

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-497-503>

Поступила 07.07.2023

Поступила после рецензирования 30.11.2023

Принята в печать 06.12.2023

© Сутула Г. И., Рябухин Д. С., 2023

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

Обзорная статья

Open access

МИКРОВОДОРОСЛИ И НАСЕКОМЫЕ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ БЕЛКА: ПРЕИМУЩЕСТВА И РИСКИ

Сутула Г. И*, Рябухин Д. С.

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, Санкт-Петербург, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

съедобные насекомые, микроводоросли, энтомофагия, альтернативные белки, технологии Продукты животного происхождения традиционно считаются основными источниками белка, однако ввиду увеличения населения планеты и загрязнения окружающей среды возникает необходимость поиска новых решений для удовлетворения базовой потребности человека в питании. Альтернативой могут стать насекомые и микроводоросли — группы организмов, которые по своим питательным свойствам и химическому составу не уступают продуктам животного происхождения. Они способны оказывать благоприятное воздействие на организм человека за счет высокого содержания витаминов, полиненасыщенных жирных кислот и антиоксидантов. Введение съедобных насекомых или микроводорослей в рацион питания человека имеет множество преимуществ и для окружающей среды, включая сокращение общего объема парниковых газов, снижение потребления земельных ресурсов и воды. В настоящем обзоре рассмотрен химический состав микроводорослей и некоторых видов насекомых, отмечено влияние компонентов сырья на здоровье человека, описаны сопутствующие биологически активные соединения, а также основные технологии культивирования и примеры коммерческого использования. В России ввиду климатических особенностей возможно только сезонное выращивание микроводорослей в открытых бассейнах. Фитобиореакторы для круглогодичной работы требуют значительных финансовых вложений, особенно на дополнительное освещение и обогрев. Микроводоросли в России не пользуются большой популярностью, преимущественно применяются в составе биологически активных добавок. Съедобные насекомые могут быть выращены с использованием вторичных ресурсов и требуют меньших первоначальных вложений. На сегодняшний день они рассматриваются учеными в качестве источника белка для сельскохозяйственных животных.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS2022–0017 и № FGUS2022–0018 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 07.07.2023

Accepted in revised 30.11.2023

Accepted for publication 06.12.2023

© Sutula G. I., Ryabukhin D. S., 2023

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

Review article

Open access

MICROALGAE AND INSECTS AS ALTERNATIVE PROTEIN SOURCES: BENEFITS AND RISKS

Gleb I. Sutula*, Dmitry S. Ryabukhin

All-Russia Research Institute for Food Additives, Saint Petersburg, Russia

KEY WORDS:

edible insects, microalgae, entomophagy, alternative protein, technology

ABSTRACT

Animal products have traditionally been considered the main sources of protein, but due to the increasing population of the planet and environmental pollution, there is a need to find new solutions to meet basic human nutritional needs. An alternative can be insects and microalgae — groups of organisms that, in their nutritional properties and chemical composition, are not inferior to products of animal origin. They are able to have a beneficial effect on the human body due to their high content of vitamins, polyunsaturated fatty acids and antioxidants. Introducing edible insects or microalgae into the human diet has many environmental benefits, including reducing overall greenhouse gases and reducing land and water consumption. This review examines the chemical composition of microalgae and some types of insects, notes the influence of raw material components on human health, describes associated biologically active compounds, as well as basic cultivation technologies and examples of commercial use. In Russia, due to climatic conditions, only seasonal cultivation of microalgae in open pools is possible. Phytobioreactors for year-round operation require significant financial investments, especially for additional lighting and heating. Microalgae are not very popular in Russia; they are mainly used as part of dietary supplements. Edible insects can be grown using recycled resources and require less initial investment. Today they are considered by scientists as a source of protein for farm animals.

