

Оценка антиоксидантной, антимикробной активности растительного сырья и применение в пищевой промышленности

Собхи А.А. Аль-Сухайми	¹	elsohaimys@gmail.com	 0000-0002-1657-5162
Зилолахон А. Тошева	¹	toshevaza@susu.ru	 0000-0001-8517-2888
Валерия А. Воробьева	¹	valeriavorbeva@gmail.com	 0009-0007-4854-1788
Лада Д. Коломиец	¹	kolomiets.lada22@ya.ru	 0000-0001-5760-6159
София П. Горшенина	¹	gorshenina.sofia@mail.ru	 0009-0007-0676-2355
Анастасия А. Лямина	¹	nlyamina2002@gmail.com	 0009-0009-6877-1526

¹ Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), проспект Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия

Аннотация. Актуальной темой для пищевой промышленности является продление срока годности продукции с сохранением всех её свойств. Осуществление этой цели достигается на данное время в основном с помощью синтетических консервантов. Но при этом они имеют негативное воздействие на здоровье человека, и это привело к тому, что потребители стали искать продукты с более экологичным и «чистым» составом. Натуральные консервирующие вещества могут стать решением данной проблемы, ведь даже при больших концентрациях по сравнению с синтетическими они безопасны для людей. Для их создания можно использовать отходы после производства такой продукции из растительного сырья, как соки, пюре, овощные консервы, томатной пасты. Это делает натуральные консерванты и более экономичными, и экологичными. Благодаря высокому содержанию биологически активных веществ, в особенности фенольных соединений, растительные экстракты могут проявлять антиоксидантные, антимикробные способности, продлевая срок годности продукции и замедляя рост микроорганизмов. Фенолы и флавоноиды являются вторичными метаболитами, которые содержатся во фруктах, семенах и листьях растений и обладают широким спектром полезных свойств для здоровья благодаря их защитным свойствам против окисления и роста нежелательных микроорганизмов. Так, экстракты апельсиновой корки, облепихового сока и зеленого чая показали высокую антиоксидантную и антимикробную активность. Положительный эффект и польза растительных биологически активных соединений откроют перспективы для создания полезных, недорогих и безвредных для здоровья пищевых консервантов. В будущем возможно продолжение изучения экономических и экологических выгод от использования биоактивных соединений растительного происхождения при производстве натуральных консервантов для пищевой промышленности.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, антимикробной активности, растительное сырьё, продукты переработки, фенольные соединения, натуральные консерванты.

Evaluation of the antioxidant, antimicrobial activity of plant raw materials and products of their processing

Sobhy A.A. El-Suhaimy	¹	elsohaimys@gmail.com	 0000-0002-1657-5162
Zilolakhon A. Tosheva	¹	toshevaza@susu.ru	 0000-0001-8517-2888
Valeria A. Vorobieva	¹	valeriavorbeva@gmail.com	 0009-0007-4854-1788
Lada D. Kolomiets	¹	kolomiets.lada22@ya.ru	 0000-0001-5760-6159
Sofya P. Gorshenina	¹	gorshenina.sofia@mail.ru	 0009-0007-0676-2355
Anastasia A. Lyamina	¹	nlyamina2002@gmail.com	 0009-0009-6877-1526

¹ South Ural State University (National Research University, 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russia)

Abstract. An urgent topic for the food industry is the extension of the shelf life of products while preserving all their properties. The realization of this goal is achieved at this time mainly with the help of synthetic preservatives. But at the same time, they have a negative impact on human health, and this has led consumers to look for products with a more environmentally friendly and "clean" composition. Natural preservatives can be a solution to this problem, because even at high concentrations compared to synthetic ones, they are safe for humans. To create them, waste can be used after the production of such products from vegetable raw materials as juices, mashed potatoes, canned vegetables, tomato paste. This makes natural preservatives both more economical and environmentally friendly. Due to the high content of biologically active substances, especially phenolic compounds, plant extracts can exhibit antioxidant, antimicrobial properties, prolonging the shelf life of products and slowing the growth of microorganisms. Phenols and flavonoids are secondary metabolites found in fruits, seeds and leaves of plants and have a wide range of health benefits due to their protective properties against oxidation and the growth of undesirable microorganisms. Thus, extracts of orange peel, sea buckthorn juice and green tea showed high antioxidant and antimicrobial activity. The positive effect and benefits of plant biologically active compounds will open up prospects for the creation of useful, inexpensive and harmless food preservatives. In the future, it is possible to continue studying the economic and environmental benefits of using bioactive compounds of plant origin in the production of natural preservatives for the food industry.

Keywords: antioxidant activity, antimicrobial activity, vegetable raw materials, processed products, phenolic compounds, natural preservatives.

Для цитирования

Аль-Сухайми С.А., Тошева З.А., Воробьева В.А., Коломиец Л.Д., Горшенина С.П., Лямина А.А. Оценка антиоксидантной, антимикробной активности растительного сырья и применение в пищевой промышленности // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 3. С. 78–86. doi:10.20914/2310-1202-2025-3-78-86

For citation

Al-Suhaimi S.A., Tosheva Z.A., Vorobyova V.A., Kolomiets L.D., Gorshenina S.P., Lyamina A.A. Evaluation of the antioxidant, antimicrobial activity of plant raw materials and products of their processing. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 3. pp. 78–86. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-3-78-86

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

На сегодняшний день в пищевой промышленности активно используют пищевые добавки для улучшения разных характеристик продукта, таких как текстура, запах, цвет, вкус, а также для предотвращения порчи, слеживания, прогоркания и других нежелательных процессов. Очень важной добавкой является консервант, который не позволяет вредным микроорганизмам распространяться в продукте, а также ингибирует процессы окисления жиров и белков, а в мясных продуктах иногда используется для создания и удержания красного цвета. Консервант должен иметь высокую антиоксидантную, антимикробную активность, не влиять на органолептические показатели продукции и на естественные микробиологические процессы, протекающие внутри неё, быть безопасным для человека [1].

