

Современная наука и инновации.
2023. № 4 (44). С. 152-159.
Modern Science and Innovations.
2023; 4(44):152-159.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ
ПРОДУКТОВ /
TECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS

Научная статья / Original article

УДК 663.86.054.2
<https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.4.17>

Ольга Ивановна Коннова
[Olga I. Konnova]^{1*},
Зарема Михайловна Арабова
[Zarema M. Arabova]¹,
Игорь Юрьевич Алексанян
[Igor Yu. Aleksanyan]¹,
Альберт Хамед-Харисович Нугманов
[Albert H.-H. Nugmanov]²,
Игорь Алексеевич Бакин
[Igor A. Bakin]²,
Анна Сабирдзяновна Мустафина
[Anna S. Mustafina]²

**Перспективы повышения
эффективности процессов экстракции
каротиноидов из побочных продуктов
переработки биологического сырья**

**Prospects for increasing the efficiency of
extraction processes of carotenoids from
by-products of processing biological
raw materials**

¹*Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия /
Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

²*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
г. Москва, Россия / Russian State Agrarian University – Moscow State
Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia*

**Автор, ответственный за переписку: Ольга Ивановна Коннова, okonnova88@gmail.com /
Corresponding author: Olga I. Konnova, okonnova88@gmail.com*

Аннотация. Каротиноиды характеризуются широким спектром полезных для здоровья свойств: они укрепляют иммунную систему и процесс заживления ран, защищают от вредного воздействия ультрафиолетового излучения. Они используются в пищевой и косметической промышленности, в кормах для животных и в фармацевтике. Поэтому извлечение биологически активных веществ из побочных продуктов переработки рыб может значительно сократить количество пищевых отходов. В данной статье описаны методы извлечения каротиноидов из побочных продуктов переработки частиковых видов рыб методом экстракции.

Ключевые слова: экстракция, каротиноиды, вторичное сырье, биологически активные вещества, ликопин

Для цитирования: Коннова О. И., Арабова З. М., Алексанян И. Ю., Нугманов А. Х.-Х., Бакин И. А., Мустафина А. С. Перспективы повышения эффективности процессов экстракции каротиноидов из побочных продуктов переработки биологического сырья // Современная наука и инновации. 2023. № 4 (44). С. 152-159. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.4.17>

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по гранту «Разработка технологических приемов и сверхкритических методов получения растительных экстрактов сельскохозяйственного сырья» по Программе стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (соглашение № 075-15-2023-220 от 16 февраля 2023 года).

© Коннова О. И., Арабова З. М., Алексанян И. Ю., Нугманов А. Х.-Х., Бакин И. А., Мустафина А. С., 2023

Abstract. Carotenoids have a wide range of health benefits: they strengthen the immune system and wound healing process, and protect against the harmful effects of ultraviolet radiation. They are used in the food and cosmetics industries, animal feed and pharmaceuticals. Therefore, extracting biologically active substances from fish processing by-products can significantly reduce food waste. This article describes methods for extracting carotenoids from by-products of processing particulate fish species.

Keywords: extraction, carotenoids, secondary raw materials, biologically active substances, lycopene

For citation: Konnova OI, Arabova ZM, Aleksanyan IYu, Nugmanov AH-H, Bakin IA, Mustafina AS. Prospects for increasing the efficiency of extraction processes of carotenoids from by-products of processing biological raw materials. Modern Science and Innovations. 2023;4(44):152-159. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.4.17>

Funding: the research was carried out with the financial support of the K.A. Timiryazev Russian State Agricultural Academy under the grant "Development of technological techniques and supercritical methods for obtaining plant extracts of agricultural raw materials" under the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030" (Agreement No. 075-15-2023-220 dated February 16, 2023).

