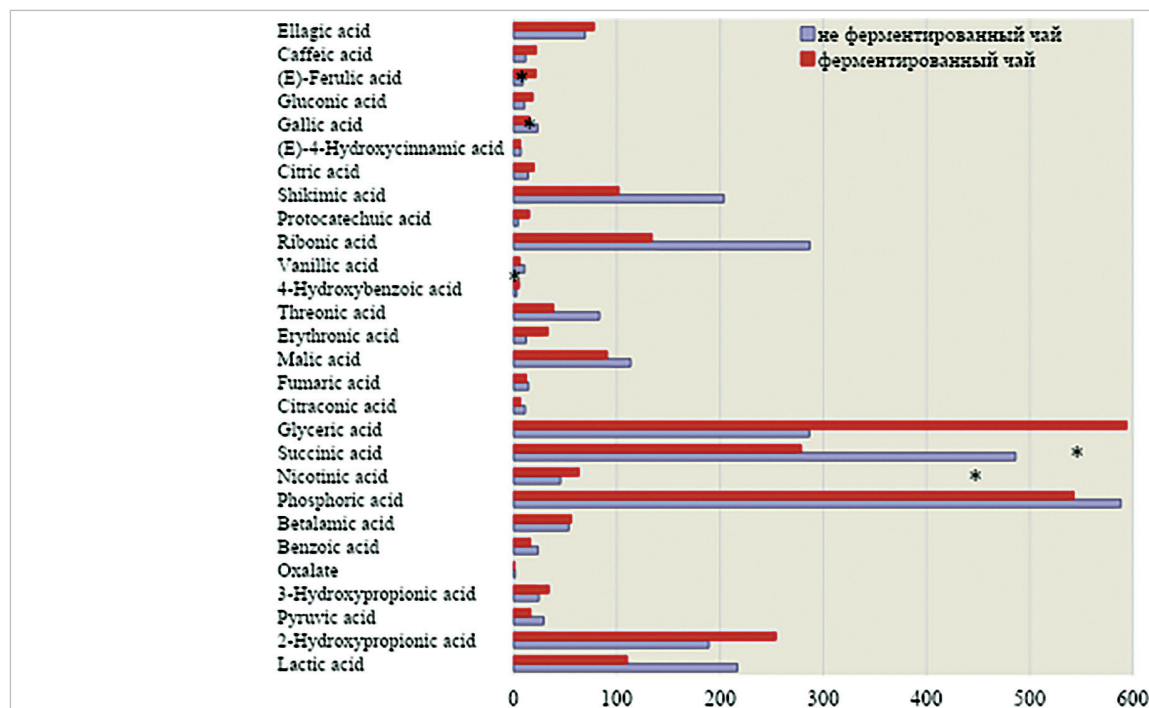


Рисунок 5. Идентифицированные органические кислоты в опытных вариантах чая из амаранта (мг/100г).
Figure 5. Identified organic acids of experimental variants of amaranth tea (mg/100g)

нейродегенеративных заболеваниях, таких как болезнь Альцгеймера и Паркинсона [49, 50]. Вышесказанное подтверждает выраженное оздоравливающее действие чая из амаранта.

4. Выводы

Проведен сравнительный анализ содержания биохимических веществ и антиоксидантных свойств чайного сырья из амаранта, относительно недавно введенного в сельское хозяйство России. Показано высокое содержание таких ценных для здоровья человека компонентов, как аскорбиновая кислота, хлорофиллы, каротиноиды и лютеин. Среди кислот идентифицировано 28 соединений с преобладанием фосфорной, янтарной и глицериновой кислот. Установле-