Физические способы консервации (пастеризация, заморозка, стерилизация и другие) используются повсеместно, но не всегда достаточно только их для продолжительного и безопасного хранения пищевых продуктов, помимо этого не всегда возможно их применение. Также имеют место быть биологические методы, заключающиеся в добавлении определённых культур микроорганизмов, например, в кисломолочные продукты. Таким образом, они подавляют рост патогенных бактерий, производя в ходе своей жизнедеятельности органические кислоты [2]. Но наиболее распространённый способ консервации – химический, где широко используют как природные вещества (сахар, соль), так и пищевые добавки.

В настоящее время в пищевой промышленности чаще всего применяются синтетические консерванты. Их довольно легко и недорого производить, а при добавлении в продукт требуется небольшая концентрация. Но они помимо своей эффективности против порчи продукта имеют обратную сторону медали – могут быть токсичными и вызывать аллергические реакции [3].

В раннем исследовании о влиянии синтетических добавок на организм выяснили, что бензонат натрия и бензонат калия вызывают нарушение развития плода во время беременности у мышей [4]. Среди других синтетических консервантов нитрит натрия, добавляемый в мясные продукты, способен вызывать рак, в частности рак головного мозга, лейкемию, опухоли носоглотки вследствие злоупотребления [5]. В другой работе описаны эффекты от употребления ВНА (бутилированный гидроксианизол) и ВНТ (бутилированный гидрокситолуол), которые считаются очень токсичными добавками. К таким воздействиям от употребления относятся: возникновение неврологических проблем, эндокринные заболевания, метаболические дисфункции [6].

Вследствие этого потребители стали скептически относиться к продукции с «химией», и появилась необходимость создания натуральных добавок, в частности консервантов. Помимо этого, преимуществом использования таких добавок является повторное применение отходов после производства овощной, фруктовой продукции, специй. Семена, кожура, листья также включают в себя фенольные соединения, эфирные масла, органические кислоты, фитостеролы, что делает их не менее ценным сырьём по биологическим показателям [7–9].

Также такие натуральные консерванты могут, наоборот, оказывать положительный эффект на здоровье за счёт активных природных соединений, органических кислот, полифенолов, витаминов-антиоксидантов. В ряде исследований выявили их противовоспалительное, противогрибковое, антибактериальное, антикоронавирусное действия, они способствуют здоровью кожи, защите от нейрозаболеваний и возникновению рака [10, 11]. Также есть перспективы применения антиоксидантов в лечении бесплодия женщин [12].

Для создания натурального консерванта помимо высокого содержания полифенольных соединений в растительном сырье нужно ещё учитывать методы и условия их экстрагирования, растворители [13]. Традиционные способы экстракции (отваривание, перколяция, Сокслета) уже не так эффективны, как современные. На данный момент лучшими и перспективными методами являются экстракция жидкостью повышенным давлением, в частности сверхкритическая флюидная; ультразвуковой метод; микроволновая и ферментативная экстракции. Они требуют меньше затрат энергии и растворителя, повышают выход необходимого выделяемого компонента, а также они более экологичны [14].

В текущем обзоре обсуждаются биологически-активные соединения растительного происхождения и их антиоксидантная и антимикробная активность, которые могут быть полезны при разработке натуральных пищевых консервантов.

Материалы и методы

В исследовании применялись методы анализа, систематизации, сравнения, обобщения.

Поиск источников данных осуществлялся в научных электронных библиотеках и поисковых системах eLIBRARY.ru, PubMed, Web of Science, Scopus and на портале Cyberleninka.

Объектом исследования является оценка антиоксидантной и антимикробной активности биохимических соединений источников растительного сырья

Глубина поиска источников: 25 лет.

Результаты и обсуждения

Фенольных соединений и флавоноидов.

«Как указано в учебнике: фенольные соединения – вещества ароматической природы, содержащие одну или несколько гидроксильных групп. Именно благодаря ароматической группе фенольные соединения являются прекрасными антиоксидантами, нейтрализуя свободные радикалы. Окисление продуктов может происходить под воздействием кислорода, металлов, освещения или радиации. Вступая в реакцию, фенольные антиоксиданты становятся донорами водорода или электрона и тем самым ингибируют процесс. В отличие от свободных радикалов, радикал фенола в дальнейшем не продолжает участие в окислении из-за того, что заместители в ароматическом кольце создают кинетическую стабильность [15].

Ранее были написаны исследования по изучению структуры фенольных соединений, а также была произведена их оценка антиоксидантной, антимикробной активности у разных растений в качестве пищевых добавок [16,17]. Их вторичные метаболиты, отвечающие за окислительно-восстановительные процессы, привлечение насекомых-опылителей, защиту от вредителей, ингибирование или усиление

роста, обуславливающие аромат, цвет, запах плодов и цветков, включают в себя необходимые антиоксиданты и противомикробные вещества [18]. Именно поэтому они могут стать отличным материалом для разработки натуральных добавок. Причем они могут применяться не только для пищевой промышленности, но и для косметической, фармацевтической отраслях.

Антиоксиданты входят в состав не только фруктов, овощей и ягод, а также специй и зерна. Исследования химического состава цельнозерновых культур показало, что ценность их состоит не только в клетчатке, крахмале и минералах, но они содержат и органические кислоты, фенольные соединения, причем в отрубях их намного выше, чем в эндосперме [19]. В состав цельнозерновых риса и пшеницы входят такие органические соединения, как феруловая, синаповая, сиригвая, кофейная, галловая, р-гидроксibenзойная кислоты [20].

Исходя из анализа содержания фенольных соединений в некоторых плодах, их продуктах переработки и других частей растений из ранних исследований, можно сделать вывод, что наибольшее содержание, как фенольных соединений, так и флавоноидов у облепихового сока и водного экстракта розмарина (таблица 1).

Таблица 1.

Содержание фенолов и флавоноидов в растительном сырье

Table 1.