Введение. Каротиноиды относятся к группе органических химических соединений. Они являются естественными пигментами, встречающимися в растениях, грибах, водорослях и бактериях. В природе встречается более 650 описанных каротиноидов, которые можно разделить на 2 группы. К первой группе относятся каротины, состоящие только из углеводородной цепи без каких-либо функциональных групп, например, ликопин и бета-каротин. Вторую группу составляют ксантофиллы, содержащие в своей цепи кислород в функциональной группе (например, спирты, альдегиды, кетоны); к этой группе относятся, например, лютеин и лютеиновый зеаксантин. Кроме того, различают гидрофобные и гидрофильные каротиноиды (рис. 1) [1]. В зависимости от полярности в процессе экстракции используются различные растворители. Для неполярных каротиноидов наиболее часто используются гексан, петролейный эфир и тетрагидрофуран. Для полярных каротиноидов, напротив, чаще всего используют ацетон, этанол или этилацетат [2]. Стандартные методы экстракции представляют угрозу для внешней среды из-за использования токсичных нефтехимических растворителей. В то же время растущий интерес к каротиноидам, обусловленный их полезными для здоровья свойствами и возможностью использования в промышленности в качестве натуральных пигментов, способствует развитию рынка каротиноидов. В статье представлены методы извлечения каротиноидов из побочных продуктов переработки частиковых видов рыб.

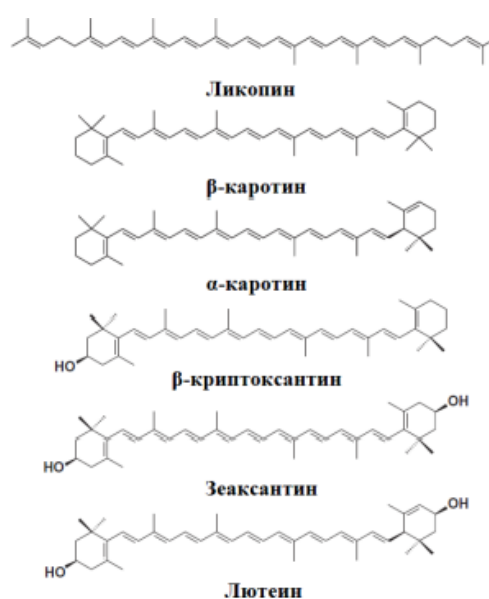


Рисунок 1 – Репрезентативные химические структуры каротиноидов
Figure 1 – Representative chemical structures of carotenoids

Материалы и методы исследований. Каротиноиды относятся к жирорастворимым микронутриентам, характеризующимся широким спектром оздоровительных свойств. Повышенное содержание каротиноидов в ежедневном рационе может снизить риск развития хронических заболеваний, таких как рак или ишемическая болезнь сердца [3]. Каротиноиды обладают выраженным антиоксидантным, противовоспалительным и противораковым действием (предотвращают рак легких, молочной железы, простаты, толстой кишки и яичников). Доказано, что каротиноиды оказывают защитное действие при сердечно-сосудистых заболеваниях.

Кроме того, каротиноиды способствуют снижению окислительного процесса, который способствует развитию остеопороза. Исследовалась также связь содержания ликопина в сыворотке крови с риском развития этого заболевания. Было установлено, что его наличие напрямую связано со снижением риска развития остеопороза. Кроме того, каротиноиды играют ключевую роль в укреплении иммунной системы.

Исследования показали, что ежедневное потребление бета-каротина способствует повышению активности естественных клеток-киллеров (NK). Кроме того, бета-каротин является предшественником витамина А, дефицит которого у детей дошкольного возраста и беременных женщин может привести к слепоте, плохому росту и даже смерти. Витамин А необходим для поддержания нормального зрения и профилактики глазных заболеваний. Особое значение в этом отношении имеют два каротиноида: лютеин и зеаксантин, действие которых документально подтверждено в профилактике макулярной дегенерации (AMD), являющейся основной причиной потери зрения у людей старше 65 лет. Кроме того, некоторые из каротиноидов, потребляемых с ежедневным рационом, накапливаются в коже и эффективно защищают ее от вредного УФ-излучения, вызывая повреждения, ожоги и старение кожи. К сожалению, избыток каротиноидов также может быть вреден. Слишком большое количество ликопина в рационе может привести к появлению оранжевого оттенка на коже. Это явление называется ликопенодермией. Сходное явление - каротинодермия, проявляющаяся в виде желтых пятен на коже и вызванная избыточным содержанием каротиноидов в плазме крови. Это состояние может быть достигнуто при ежедневном потреблении более 30 мг бета-каротина в течение длительного времени. Другими неблагоприятными рисками, связанными с избытком каротиноидов в рационе, являются нарушения репродуктивной функции, лейкопения, аллергические реакции и повышение риска развития рака предстательной железы. Человек не может самостоятельно синтезировать каротиноиды и должен получать их с пищей.