FUNDING: This article was published as part of the research topic No. FGUS2022–0017 and No. FGUS2022–0018 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Согласно данным ООН, ожидается, что население планеты к 2050 году составит 9,5 млрд человек [1]. Количество потребляемой пищи увеличится, а также изменится относительное содержание питательных веществ в рационе питания человека. Мировой спрос на белок животного происхождения удвоится к 2050 году [2], что вызовет озабоченность ученых по поводу глобальной продовольственной безопасности. Традиционные методы получения животного белка имеют ряд ограничений, связанных с негативным влиянием на

окружающую среду. Главным из них является образование парникового эффекта, поскольку сектор животноводства ответственен за выброс более 14% всех парниковых газов [3] и 59% выбросов аммиака в сельском хозяйстве [4]. Другими отрицательными особенностями отрасли являются большие затраты водных и земельных ресурсов. Меры, принимаемые для смягчения негативных экологических последствий [5], не позволят оставаться в рамках целевого показателя повышения температуры (2 °C), установленного Рамочной конвенцией ООН по климату [6], поэтому изменения в рационе питания

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сутула, Г. И., Рябухин, Д. С. (2023). Микроводоросли и насекомые как альтернативные источники белка: преимущества и риски. *Пищевые системы*, 6(4), 497–503. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-497-503>

FOR CITATION: Sutula, G. I., Ryabukhin, D. S. (2023). Microalgae and insects as alternative protein sources: Benefits and risks. *Food Systems*, 6(4), 497–503. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-497-503>

будут необходимы. Решением этой проблемы является использование других источников белка, которые можно получать из микроводорослей, насекомых, грибов и бактерий. Наиболее перспективными для этих целей являются насекомые и микроводоросли, так как на данный момент проведено достаточное количество исследований, показавших, что эти группы организмов обладают определенными экономическими и нутрициональными преимуществами.

Целью данного обзора является описание возможностей использования двух групп организмов, микроводорослей и насекомых, в пищевых целях с учетом их химических и нутрициональных особенностей.

2. Материалы и методы

Объектами исследования являлись научные публикации, посвященные изучению возможностей применения насекомых и микроводорослей в пищевых целях. Поиск литературы осуществлялся с помощью базы данных PubMed по ключевым словам «энтомофагия», «съемобные насекомые», «микроводоросли», «биопродукты из микроводорослей». Предпочтение отдавалось работам, опубликованным не более пяти лет назад в зарубежных журналах. Также были рассмотрены и применены данные международных организаций, касающиеся тематики данного обзора.

3. Микроводоросли

Микроводорослями являются одноклеточные организмы, живущие по отдельности, цепочками или группами. Они составляют основу пищевых цепочек, хорошо себя чувствуют в морской и пресной воде, во влажных почвах и горных породах [7]. Большой экономический потенциал микроводорослей обусловлен возможностью их выращивания в районах, непригодных для возделывания растений. Они расходуют энергию солнечного света в несколько раз эффективнее по сравнению с последними, обладая высоким потенциалом к производству биомассы и ценных химических соединений. Однако микроводоросли изучены не так подробно, как сельскохозяйственные культуры.

Использование микроводорослей для повышения питательной ценности продуктов и кормов является перспективным направлением. На сегодняшний день эта филогенетически разнообразная группа организмов нашла ряд промышленных применений, среди которых изготовление продуктов [8], корма [9], компонентов косметики [10], биотоплива [11] и удобрения [12]. Значительного коммерческого успеха в промышленном использовании микроводорослей удалось достигнуть немногим компаниям. Это объясняется следующими факторами: 1 — небольшим размером рынка на данный момент; 2 — необходимостью производства по конкурентоспособной цене по сравнению с альтернативными продуктами, получаемыми путем прямого химического синтеза или непосредственного метаболизма других микроорганизмов: грибов и бактерий; 3 — более жесткими нормативными ограничениями с точки зрения обеспечения безопасности, минимизации воздействия на окружающую среду и спецификации качества [13]. Далеко не все таксоны микроводорослей подходят для промышленного использования. На данный момент наиболее подходящими для питания человека являются *Chlorella sp.* и *Spirulina sp.* Известно, что население Мексики и Африки употребляло *Spirulina* в пищу с древнейших времен, а виды рода *Chlorella* являлись традиционной пищей восточных народов. Промышленное культивирование микроводорослей началось в 1960-х годах в Японии с *Chlorella sp.*, применяемой в качестве пищевой добавки. С 1970-х и 80-х годов промышленное производство начало осуществляться в США, Китае, Германии, Франции, Израиле, Австралии, Индии. На Рисунке 1 представлено распределение объемов производства микроводорослей в мире по состоянию на 2019 год. Следует обратить внимание, что из-за коммерческого подхода к сбору информации, данные FAO могут не отражать истинные значения объемов производства в таких странах, как США, Япония, Австралия и некоторых других.

На сегодняшний день совокупное производство составляет 35 000 тонн сухой биомассы в год [14]. В Таблице 1 представлены основные микроводоросли, которые используются в промышленности, их применение и страны-производители [15].