The content of phenols and flavonoids in plant materials

Сырье Raw material	Растворители Solvents	Общее содержание фенолов в мг GAE*/г Total phenol content in mg GAE*/g	Общее содержание флавоноидов в мг QE**/г Total flavanoid content in mg QE**/g	Источники Sources
Розмарин Rosemary	Вода Water	271,66	112,71	[22]
Имбирь Ginger	Этанол 70% Ethanol 70%	201,31	44,06	[22]
Сок облепихи Sea buckthorn juice	–	283,58	118,42	[23]
Жмых облепихи Sea buckthorn cake	Этанол 50% Ethanol 50%	32,55	50,52	[9]
Листья годжи (садовые) Goji leaves (garden)	–	1,68	-	[24]
Кожура апельсина Orange peel	Вода Water	2,56	0,52	[21]
Кожура апельсина Orange peel	Этанол 70% Ethanol 70%	3,45	0,80	[21]
Кожура лимона Lemon peel	Вода Water	2,10	0,37	[21]
Кожура грейпфрута Grapefruit peel	Этанол 70% Ethanol 70%	2,13	0,39	[21]
Кожура персика Peach peel		5,84	1,02	[7]
Кожура сливы Plum peel		4,81	0,96	[7]
Кожура нектарина Nectarine peel		1,53	0,09	[7]
Кожура абрикоса Apricot peel		5,60	1,22	[7]
Семена сливы Plum seeds		0,94	0,34	[8]
Семена персика Peach Seeds		0,47	0,18	[8]
Семена нектарина Nectarine seeds		0,31	0,16	[8]
Семена абрикоса Apricot Seeds		0,65	0,23	[8]

* – эквивалент в галловой кислоте. the equivalent in gallic acid.

** – эквивалент в катехине. the equivalent in catechin

Можно заметить, что не всегда экстрагирование этанолом имело лучшие результаты по сравнению с водой. Например, в лимоне и розмарине общее количество фенолов больше экстрагируется в воде, чем в этаноле на 61,05 мг GAE/г экстракта розмарина и 11,34 мг GAE/100 г. кожуры лимона [20, 21]. Но сравнивая

результаты по другим плодам и растениям, этанол

является лучшим растворителем. Так, разница между количеством фенолов в растворе этанола и воды у имбиря составляет больше 100 мг GAE/г экстракта, у кожуры апельсина в 0,89 мг GAE/г сухого вещества [21, 22]. В целом, самые

большие показатели по обоим значениям у сока облепихи, розмарина, перечной мяты и имбиря.

Антиоксидантная активность фенольных соединений растительного сырья. Антиоксидантная и антимикробная активность обусловлена высокими показателями содержания общего количества фенольных соединений и флаваноидов, а также их состава. Особенно большое количество их находится в растительном сырье и продуктах их переработки (кожуре, семенах) в качестве вторичных метаболитов.

Антиоксидантная активность используемых консервантов показывает, насколько долго продукты не будут становиться прогорклыми, как долго они будут сохранять свой естественный цвет. В ходе окисления жиров и белков образуются вторичные продукты, такие как кетоны, альдегиды, спирты и карбонильные соединения. Они могут проявлять себя в качестве мутагенов и негативно влиять на здоровье. Именно за счёт содержания фенольных соединений, витаминов А, С и Е, ликопинов в продуктах, свободные радикалы меньше влияют на структуру белков и жиров в пищевом сырье [25].

Для определения данного показателя чаще всего используется метод DPPH, основанный на нейтрализации устойчивых свободных радикалов 1,1 – дифенил-2-пикрилгидразила при взаимодействии с веществом, обладающим антиоксидантной активностью. FRAP используется при оценке антиоксидантной способности восстанавливать ионы трёхвалентного железа [26]. В данной работе будут сравниваться два этих показателя (таблица 2).

Можно заметить из работ по исследованию антиоксидантной активности разных растений, что, например, результаты кожуры цитрусовых не сильно отличались друг от друга в зависимости от растворителя, но результаты экстракта жмыха облепихи имели большую разницу в зависимости от метода экстрагирования биологически-активных соединений [9, 21]. При сравнении данного показателя у зеленого чая антиоксидантная способность была выше, чем у облепихового сока и экстрактов кожуры цитрусовых. Сами показатели среди разных сортов чая варьировались от 18% у черного чая до 90% у зеленого. В основном результаты зависели от сорта чая, но важным фактором являлся регион произрастания [27].

Проанализировав антиоксидантную среди продуктов переработки фруктов оказалось, что большее значение было у кожуры абрикоса, сливы и персика (3,73 мг ААЕ/г, 1,01 мг ААЕ/г, 1,33 мг ААЕ/г) чем у семян (1,47 мг ААЕ/г, 0,94 мг ААЕ/г, 0,98 мг ААЕ/г). Показатели семян и кожуры нектарина сильно не отличались (1,42 мг ААЕ/г и 1,29 мг ААЕ/г соответственно). У облепихового же жмыха она равнялась значениям 89 (мг Trolox/г) и 101 (мг/г Fe²⁺), определенными методами CURRAC и FRAP II (таблица 2). Ещё одним нетрадиционным источником биологически активных веществ являются почки растений. Они проявляют и антиоксидантную и антимикробную активность. Так, экстракт почек малины с растворителем глицерол-вода, показали способность нейтрализовать радикал DPPH в значении 0,60 мкмоль trolox [29].

Таблица 2.

Антиоксидантная активность растительного сырья

Table 2.