Благодаря широкому спектру свойств каротиноиды используются в пищевой, фармацевтической, кормовой и косметической промышленности. Некоторые каротиноиды (например, бета-каротин, лютеин, зеаксантин или ликопин) производятся в промышленных масштабах и используются в качестве ингредиентов пищевых продуктов или добавок. По оценкам, рынок каротиноидов вырастет с 1,5 млрд долл. в 2020 г. до 2,0 млрд долл. в 2026 г. в результате растущего интереса к использованию природных каротиноидов в качестве пищевых красителей и благодаря инновациям в области извлечения каротиноидов [3].

Экстракция – это процесс, направленный на физическое разделение компонентов смеси на основе различий в их растворимости в двух несмешивающихся жидкостях или сродстве к абсорбенту. Существуют два наиболее распространенных вида экстракции: экстракция растворителем и твердофазная экстракция. Экстракция растворителем основана на извлечении неполярных, незаряженных частиц из водной системы в несмешивающийся органический растворитель или на извлечении полярных, ионизированных частиц из органического растворителя в водный раствор. Твердофазная экстракция предполагает пропускание раствора пробы через слой сорбента, в результате чего аналит удерживается, а компоненты матрицы элюируются, или наоборот. Эффективность экстракции зависит в первую очередь от свойств образца, из которого необходимо извлечь аналит. Процесс экстракции состоит из нескольких основных этапов.

На первом этапе происходит десорбция соединения с его места в матрице. Затем соединение диффундирует через органическую часть матрицы и достигает границы между матрицей и жидкостью. На этом этапе соединение переходит в стадию экстракции. Последним этапом является сбор экстрагированного аналита. Наиболее распространенным методом экстракции каротиноидов является метод сольвентной экстракции с использованием нефтехимических растворителей. Экстрагируемое вещество должно быть хорошо растворимо в используемом экстрагенте. При выборе растворителя следует руководствоваться принципом "подобное растворяется в подобном". В случае каротиноидов наиболее распространенными органическими растворителями являются хлороформ, гексан, изопропанол, метилхлорид или диэтиловый эфир, которые, к сожалению, представляют опасность для окружающей среды (воды и воздуха), здоровья (острая и хроническая токсичность) и безопасности (взрыв и разложение). Уменьшение полярности растворителя позволяет экстрагировать различные соединения. Преимуществом экстракции растворителями является отсутствие специализированной аппаратуры и простота исполнения [4]. Однако к недостаткам метода можно отнести длительное время экспозиции, образование опасных летучих органических соединений, низкую эффективность процесса, необходимость иметь отдельные испарители, остатки реагентов после испарения и, прежде всего, вредное воздействие метода на окружающую среду.

Прогрессирующая глобализация и рост индустриализации способствуют увеличению производства продуктов питания. Тем не менее, отсутствие адекватного управления и инфраструктуры приводит к значительным потерям и нерациональному использованию готовой продукции, сырья и побочных продуктов. В настоящее время пищевые отходы являются одной из основных проблем во всем мире. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ежегодно выбрасывается около 30% производимого в мире продовольствия, пригодного для потребления, т.е. около 1,3 млрд. тонн.

В данной статье представлены методы экстракции каротиноидов из побочных продуктов процесса получения лецитина из икры частиковых видов рыб.

Результаты исследований и их обсуждение. Липофильная природа каротиноидов позволяет использовать в качестве растворителя растительные масла, которые повышают растворимость биологически активных соединений, не способствуя их деградации. Для проведения экстракции без растворителя могут использоваться дисперсионная экстракция с высоким сдвигом, экстракция жидкостью под давлением, микроволновая экстракция, ультразвуковая экстракция, экстракция электрическим полем, сверхкритическая экстракция и экстракция с помощью ферментов.