но, что на фоне повышения общей кислотности в процессе ферментации уменьшается содержание сахарозы, рафинозы и альтрозы, что приводит к уменьшению сладости вкуса чая. Отмечено достоверное повышение таких ценных веществ, как аскорбиновая кислота и лютеин, являющихся сильными антиоксидантами и благотворно влияющими на здоровье человека. Высокая антиоксидантная активность чая из амаранта была сопряжена с фенольными элементами, хлорофиллом *a* и флавоноидами. Значительное присутствие эллаговой кислоты и кверцетина также свидетельствует о пользе чайного продукта из амаранта. Выявленные корреляции имеют теоретическую и практическую значимость для понимания процессов, происходящих при ферментации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Sokolova, D., Zvereva, O., Shelenga, T., Solovieva, A. (2021). Comparative characteristics of the amino acid composition in amaranth accessions from the VIR collection. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(1), 68–78. <https://doi.org/10.3906/tar-2007-7>
- Joshi, D. C., Sood, S., Hosahatti, R., Kant, L., Pattanayak, A., Kumar, A. et al. (2018). From zero to hero: The past, present and future of grain amaranth breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 131(9), 1807–1823. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3138-y>
- Gelaye, Y. (2023). A review of amaranth crop as a potential solution to Ethiopia's nutritional crisis. *Nutrition and Dietary Supplements*, 15, 101–110. <https://doi.org/10.2147/nds.s428058>
- Ruth, O. N., Unathi, K., Nomali, N., Chinsamy, M. (2021). Underutilization versus nutritional-nutraceutical potential of the amaranthus food plant: A mini-review. *Applied Sciences*, 11(15), Article 6879. <https://doi.org/10.3390/app11156879>
- Baraniak, J., Kania-Dobrowolska, M. (2022). The dual nature of amaranth — functional food and potential medicine. *Foods*, 11(4), Article 618. <https://doi.org/10.3390/foods11040618>
- Herrera, A. C., Zamudio, F. V., Campos, M. R. S. (2024). Therapeutic effects of amaranth: Analysis of the antidiabetic potential of the plant. *Journal of Medicinal Food*, 27(4), 279–286. <https://doi.org/10.1089/jmf.2022.0159>
- Evon, P., de Langalerie, G., Labonne, L., Merah, O., Talou, T., Ballas, S. et al. (2021). Low-density insulation blocks and hardboards from amaranth (*Amaranthus cruentus*) stems, a new perspective for building applications. *Coatings*, 11, Article 349. <https://doi.org/10.3390/coatings11030349>
- Gins, M. S., Gins, V. K., Kononkov, P. F., Udalova, Zh. V., Zinov'eva, S. V. (2020). The effect of amaranthine on the stress-resistance of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) invaded by the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Sel'skokhozyaystvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 55(1), 97–106. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.1.97eng>
- Bastos, E. L., Schliemann, W. (2022). Betalains as Antioxidants. Chapter in a book: *Plant Antioxidants and Health*. Reference Series in Phytochemistry. Springer, 2022. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-78160-6>
- Ninfali, P., Antonini, E., Frati, A., Scarpa, E. S. (2017). C-Glycosyl flavonoids from *Beta vulgaris Cicla* and betalains from *Beta vulgaris rubra*: Antioxidant, anti-cancer and anti-inflammatory activities — A review. *Phytotherapy Research*, 31, 871–884. <https://doi.org/10.1002/ptr.5819>
- Rajabian, F., Rajabian, A., Tayarani-Najaran, Z. (2023). The Antioxidant activity of betanin protects MRC-5 cells against cadmium induced toxicity. *Biological Trace Element Research*, 201(11), 5183–5191. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03662-8>
- Zhang, M., Zhou, C., Zhang, C., Xu, K., Lu, L., Huang, L. et al. (2023). Analysis of characteristics in the macro-composition and volatile compounds of understory Xiaobai white tea. *Plants*, 12(24), Article 4102. <https://doi.org/10.3390/plants12244102>
- Khan, R. M., Islam, A., Uddin, R., Kalam, A., Baishakh, N. N., Barua, P. et al. (2023). Biochemical investigation of Bangladeshi black tea and their correlation to organoleptic quality evaluation. *Heliyon*, 9(6), Article e16802. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16802>
- Jolvis Pou, K. R. (2016). Fermentation: The key step in the processing of black tea. *Journal of Biosystems Engineering*, 41(2), 85–92. <https://doi.org/10.5307/jbe.2016.41.2.085>
- Wong, M., Sirisena, S., Ng, K. (2022). Phytochemical profile of differently processed tea: A review. *Journal of Food Science*, 87(5), 1925–1942. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16137>
- Assad, M., Ashaolu, T. J., Khalifa, I., Baky, M. H., Farag, M. A. (2023). Dissecting the role of microorganisms in tea production of different fermentation levels: A multifaceted review of their action mechanisms, quality attributes and future perspectives. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39, Article 265. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03701-5>
- Патент № 11940. Амарант метельчатый (*Amaranthus cruentus* L.) «Франт» / Соколова Д. В. Опубл. 25.01.2022. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию. [Sokolova D. V. Purple amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) 'Frant'. Patent RF, no. 11940, 2022. State Register of Varieties and Hybrids of Agricultural Plants Admitted for Usage. (In Russian)]
- Патент № 2793627 Способ производства ферментированного чая из краснокрашенных сортов амаранта / Соколова Д. В. Опубл. 04.04.2023. Бюлл. № 10. [Sokolova D. V. method for producing fermented tea from red-coloured amaranth varieties. Patent RF, no. 12793627, 2022. (In Russian)]