Antioxidant activity of plant materials

Растение Plant	Метод оценки DPPH Evaluation method DPPH	Метод оценки FRAP Evaluation method FRAP	Источники Sources
Сок облепихи Sea buckthorn juice	76%	–	[21]
Жмых облепихи Sea buckthorn cake	–	mg/g Fe ²⁺	[7]
Зеленый чай Green tea	89,76%	–	[27]
Кожура апельсина Orange peel	67,90%	–	[19]
Кожура лимона Lemon peel	53,44%	–	[19]
Кожура грейпфрута Grapefruit peel	60,83%	–	[19]
Ягоды годжи Goji berries	7,61 ммоль Trolox / 100 г. 7,61 mmol Trolox / 100 g	3,93 ммоль Trolox / 100 г. 3,93 mmol Trolox / 100 g	[22]
Листья годжи (садовые) Goji leaves (garden)	4,25 ммоль Trolox / 100 г. 4,25 mmol Trolox / 100 g	5,89 ммоль Trolox / 100 г. 5,89 mmol Trolox / 100 g	[22]
Кожура яблока Apple peel	0,142 мг/мл 0,142 mg/ml	95,99 мг/мл 95,99 mg/ml	[26]
Кожура персика Peach peel	1,33 мг ААЕ/г 1,33 mg AAE/g	0,89 мг ААЕ/г 0,89 mg AAE/g	[5]
Кожура сливы Plum peel	1,01 мг ААЕ/г 1,01 mg AAE/g	0,71 мг ААЕ/г 0,71 mg AAE/g	[5]
Кожура нектарина Nectarine peel	1,29 мг ААЕ/г 1,29 mg AAE/g	0,91 мг ААЕ/г 0,91 mg AAE/g	[5]
Кожура абрикоса Apricot peel	3,73 мг ААЕ/г 3,73 mg AAE/g	3,27 мг ААЕ/г 3,27 mg AAE/g	[5]
Семена сливы Plum seeds	0,94 мг ААЕ/г 0,94 mg AAE/g	0,63 мг ААЕ/г 0,63 mg AAE/g	[6]
Семена персика Peach Seeds	0,98 мг ААЕ/г 0,98 mg AAE/g	0,54 мг ААЕ/г 0,54 mg AAE/g	[6]
Семена нектарина Nectarine seeds	1,42 мг ААЕ/г 1,42 mg AAE/g	0,98 мг ААЕ/г 0,98 mg AAE/g	[6]
Семена абрикоса Apricot Seeds	1,47 мг ААЕ/г 1,47 mg AAE/g	0,93 мг ААЕ/г 0,93 mg AAE/g	[6]

Антимикробной активность фенольных соединений растительного сырья. Наличие фенольных соединений, таких как простые фенолы, хиноны, флавоны, флавононы, флаваноиды танины и другие, предотвращает не только окисление продукта, но и рост патогенных микроорганизмов [30]. Антимикробная активность биологически активных соединений также зависит от типа микроорганизма, питательной среды. Антимикробные растительные агенты влияют на жизнедеятельность клетки микроорганизма, нарушая её мембрану, лишая субстрата, связываясь с ней, взаимодействуя с ДНК [31].

Для сравнения использовались данные антимикробной активности экстракта кожуры апельсина, розмарина, листьев годжи и облепиховый сок, влияющие на такие микроорганизмы, как *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella senftenberg*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus pyogenes*, *Klebsiella pneumoniae*, *Candida albicans*. Экстракт кожуры апельсина проявил лучшую антимикробную активность, чем облепиховый сок в отношении всех штаммов, особенно большая зона ингибирования была у образца с *Bacillus cereus* (22,33 мм). Самый

низкий показатель был у образца облепихового сока с *Listeria monocytogenes* (9,13 мм). Тем не менее, все растения показали хорошую способность к защите от пищевых патогенов (таблица 3). Также антибактериальным эффектом обладают абрикосы, персики, сливы против *L. monocytogenes*, *E. coli* и *S. Gaminara* в ингибирующей концентрации 2,6% за счёт содержания в основном яблочной кислоты. Этой способностью обладает большинство ягод (клюква, брусника, голубика, ежевика, малина, черноплодная рябина, красная смородина) против *S. Typhimurium* в минимальной ингибирующей концентрации 0,312–1,25% [32].

Разные фенольные соединения проявляют себя по-разному к различным типам микроорганизмов. Так, танины, содержащиеся в большом количестве в чае, лучше ингибируют рост *Pseudomonas aeruginosa* and *Klebsiella pneumonia*; антоцианы, которых много в смородине, хорошо защищают от *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*; а фенольные кислоты и стильбены проявляют высокую активность также против *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Salmonella typhi* [33]

Таблица 3.

Диаметр зоны ингибирования патогенных микроорганизмов

Table 3.

Diameter of the inhibition zone of pathogenic microorganisms

Микроорганизм Microorganism	Облепиховый сок, мм Sea buckthorn juice, mm	Кожура апельсина, мм Orange peel, mm	Розмарин, мм Rosemary, mm	Листья годжи, мм Goji leaves, mm
<i>Bacillus cereus</i>	12,40	22,33	–	–
<i>Bacillus subtilis</i>	–	–	17,0	16,7
<i>Escherichia coli</i>	17,46	18,50	13,0	10,5
<i>Listeria monocytogenes</i>	9,13	16,50	–	10,9
<i>Staphylococcus aureus</i>	16,26	18,50	12,0	9,6
<i>Yersinia enterocolitica</i>	14,33	15,90	–	–
<i>Salmonella senftenberg</i>	15,13	16,76	–	–
<i>Staphylococcus pyogenes</i>	–	–	21,0	–
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	9,66	–	–	–
<i>Candida albicans</i>	10,60	–	ND	–
Источники	[21]	[19]	[20]	[22]

Применение в пищевой промышленности в качестве натуральных консервантов. В пищевой промышленности редко используют все части растительного сырья для производства продуктов. После изготовления соков пюре из мякоти для детского питания, такой сладкой консервации, как варенье, конфитюры, желе, пищевые отходы после производства не используются и просто утилизируются. Тем не менее, продукты переработки также содержат множество биологически-активных веществ [7–9].

Наличие фенольных соединений, флаваноидов, показатели антиоксидантной активности

не только в соке, но и кожуре, семян, жмыхе, предоставляют перспективы в изготовлении дешёвых и безопасных натуральных консервантов из вторичных продуктов растительного происхождения. За счёт содержания таких полифенольных соединений, как органические кислоты (кумаровая, аскорбиновая, хлорогеновая, галловая), катехины, кверцетины, дельфинидины и многие другие, они действуют как восстановители, доноры водорода и подавители кислорода, что проявляется в высокой противомикробной и противooksидлительной способности и может применяться в пищевых продуктах [34].