Для получения концентрата каротиноидов, включая астаксантин, а также концентрата таких липидов, как фосфолипиды, триглицериды, диглицериды, стеринны и т.п., содержащего от 50 до 80% лецитина (фосфатидилхолина), полиненасыщенных жирных кислот до 55%, среди которых доминируют жирные кислоты омега-3, омега-6 экстракции подвергают икорное сырье ацетоном, смесь перемешивают, обеспечивая полное смачивание сырья растворителем. Экстракт с комплексом БАВ отделяют от плотного остатка. Плотный остаток подвергают повторному экстрагированию, затем высушивают и направляют на деминерализацию для получения белка. Экстракты объединяют, ацетон упаривают под вакуумом при температуре не выше 60°C позволяющей сохранить нативные качества целевых компонентов. Полученную смесь липидов и липидорастворимых веществ смешивают с органическим растворителем (например, хлороформом, гексаном, петролейным эфиром и т.п.), разделяют на фазы, раствор с липидами отделяют, фильтруют и сушат при помощи обезвоживающего агента, а затем упаривают фильтрат под вакуумом.

Предварительное экстрагирование ацетоном исходного икорного сырья позволяет решить несколько проблем: обеспечить наиболее полное извлечение органических

компонентов при оптимальном сохранении их нативных свойств и, как следствие, получить белковый концентрат без дополнительной специальной стадии обесцвечивания.

Кроме того, уже на первом этапе обработки отделяются ценные БАВ - каротиноиды и комплекс фосфолипидов, что обеспечивает наиболее полное извлечение липидов и липидорастворимых компонентов и сохранение их нативных свойств.

Экстракция жидкостью под давлением также называется ускоренной экстракцией растворителем. Этот метод предполагает экстракцию жидкими растворителями при повышенной температуре и давлении, что ускоряет процесс экстракции за счет облегчения проницаемости клеток. В качестве растворителей для «зеленых» методов экстракции рекомендуются простые спирты (этанол и метанол) или их смеси с водой. Чтобы избежать использования органических растворителей, все большую популярность приобретает экстракция жидкостями под давлением, эффективность которой, как показывают исследования, сопоставима с эффективностью традиционных методов экстракции. Метод относительно схож с экстракцией по методу Сокслета, однако высокое давление позволяет удерживать растворитель ниже температуры кипения, что защищает термолабильные соединения от разрушения. Кроме того, повышается проницаемость растворителя и доступность биологически активных компонентов, что приводит к снижению расхода растворителя [5].

Существует два способа проведения процесса – динамический и статический. Первый заключается в непрерывной подаче растворителя с помощью насосов. Статический метод экстракции жидкостью под давлением состоит из одного или нескольких циклов экстракции с заменой растворителя между циклами. Независимо от выбранного метода может применяться широкий диапазон температур (20-200 °C) и давлений (35-200 бар) экстракции. В статическом методе экстракции ключевую роль играют температура и время процесса, а эффективность экстракции зависит от растворимости аналита в растворителе. Основным преимуществом экстракции жидкостью под давлением является значительно более быстрое время процесса и меньший расход растворителя. Кроме того, этот метод может быть более эффективным для полярных соединений, чем экстракция сверхкритическими флюидами. Однако ограничением метода является содержание аналитов в исследуемом образце, так как максимальный предел массы образца составляет 10 г. Дополнительным ограничением может быть стоимость оборудования, необходимого для проведения процесса [6].

Процесс микроволновой экстракции (МАЭ) основан на явлении поглощения излучения частицами вещества, из которого извлекаются биологически активные соединения. Использование микроволн в процессе экстракции значительно упрощает извлечение активного соединения. Метод широко используется для извлечения выделенных соединений из твердых тел. При этом используется явление поглощения излучения частицами вещества. Метод экономичен, так как сокращает время экстракции и позволяет снизить расход растворителя. Это объясняется способом передачи тепловой энергии. Традиционный нагрев с помощью конвекции или кондукции занимает гораздо больше времени, чем при использовании микроволн. Микроволновый нагрев основан на движении дипольных частиц, которые за счет трения выделяют тепловую энергию. Благодаря использованию неполярного растворителя, не поглощающего СВЧ-излучение, образец нагревается и отдает тепло экстрагенту. К сожалению, увеличение времени экстракции может способствовать термической деструкции каротиноидов.