- Ермаков, А. И. (1987). Методы биохимического исследования растений. Ленинград: Агропромиздат, 1987. [Ermakov, A. I. (1987). Biochemical research methods of plants. Leningrad: Agropromizdat, 1987. (In Russian)]
- Саенко, И. И., Тарасенко, О. В., Дейнека, В. И., Дейнека, Л. А. (2012). Бетаанины корнеплодов красной столовой свеклы. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: естественные науки*, 3(122), 194–200. [Saenko, I. I., Tarasenko, O. V., Deineka, V. I., Deineka, L. A. (2012). Betacyanins of roots of red beetroot. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences*, 3(122), 194–200. (In Russian)]
- Голубкина, Н. А., Кекина, Е. Г., Молчанова, А. В., Антошкина, М. С., Надежкин, С. М., Солдатенко, А. В. (2023). Антиоксиданты растений и методы их определения. Москва: ИНФРА-М, 2023. [Golubkina, N. A., Kekina, E. G., Molchanova, A. V., Antoshkina, M. S., Nadezhkin, S. M., Soldatenko, A. V. (2018). Plant antioxidants and methods of their detection. Moscow: INFRA-M, 2023. (In Russian)]
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [http://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](http://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Loskutov, I. G., Shelenga, T. V., Konarev, A. V., Vargach, Y. I., Porokhovinova, E. A., Blinova, E. V. et al. (2020). Modern approach of structuring the variety diversity of the naked and covered forms of cultural oats (*Avena sativa* L.). *Ecological Genetics*, 18(1), 27–41. <https://doi.org/10.17816/ecogen12977>
- Puzanskiy, R., Tarakhovskaya, E., Shavarda, A., Shishova, M. (2018). Metabolic and physiological changes of *Chlamydomonas reinhardtii* (Chlorophyceae, Chlorophyta) during batch culture development. *Journal of Applied Phycology*, 30(2), 803–818. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1326-9>
- Shtark, O. Y., Puzanskiy, R. K., Avdeeva, G. S., Yurkov, A. P., Smolikova, G. N., Yemelyanov, E. G. (2019). Metabolic alterations in pea leaves during arbuscular mycorrhiza development. *PeerJ*, 7, Article e7495. <https://doi.org/10.7717/peerj.7495>
- Cruz-Rus, E., Amaya, I., Sánchez-Sevilla, J. F., Botella, M. A., Valpuesta, V. (2011). Regulation of L-ascorbic acid content in strawberry fruits. *Journal of Experimental Botany*, 62(12), 4191–4201. <https://doi.org/10.1093/jxb/err122>
- Tyapkina, D. Y., Kochieva, E. Z., Slugina, M. A. (2019). Vitamin C in fleshy fruits: Biosynthesis, recycling, genes, and enzymes. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 23(3), 270–280. <https://doi.org/10.18699/vj19.492>
- Paciolla, C., Fortunato, S., Dipierro, N., Paradiso, A., De Leonardi, S., Mastropasqua, L. et al. (2019). Vitamin C in plants: From functions to biofortification. *Antioxidants*, 8(11), Article 519. <https://doi.org/10.3390/antiox8110519>
- Li, M., Chen, X., Wang, P., Ma, F. (2011). Ascorbic acid accumulation and expression of genes involved in its biosynthesis and recycling in developing apple fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 136(4), 231–238. <https://doi.org/10.21273/jashs.136.4.231>
- Platonova, N., Belous, O. (2020). Biochemical composition of tea and its changes under different factors. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(3), 404–414. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-404-414>
- Bokuchava, M. A., Skobeleva, N. I. (1969). The chemistry and biochemistry of tea and tea manufacture. *Advances in Food Research*, 17, 215–292. [https://doi.org/10.1016/s0065-2628\(08\)60311-0](https://doi.org/10.1016/s0065-2628(08)60311-0)
- Wang, S., Qiu, Y., Gan, R.-Y., Zhu, F. (2022). Chemical constituents and biological properties of Pu-erh tea. *Food Research International*, 154, Article 110899. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110899>
- Li, F., Boateng, I. D., Yang, X., Li, Y., Liu, W. (2023). Effects of processing methods on quality, antioxidant capacity, and cytotoxicity of Ginkgo biloba leaf tea product. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(10), 4993–5003. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12577>
- Gins, M. S., Gins, V. K., Motyleva, S. M., Kulikov, I. M., Medvedev, S. M., Piovarov, V. F. (2020). The metabolites of autotrophic and heterotrophic leaves of *Amaranthus tricolor* L. early splendor variety. *Agricultural Biology*, 55(5), 920–931. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.5.920eng>
- Feng, N., You, J., Xu, R., Chen, L., Wang, D., Li, L. et al. (2024). Ferulic acid reduces gut redox potential and alleviates chronic Mg-induced diarrhea by modulating gut microbiota and metabolites. *Animal Advances*, 1, Article e004. <https://doi.org/10.48130/animadv-0024-0004>
- Matowane, G. R., Ramorobi, L. M., Mashele, S. S., Bonnet, S. L., Norelalele, A. E. M., Swain, S. S. et al. (2022). Complexation potentiated promising anti-diabetic and anti-oxidative synergism between Zn(II) and ferulic acid: A multimode study. *Diabetic Medicine*, 39(9), Article e14905. <https://doi.org/10.1111/dme.14905>
- Bakholdina, L. A., Sevodin, V. P., Markova, A. A., Khlebnikov, A. I. (2019). Cytotoxicity of new ferulic-acid derivatives on human colon carcinoma (HCT116) cells. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 53(6), 516–520. <https://doi.org/10.1007/s11094-019-02030-y>
- Amić, A., Marković, Z., Marković, J. M. D., Milenković, D., Stepanić, V. (2020). Antioxidative potential of ferulic acid phenoxyl radical. *Phytochemistry*, 170, Article 112218. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.112218>
- Mrowicka, M., Mrowicki, J., Kucharska, E., Majsterek, I. (2022). Lutein and zeaxanthin and their roles in age-related macular degeneration — neurodegenerative disease. *Nutrients*, 14, Article 827. <https://doi.org/10.3390/nu14040827>