Для выделения биологически-активных элементов и создания натурального консерванта необходимо правильно подобрать экстрагирующие смеси, чтобы их можно было использовать для дальнейшего изготовления пищевых продуктов, а также способы и условия экстракции. Помимо высокой антиоксидантной и антимикробной активности, растительные экстракты обладают полезными эффектами на здоровье человека и не являются такими опасными для частого употребления, как синтетические консерванты [35]. А использование отходов производства улучшает состояние экологии и не вредит окружающей среде.

Заключение

В текущем обзоре выяснили, что растительное сырьё, а именно фрукты, специи, травы, в особенности ягоды, в том числе продукты их переработки, – является отличным источником фенольных соединений, органических кислот, витаминов, проявляющих высокую способность против окисления жиров и белков и

предотвращения порчи от патогенных микроорганизмов. Экстракт кожуры апельсина показал высокую антиоксидантную активность 68%, в сравнении с облепиховым соком и настоем зеленого чая. Также экстракт имеет хорошую защиту против различных патогенных микроорганизмов (> 15 мм зоны ингибирования).

Большое содержание фенольных соединений было установлено у специй (розмарин, мята, имбирь), облепихового сока и жмыха. Но фенолы и флавоноиды также в небольшом количестве обнаруживались в кожуре, семенах плодов, листьях апельсина, облепихи, годжи, лимона, грейпфрута, что означает перспективы в создании натурального консерванта, который будет безопасным для здоровья человека, недорогим в производстве и который не будет негативно влиять на окружающую среду. В дальнейшем можно продолжить исследование экономической и экологической выгоды от применения вторичных растительных продуктов в производстве консерванта.

Литература

- 1 Никифорова Т.А., Меледина Т.В. Пищевые добавки и ароматизаторы: учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: СПбГУИПТ, 2009. 217 с. ISBN 978-5-89565-191-9.
- 2 Teneva D., Denev P. Biologically Active Compounds from Probiotic Microorganisms and Plant Extracts Used as Biopreservatives // *Microorganisms*. 2023. V. 11. № 8. P. 1896. doi: 10.3390/microorganisms11081896.
- 3 Юркова А.А. Пищевые добавки в составе популярных продуктов // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. V. 5. № 1 (56). P. 91–94. doi: 10.24412/2500-1000-2021-5-1-91-94.
- 4 Sambu S., Hemalatha R., Mishra U. Toxicological and Teratogenic Effect of Various Food Additives: An Updated Review // *BioMed Research International*. 2022. V. 2022. P. 6829409. doi: 10.1155/2022/6829409.
- 5 Hamdan A.M., Kuter S.A., Alzahrani A.R., Almasmoum H.A., Gbaj A.M., El-Taweel F.M., Shehab N.G., El-Ela F.I.A. Thymoquinone therapy remediates elevated brain tissue inflammatory mediators induced by chronic administration of food preservatives // *Scientific Reports*. 2019. V. 9. P. 7026. doi: 10.1038/s41598-019-43568-x.
- 6 Rathee P., Sehrawat R., Kumari A., Kumar S., Kumar V. Polyphenols: Natural Preservatives with Promising Applications in Food, Cosmetics and Pharma Industries; Problems and Toxicity Associated with Synthetic Preservatives; Impact of Misleading Advertisements; Recent Trends in Preservation and Legislation // *Materials*. 2023. V. 16. № 13. P. 4793. doi: 10.3390/ma16134793.
- 7 Suleria H.A.R., Barrow C.J., Dunshea F.R. Screening and Characterization of Phenolic Compounds and Their Antioxidant Capacity in Different Fruit Peels // *Foods*. 2020. V. 9. № 9. P. 1206. doi: 10.3390/foods9091206.
- 8 Hong Y., Wang Z., Barrow C.J., Dunshea F.R., Suleria H.A.R. High-Throughput Screening and Characterization of Phenolic Compounds in Stone Fruits Waste by LC-ESI-QTOF-MS/MS and Their Potential Antioxidant Activities // *Antioxidants*. 2021. V. 10. № 2. P. 234. doi: 10.3390/antiox10020234.
- 9 Luntraru C.M., Oancea A.-C., Matei E., Dinu-Pirvu C.-E., Oancea F., Velescu B.S., Buca B.-R., Paun I., Stefanescu R., Anuta V., Tatu A.L. Reclaim and Valorization of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) By-Product: Antioxidant Activity and Chemical Characterization // *Foods*. 2022. V. 11. № 3. P. 462. doi: 10.3390/foods11030462.
- 10 Sun W., Shahrajabian M.H. Therapeutic Potential of Phenolic Compounds in Medicinal Plants – Natural Health Products for Human Health // *Molecules*. 2023. V. 28. № 4. P. 1845. doi: 10.3390/molecules28041845.
- 11 Costa de Camargo A., Biasoto A.C.T., Schwember A.R., Granato D., Rasera G.B., Franchin M., Rosalen P.L., Alencar S.M., Shahidi F. 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*. 2018. V. 19. № 11. P. 3498. doi: 10.3390/ijms19113498.
- 12 Showell M.G., Mackenzie-Proctor R., Jordan V., Hart R.J. Antioxidants for female subfertility (Review) // *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2020. № 8. Art. No.: CD007807. doi: 10.1002/14651858.CD007807.pub4.
- 13 Plaskova A., Mlcek J. New insights of the application of water or ethanol-water plant extract rich in active compounds in food // *Frontiers in Nutrition*. 2023. V. 10. P. 1118761. doi: 10.3389/fnut.2023.1118761.
- 14 Sridhar A., Ponnuchamy M., Kumar P.S., Kapoor A., Vo D.-V.N., Prabhakar S. Techniques and modeling of polyphenol extraction from food: a review // *Environmental Chemistry Letters*. 2021. V. 19. P. 3409–3443. doi: 10.1007/s10311-021-01217-8.