Использование ультразвука в процессе экстракции позволяет значительно повысить эффективность процесса, снизить температуру, необходимую для его проведения, и сократить время экстракции, что позволяет лучше сохранить свойства биологически активных соединений. Использование растительных пищевых масел для экстракции каротиноидов не только является экологически чистой альтернативой органическим растворителям, но и дополнительно выполняет роль кислородного барьера, значительно замедляя процесс окисления и деградации биологически активных

соединений. Кроме того, метод позволяет решить проблему, связанную с высокой вязкостью пищевых масел, которая снижает диффузионную способность растворителя даже при повышенных температурах. Использование ультразвука значительно повышает эффективность экстракции, не требуя нагрева среды [7]. Метод может применяться как для твердых, так и для полутвердых образцов. В основе процесса экстракции с помощью ультразвука лежит явление кавитации, т.е. быстрого перехода жидкой фазы в газовую под действием пониженного давления. Кавитация – это образование, рост и схлопывание микропузырьков в жидкости под действием высокочастотных звуковых волн (> 20 кГц). В результате этих превращений происходит сильное столкновение молекул, что приводит к образованию ударных волн, в результате чего на короткое время (9-10 с) возникают области с очень высокой температурой (5500 °C) и давлением (до 50 МПа).

Повреждение клеточной стенки обеспечивает лучшее проникновение растворителя и вымывание внутриклеточных каротиноидов. Эффективное разрушение клеточной стенки может повысить эффективность процесса в десятки раз. Важным преимуществом ультразвуковой экстракции является то, что ее можно проводить при комнатной температуре, что позволяет сохранить термолабильные свойства анализов [8]. Основным недостатком метода являются резкие перепады температуры, вызванные явлением быстрой кавитации, которые могут привести к нежелательным реакциям, таким как термоокисление и улетучивание малолетучих соединений. Для предотвращения этого явления необходимо оптимизировать характеристики кавитационных агентов. К таким факторам относятся сила, частота, плотность соникации, тип зонда, соотношение растворитель/субстрат, свойства твердого материала, внешняя температура и давление, а также время экстракции [9].

Заключение. Применение методов экстракции для извлечения каротиноидов из побочных продуктов переработки икры рыб отвечает требованиям рынка. Кроме того, оно соответствует глобальным целям, связанным с устойчивостью продовольственных систем. Использование несъедобных и неиспользуемых отходов рыбного производства может внести существенный вклад в сокращение количества пищевых отходов. С другой стороны, альтернативные методы экстракции являются экологически безопасными и высокоэффективными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Britton G., Khachik F. Carotenoids in food. Carotenoids // Nutrition and health. 2009. Vol. 5. P. 45–66.
2. Swapnil P., Meena M., Singh S.K., Dhuldhaj U.P., Marwal A. Vital roles of carotenoids in plants and humans to deteriorate stress with its structure, biosynthesis, metabolic engineering and functional aspects // Current Plant Biology. 2021. Vol. 26. P. 100203.
3. Saini R.K., Keum Y.S. Carotenoid extraction methods: A review of recent developments // Food Chemistry. 2018. Vol. 240. P. 90–103.
4. Yara-Varón E., Fabiano-Tixier A.S., Balcells M., Canela-Garayoa R., Bily A., Chemat F. Is it possible to substitute hexane with green solvents for extraction of carotenoids? A theoretical versus experimental solubility study. RSC Advances. 2016. Vol. 6. P. 27750–27759.
5. Tiwari S., Upadhyay N., Singh A.K., Meena G.S., Arora S. Organic solvent-free extraction of carotenoids from carrot bio-waste and its physico-chemical properties // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. P. 4678–4687.
6. Mustafa A., Turner C. Pressurized liquid extraction as a green approach in food and herbal plants extraction: A review // Analytica Chimica Acta. 2011. Vol. 703. P. 8–18.
7. Michelon M., de Borja, T.D.M., Rafael R.d.S., Burkert C.A.V., de Medeiros, Burkert J.F. Extraction of carotenoids from *phaffia rhodozyma*: A comparison between different techniques of cell disruption // Food Science and Biotechnology. 2012. Vol. 21. P. 1–8.
8. Табакаев А. В., Табакаева О. В. Оценка эффективности экстракции каротиноидов из бурой водоросли *S. Miyabei* и их устойчивости в процессе хранения // Рыбное хозяйство. 2003. № 3. С. 57–59.
9. Eggersdorfer M., Wyss A. Carotenoids in human nutrition and health // Archives of Biochemistry and Biophysics. 2018. Vol. 652. P. 18–26.