40. Sanlier, N., Yildiz, E., Ozler, E. (2024). An overview on the effects of some carotenoids on health: lutein and zeaxanthin. *Current Nutrition Reports*, 13(4), 828–844. <https://doi.org/10.1007/s13668-024-00579-z>

41. Manayi, A., Abdollahi, M., Raman, T., Nabavi, S. F., Habtemariam, S., Daglia, M. et al. (2015). Lutein and cataract: From bench to bedside. *Critical Reviews in Biotechnology*, 36(5), 829–839. <https://doi.org/10.3109/07388551.2015.1049510>

42. Sawa, M., Shunto, T., Nishiyama, I., Yokoyama, A., Shigeta, R., Miura, S. et al. (2020). Effects of Lutein Supplementation in Japanese patients with unilateral age-related macular degeneration: The Sakai lutein study. *Scientific Reports*, 10(1), Article 5958. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62483-0>

43. Niu, G., Guo, Q., Wang, J., Zhao, S., He, Y., Liu, L. (2020). Structural basis for plant lutein biosynthesis from α -carotene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(25), 14150–14157. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001806117>

44. Nisar, N., Li, L., Lu, S., Khin, N. C., Pogson, B. J. (2015). Carotenoid metabolism in plants. *Molecular Plant*, 8(1), 68–82. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.12.007>

45. Hirdyani, H. (2017). Lutein — the less explored carotenoid. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 528–53. <https://doi.org/10.20959/wjpr20176-8671>

46. Chung, R. W. S., Leanderson, P., Gustafsson, N., Jonasson, L. (2019). Liberation of lutein from spinach: Effects of heating time, microwave-reheating and liquefaction. *Food Chemistry*, 277, 573–578. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.023>

47. Shi, X.-M., Chen, F. (1997). Stability of lutein under various storage conditions. *Food / Nahrung*, 41(1), 38–41. <https://doi.org/10.1002/food.19970410110>

48. Wojciechowski, D., Sroka, Z., Gamian, A. (2011). Investigation of antiradical potential of different kinds of teas and extracts from these teas using antiradical activity units (TAU). *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 65, 796–803. <https://doi.org/10.5604/17322693.968073>

49. Deepika, Maurya, P. K. (2022). Health benefits of quercetin in age-related diseases. *Molecules*, 27(8), Article 2498. <https://doi.org/10.3390/molecules27082498>

50. Zhu, H., Yan, Y., Jiang, Y., Meng, X. (2022). Ellagic acid and its anti-aging effects on central nervous system. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), Article 10937. <https://doi.org/10.3390/ijms231810937>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Соколова Диана Викторовна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Отдел овощных и бахчевых культур, Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР), Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44 Тел.: +7–812–312–51–61 E-mail: dianasokol@bk.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9967-7454 * автор для контактов	Diana V. Sokolova , Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Department of Genetic Resources of Vegetable and Melon Crops, N.I Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) 42, 44 B. Morskaya Str., 190031, St. Petersburg, Russia Tel.: +7–812–312–51–61 E-mail: dianasokol@bk.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9967-7454 * corresponding author
Соловьева Алла Евгеньевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Отдел биохимии и молекулярной биологии, Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова (ВИР), Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44 Тел.: +7–812–312–51–61 E-mail: alsol64@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6201-4294	Alla E. Solovyeva , Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Department of Biochemistry and Molecular Biology, N.I Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44 B. Morskaya Str., 190031, St. Petersburg, Russia Tel.: +7–812–312–51–61 E-mail: alsol64@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6201-4294
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	The authors are equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.