- 15 Кандалинцева Н.В. Гидрофильные халькогенсодержащие производные алкилированных фенолов: синтез, свойства, антиокислительная и биологическая активность: диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук: 02.00.03. Новосибирск: Новосибирский государственный педагогический университет, 2020. 381 с.
- 16 Pateiro M., Barba F.J., Domínguez R., Sant'Ana A.S., Khaneghah A.M., Gavahian M., Gómez B., Lorenzo J.M. Effect of Addition of Natural Antioxidants on the Shelf-Life of "Chorizo", a Spanish Dry-Cured Sausage // *Antioxidants*. 2015. V. 4. № 1. P. 42–67. doi: 10.3390/antiox4010042.
- 17 Sohaib M., Anjum F.M., Sahar A., Arshad M.S., Rahman U.U., Imran M., Hussain S. Oxidative stability and lipid oxidation flavoring volatiles in antioxidants treated chicken meat patties during storage // *Lipids in Health and Disease*. 2017. V. 16. P. 27. doi: 10.1186/s12944-017-0426-5.
- 18 Abdel-Daim M.M. Alleviation of Drugs and Chemicals Toxicity: Biomedical Value of Antioxidants // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2018. V. 2018. P. 6276438. doi: 10.1155/2018/6276438.
- 19 Călinoiu L.F., Vodnar D.C. Whole Grains and Phenolic Acids: A Review on Bioactivity, Functionality, Health Benefits and Bioavailability // *Nutrients*. 2018. V. 10. № 11. P. 1615. doi: 10.3390/nu10111615.
- 20 Shahidi F. Wheat and Rice beyond Phenolic Acids: Genetics, Identification Database, Antioxidant Properties, and Potential Health Effects // *Plants*. 2022. V. 11. № 23. P. 3283. doi: 10.3390/plants11233283.
- 21 Shehata G.M., Elsebaie E.M., El Newary S.A., Ibrahim M.E., Nour Eldin T.A. Antioxidant and antimicrobial activities and UPLC-ESI-MS/MS polyphenolic profile of sweet orange peel extracts // *Current Research in Food Science*. 2021. V. 4. P. 326–335. doi: 10.1016/j.crfs.2021.05.001.
- 22 El-Naggar M.N., El-DougDoug K.A., Abdel-Fattah A.M., El-Khateeb A.Y., Eweis E.A., Elsayed M. Antimicrobial and antioxidant activities of some plant Extracts // *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 2017. V. 44. № 3. P. 1241–1256.
- 23 El-Sohaimy A.S., Shehata M.G., Alsanea R.A., Alqattan O.A., Zeitoun A.M.A. Nutritional Evaluation of Sea Buckthorn "Hippophae rhamnoides" Berries and the Pharmaceutical Potential of the Fermented // *Fermentation*. 2022. V. 8. № 8. P. 391. doi: 10.3390/fermentation8080391.
- 24 Kruczek A. Health-Promoting Capacities of In Vitro and Cultivated Goji (*Lycium chinense* Mill.) Fruit and Leaves; Polyphenols, Antimicrobial Activity, Macro – and Microelements and Heavy Metals // *Molecules*. 2020. V. 25. № 22. P. 5314. doi: 10.3390/molecules25225314.
- 25 Manassis G., Kalogianni A.I., Lazou T., Moschovas M., Bossis I., Gelasakis A.I. Plant-Derived Natural Antioxidants in Meat and Meat Products // *Antioxidants*. 2020. V. 9. № 12. P. 1215. doi: 10.3390/antiox9121215.
- 26 Яшин А.Я. Методология определения антиоксидантной активности пищевых продуктов и биологических жидкостей // *Аналитика*. 2021. Т. 11. № 5. С. 232–247.
- 27 Klepacka J., Górecka E., Pacholek B. Tea as a Source of Biologically Active Compounds in the Human Diet // *Molecules*. 2021. V. 26. № 5. P. 1487. doi: 10.3390/molecules26051487.
- 28 Kalinowska M., Gryko K., Wróblewska A.M., Jabłońska-Trypuć A., Karpowicz D. Phenolic content, chemical composition and anti-/pro-oxidant activity of Gold Milenium and Papierowka apple peel extracts // *Scientific Reports*. 2020. V. 10. P. 14951. doi: 10.1038/s41598-020-71351-w.
- 29 Krzepiło A., Prazak R., Świeciło A. Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Raspberry, Blackberry and Raspberry-Blackberry Hybrid Leaf Buds // *Molecules*. 2021. V. 26. № 2. P. 327. doi: 10.3390/molecules26020327.
- 30 Teshome E., Tola Y.B., Mohammed A., Astatkie T. Potentials of Natural Preservatives to Enhance Food Safety and Shelf Life: A Review // *The Scientific World Journal*. 2022. V. 2022. P. 9901018. doi: 10.1155/2022/9901018.
- 31 Cowan M.M. Plant Products as Antimicrobial Agents // *Clinical Microbiology Reviews*. 1999. V. 12. № 4. P. 564–582. doi: 10.1128/CMR.12.4.564.
- 32 Suriyaprom S., Mosoni P., Leroy S., Kaewkod T., Desvaux M., Tragoolpua Y. Antioxidants of Fruit Extracts as Antimicrobial Agents against Pathogenic Bacteria // *Antioxidants*. 2022. V. 11. № 3. P. 602. doi: 10.3390/antiox11030602.
- 33 Ullah H., Wilfred C.D., Shaharun M.S. Natural Polyphenols for the Preservation of Meat and Dairy Products // *Molecules*. 2022. V. 27. № 6. P. 1906. doi: 10.3390/molecules27061906.
- 34 Pruteanu L.L., Bailey D.S., Grădinaru A.C., Jäntschi L. The Biochemistry and Effectiveness of Antioxidants in Food, Fruits, and Marine Algae // *Antioxidants*. 2023. V. 12. № 4. P. 860. doi: 10.3390/antiox12040860.
- 35 Sotler R., Poljšak B., Dahmane R., Jukić T., Pavan Jukić D., Rotim C., Trebše P., Starc A. Prooxidant activities of antioxidants and their impact on health // *Acta Clinica Croatica*. 2019. V. 58. № 4. P. 726–736. doi: 10.20471/acc.2019.58.04.20.