REFERENCES

1. Britton G, Khachik F. Carotenoids in food. Carotenoids. Nutrition and health. 2009. Vol. 5. P. 45-66.
2. Swapnil P, Meena M, Singh SK, Dhuldhaj UP, Marwal A. Vital roles of carotenoids in plants and humans to deteriorate stress with its structure, biosynthesis, metabolic engineering and functional aspects. Current Plant Biology. 2021;26:100203.
3. Saini RK, Keum YS. Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. Food Chemistry. 2018;240:90-103.
4. Yara-Varón E, Fabiano-Tixier AS, Balcells M, Canela-Garayoa R, Bily A, Chemat F. Is it possible to substitute hexane with green solvents for extraction of carotenoids? A theoretical versus experimental solubility study. RSC Advances. 2016;6:27750–27759.
5. Tiwari S, Upadhyay N, Singh AK, Meena GS, Arora S. Organic solvent-free extraction of carotenoids from carrot bio-waste and its physico-chemical properties. Journal of Food Science and Technology. 2019;56:4678–4687.
6. Mustafa A, Turner C. Pressurized liquid extraction as a green approach in food and herbal plants extraction: A review. Analytica Chimica Acta. 2011;703:8-18.
7. Michelon M, de Borja, TDM, Rafael RdS, Burkert CAV, de Medeiros, Burkert JF. Extraction of carotenoids from *Phaffia rhodozyma*: A comparison between different techniques of cell disruption. Food Science and Biotechnology. 2012;21:1-8.
8. Tabakaev AV, Tabakaeva OV. Evaluation of the efficiency of carotenoid extraction from brown algae *S. Miyabei* and their stability during storage. Fisheries. 2003;3:57-59. (In Russ.).
9. Eggersdorfer M, Wyss A. Carotenoids in human nutrition and health. Archives of Biochemistry and Biophysics. 2018;652:18-26.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ольга Ивановна Коннова – ведущий инженер научно-исследовательской лаборатории пищевых систем и биотехнологий, Астраханский государственный технический университет, <https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>, okonnova88@gmail.com

Зарема Михайловна Арабова – кандидат технических наук, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории пищевых систем и биотехнологий, Астраханский государственный технический университет, <https://orcid.org/0000-0002-6787-7697>, zarema.polymer@gmail.com

Игорь Юрьевич Алексанян – доктор технических наук, профессор кафедры технологических машин и оборудования, Астраханский государственный технический университет, +79608632604, <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>, 16081960igor@gmail.com

Альберт Хамед-Харисович Нугманов – доктор технических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева, +79272824307, <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>, albert909@yandex.ru

Игорь Алексеевич Бакин – доктор технических наук, профессор, профессор, заведующий кафедрой процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0001-5678-1975>, bakin@rgau-msha.ru

Анна Сабирдзяновна Мустафина – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0003-4895-7226>, mas@rgau-msha.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga I. Konnova – Leading Engineer of the Food Systems and Biotechnology Research Laboratory, Astrakhan State Technical University, <https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>, okonnova88@gmail.com

Zarema M. Arabova – Cand. Sci. (Techn.), Junior Researcher at the Food Systems and Biotechnology Research Laboratory, Astrakhan State Technical University, <https://orcid.org/0000-0002-6787-7697>, zarema.polymer@gmail.com

Igor Yu. Aleksanyan – Dr. Sci. (Techn.), Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, +79608632604, <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>, 16081960igor@gmail.com

Albert H.-Kh. Nugmanov – Dr. Sci. (Techn.), Professor, Russian State Agrarian University — Timiryazev Agricultural Academy, +79272824307, <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>, albert909@yandex.ru

Igor A. Bakin – Dr. Sci. (Techn.), Professor, Professor, Head of the Department of Processes and Equipment of Processing Industries, Russian State Agrarian University — Timiryazev Agricultural Academy, <https://orcid.org/0000-0001-5678-1975>, bakin@rgau-msha.ru

Anna S. Mustafina – Cand. Sci. (Techn.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Fruits and Vegetables and Plant Growing Products, Russian State Agrarian University — Timiryazev Agricultural Academy, <https://orcid.org/0000-0003-4895-7226>, mas@rgau-msha.ru

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию: 08.10.2023;

одобрена после рецензирования: 16.11.2023;

принята к публикации: 09.12.2023.

The article was submitted: 08.10.2023;

approved after reviewing: 16.11.2023;

accepted for publication: 09.12.2023.