References

- 1 Nikiforova T.A., Meledina N.V. Food additives and flavorings: an educational and methodical manual. St. Petersburg: SPbGUNIPT, 2009. 217 p. ISBN 978-5-89565-191-9 (in Russian)
- 2 Teneva D., Denev P. Biologically Active Compounds from Probiotic Microorganisms and Plant Extracts Used as Biopreservatives. *Microorganisms*. 2023. vol. 11. no. 8. p. 1896. doi: 10.3390/microorganisms11081896
- 3 Yurkova A.A. Food additives in the composition of popular products. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. vol. 5-1 (56). pp. 91–94. doi: 10.24412/2500-1000-2021-5-1-91-94 (in Russian)
- 4 Sambu S. et al. Toxicological and Teratogenic Effect of Various Food Additives: An Updated Review. *BioMed Research International*. 2022. vol. 2022. p. 6829409. doi: 10.1155/2022/6829409
- 5 Hamdan A.M. et al. Thymoquinone therapy remediates elevated brain tissue inflammatory mediators induced by chronic administration of food preservatives. *Scientific Reports*. 2019. vol. 9. p. 7026. doi: 10.1038/s41598-019-43568-x
- 6 Rathee P. et al. Polyphenols: Natural Preservatives with Promising Applications in Food, Cosmetics and Pharma Industries; Problems and Toxicity Associated with Synthetic Preservatives; Impact of Misleading Advertisements; Recent Trends in Preservation and Legislation. *Materials*. 2023. vol. 16. no. 13. p. 4793. doi: 10.3390/ma16134793

- 7 Suleria H.A.R., Barrow C.J., Dunshea F.R. Screening and Characterization of Phenolic Compounds and Their Antioxidant Capacity in Different Fruit Peels. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 9. p. 1206. doi: 10.3390/foods9091206
- 8 Hong Y., Wang Z., Barrow C.J., Dunshea F.R., Suleria H.A.R. High-Throughput Screening and Characterization of Phenolic Compounds in Stone Fruits Waste by LC-ESI-QTOF-MS/MS and Their Potential Antioxidant Activities. *Antioxidants*. 2021. vol. 10. no. 2. p. 234. doi: 10.3390/antiox10020234
- 9 Luntraru C.M. et al. Reclaim and Valorization of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) By-Product: Antioxidant Activity and Chemical Characterization. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 3. p. 462. doi: 10.3390/foods11030462
- 10 Sun W., Shahrajabian M.H. Therapeutic Potential of Phenolic Compounds in Medicinal Plants – Natural Health Products for Human Health. *Molecules*. 2023. vol. 28. no. 4. p. 1845. doi: 10.3390/molecules28041845
- 11 Costa de Camargo A. et al. 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*. 2018. vol. 19. no. 11. p. 3498. doi: 10.3390/ijms19113498
- 12 Showell M.G., Mackenzie-Proctor R., Jordan V., Hart R.J. Antioxidants for female subfertility. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2020. no. 8. Art. No.: CD007807. doi: 10.1002/14651858.CD007807.pub4
- 13 Plaskova A., Mlcek J. New insights of the application of water or ethanol-water plant extract rich in active compounds in food. *Frontiers in Nutrition*. 2023. vol. 10. p. 1118761. doi: 10.3389/fnut.2023.1118761
- 14 Sridhar A. et al. Techniques and modeling of polyphenol extraction from food: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2021. vol. 19. pp. 3409–3443. doi: 10.1007/s10311-021-01217-8
- 15 Kandalintseva N.V. Hydrophilic chalcogen-containing derivatives of alkylated phenols: synthesis, properties, antioxidant and biological activity: dissertation for the degree of Doctor of Chemical Sciences. Novosibirsk: Novosibirsk State Pedagogical University, 2020. 381 p. (in Russian)
- 16 Pateiro M. et al. Effect of Addition of Natural Antioxidants on the Shelf-Life of “Chorizo”, a Spanish Dry-Cured Sausage. *Antioxidants*. 2015. vol. 4. no. 1. pp. 42–67. doi: 10.3390/antiox4010042
- 17 Sohaib M. et al. Oxidative stability and lipid oxidation flavoring volatiles in antioxidants treated chicken meat patties during storage. *Lipids in Health and Disease*. 2017. vol. 16. p. 27. doi: 10.1186/s12944-017-0426-5
- 18 Abdel-Daim M.M. Alleviation of Drugs and Chemicals Toxicity: Biomedical Value of Antioxidants. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2018. vol. 2018. p. 6276438. doi: 10.1155/2018/6276438
- 19 Călinoiu L.F., Vodnar D.C. Whole Grains and Phenolic Acids: A Review on Bioactivity, Functionality, Health Benefits and Bioavailability. *Nutrients*. 2018. vol. 10. no. 11. p. 1615. doi: 10.3390/nu10111615
- 20 Shahidi F. Wheat and Rice beyond Phenolic Acids: Genetics, Identification Database, Antioxidant Properties, and Potential Health Effects. *Plants*. 2022. vol. 11. no. 23. p. 3283. doi: 10.3390/plants11233283
- 21 Shehata G.M. et al. Antioxidant and antimicrobial activities and UPLC-ESI-MS/MS polyphenolic profile of sweet orange peel extracts. *Current Research in Food Science*. 2021. vol. 4. pp. 326–335. doi: 10.1016/j.crf.2021.05.001
- 22 El-Naggar M.N. et al. Antimicrobial and antioxidant activities of some plant extracts. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 2017. vol. 44. no. 3.
- 23 El-Sohaimy A.S. et al. Nutritional Evaluation of Sea Buckthorn “*Hippophae rhamnoides*” Berries and the Pharmaceutical Potential of the Fermented. *Fermentation*. 2022. vol. 8. no. 8. p. 391. doi: 10.3390/fermentation8080391
- 24 Kruczek A. Health-Promoting Capacities of In Vitro and Cultivated Goji (*Lycium chinense* Mill.) Fruit and Leaves; Polyphenols, Antimicrobial Activity, Macro – and Microelements and Heavy Metals. *Molecules*. 2020. vol. 25. no. 22. p. 5314. doi: 10.3390/molecules25225314
- 25 Manassis G. et al. Plant-Derived Natural Antioxidants in Meat and Meat Products. *Antioxidants*. 2020. vol. 9. no. 12. p. 1215. doi: 10.3390/antiox9121215
- 26 Yashin A.Ya. Methodology for determining the antioxidant activity of foods and biological fluids. *Analytics*. 2021. vol. 11. no. 5. (in Russian)
- 27 Klepacka J. Tea as a Source of Biologically Active Compounds in the Human Diet. *Molecules*. 2021. vol. 26. no. 5. p. 1487. doi: 10.3390/molecules26051487
- 28 Kalinowska M. Phenolic content, chemical composition and anti-/pro-oxidant activity of Gold Milenium and Papierowka apple peel extracts. *Scientific Reports*. 2020. vol. 10. p. 14951. doi: 10.1038/s41598-020-71351-w
- 29 Krzepiło A., Prazak R., Świeciło A. Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Raspberry, Blackberry and Raspberry-Blackberry Hybrid Leaf Buds. *Molecules*. 2021. vol. 26. no. 2. p. 327. doi: 10.3390/molecules26020327
- 30 Teshome E. et al. Potentials of Natural Preservatives to Enhance Food Safety and Shelf Life: A Review. *The Scientific World Journal*. 2022. vol. 2022. p. 9901018. doi: 10.1155/2022/9901018
- 31 Cowan M.M. Plant Products as Antimicrobial Agents. *Clinical Microbiology Reviews*. 1999. vol. 12. no. 4. pp. 564–582.
- 32 Suriyaprom S. et al. Antioxidants of Fruit Extracts as Antimicrobial Agents against Pathogenic Bacteria. *Antioxidants*. 2022. vol. 11. no. 3. p. 602. doi: 10.3390/antiox11030602
- 33 Ullah H. et al. Natural Polyphenols for the Preservation of Meat and Dairy Products. *Molecules*. 2022. vol. 27. no. 6. p. 1906. doi: 10.3390/molecules27061906
- 34 Pruteanu L.L. et al. The Biochemistry and Effectiveness of Antioxidants in Food, Fruits, and Marine Algae. *Antioxidants*. 2023. vol. 12. no. 4. p. 860. doi: 10.3390/antiox12040860
- 35 Sotler R. et al. Prooxidant activities of antioxidants and their impact on health. *Acta Clinica Croatica*. 2019. vol. 58. no. 4. pp. 726–736. doi: 10.20471/acc.2019.58.04.20

Сведения об авторах

Собхи А.А. Аль-Сухайми д.б.н., профессор, кафедра технология продукции и организация общественного питания, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Уральский федеральный округ, Челябинская область, г. Челябинск, пр-кт Ленина, д. 76, elsohaimys@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1657-5162>

Зилолахон А. Тошева д.т.н., профессор, кафедра технология продукции и организация общественного питания, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Уральский федеральный округ, Челябинская область, г. Челябинск, пр-кт Ленина, д. 76, toshevaza@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8517-2888>

Валерия А. Воробьева студент, кафедра технология продукции и организация общественного питания, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Уральский федеральный округ, Челябинская область, г. Челябинск, пр-кт Ленина, д. 76, valeriavorbeva@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-4854-1788>

Лада Д. Коломиец студент, кафедра технология продукции и организация общественного питания, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Уральский федеральный округ, Челябинская область, г. Челябинск, пр-кт Ленина, д. 76, kolomiets.lada22@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5760-6159>

Сofия П. Горшенина студент, кафедра технология продукции и организация общественного питания, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Уральский федеральный округ, Челябинская область, г. Челябинск, пр-кт Ленина, д. 76, gorshenina.sofia@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0007-0676-2355>

Анастасия А. Лямина студент, кафедра технология продукции и организация общественного питания, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Уральский федеральный округ, Челябинская область, г. Челябинск, пр-кт Ленина, д. 76, nlyamina2002@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0009-6877-1526>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sobhy A.A. El-Suhaimy Dr. Sci. (Bio.), professor, product technology and catering organization department, South Ural State University (National Research University), 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Ural Federal District, Chelyabinsk Region, elsohaimys@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1657-5162>

Zilolakhon A. Tosheva Dr. Sci. (Tech.), professor, product technology and catering organization department, South Ural State University (National Research University), 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Ural Federal District, Chelyabinsk Region, toshevaza@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8517-2888>

Valeria A. Vorobieva student, product technology and catering organization department, South Ural State University (National Research University), 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Ural Federal District, Chelyabinsk Region, valeriavorbeva@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-4854-1788>

Lada D. Kolomiets student, product technology and catering organization department, South Ural State University (National Research University), 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Ural Federal District, Chelyabinsk Region, kolomiets.lada22@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5760-6159>

Sofya P. Gorshenina student, product technology and catering organization department, South Ural State University (National Research University), 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Ural Federal District, Chelyabinsk Region, gorshenina.sofia@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0007-0676-2355>

Anastasia A. Lyamina student, product technology and catering organization department, Ural State University (National Research University), 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Ural Federal District, Chelyabinsk Region, nlyamina2002@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0009-6877-1526>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/08/2025	После редакции 18/08/2025	Принята в печать 10/09/2025
Received 11/08/2025	Accepted in revised 18/08/2025	Accepted 10/09/2025