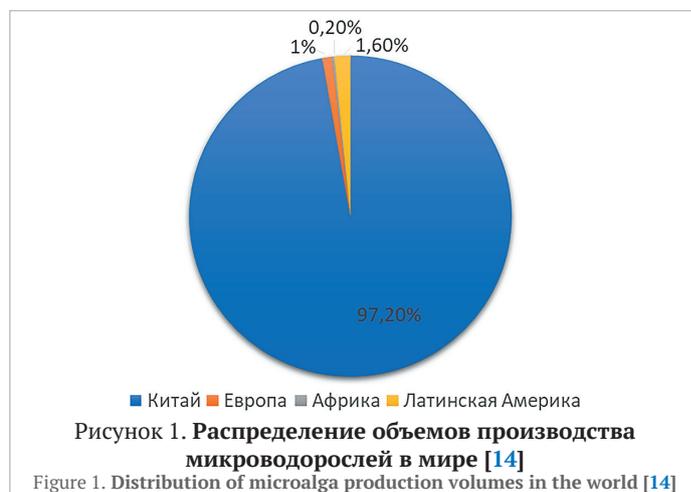
Для удобства биомассу микроводорослей перерабатывают в порошок, таблетки, капсулы, добавляя в различные пищевые продукты. До недавних времен существовала проблема переваривания и утилизации биомассы, так как клетки микроводорослей имеют целлюлозную клеточную стенку, однако на данный момент пути ее решения найдены [16]. Перед коммерческим использованием материал из микроводорослей должен быть проанализирован на нали-

чие различных токсичных соединений [17]. Правила безопасности пищевых продуктов для потребления человека являются основным лимитирующим фактором для биотехнологического применения микроводорослей.

Таблица 1. Виды микроводорослей, используемые в промышленности

Table 1. Microalgae used in the industry

Род/вид микроводоросли	Страны	Вид продукции	Применение
<i>Chlorella sp.</i>	Германия, Япония, Тайвань	Порошки, таблетки, макаронные изделия	Продукты питания, пищевые добавки
<i>Spirulina (Arthrospira)</i>	США, Япония, Индия, Китай	Порошки, таблетки, чипсы, макаронные изделия, фикобилипротеины	Продукты питания, пищевые добавки, косметика
<i>Dunaliella salina</i>	США, Китай, Австралия, Израиль	Порошки, β-каротин	Пищевые добавки, косметика
<i>Haematococcus pluvialis</i>	США, Индия, Израиль	Порошки, астаксантин	Пищевые добавки



3.1. Химический состав

Микроводоросли можно рассматривать как перспективный альтернативный источник питания благодаря их питательным свойствам и химическому составу. Их функциональная ценность обусловлена высоким содержанием белков, полиненасыщенных жирных кислот, полисахаридов, витаминов, пигментов [18]. Способность синтезировать все аминокислоты, в том числе незаменимые, позволяет рассматривать микроводоросли как нетрадиционный источник белков. Например, сушеная масса *Spirulina sp.* содержит все незаменимые аминокислоты и 68% белков, присутствующих в биомассе, что превышает аналогичные показатели говядины в три раза. Другая микроводоросль, *Chlorella sp.*, включает около 60–70% белков, качество которых сопоставимо с белками дрожжей, соевой муки и сухого молока. В целом, содержание белка у разных видов может варьироваться от 30% до 70%. Таким образом, *Spirulina* и *Chlorella* являются основными видами микроводорослей, которые используются в промышленности с целью получения сухой биомассы ввиду высокого содержания белка. Количество липидов в них может превышать 80% по уровню сухой массы, наиболее распространенными значениями являются от 20% до 50% [19], что позволяет применять некоторые микроводоросли для производства биодизельного топлива.

Микроводоросли являются важным источником длинноцепочечных ненасыщенных жирных кислот, которые используются в пищевой промышленности в качестве добавок. Они способны синтезировать представителей семейства омега-6 (ω6), которые включают линолевую кислоту, γ-линолевую кислоту (GLA) и арахидоновую кислоту (ARA), а также семейства омега-3 (ω3), включающего в себя линоленовую кислоту, эйкозапентаеновую кислоту (EPA), докозагексоеновую кислоту (DHA). DHA и EPA снижают риск осложнений при сердечно-сосудистых заболеваниях, артрите и гипертонии. Помимо этого, они проявляют гиполипидемическую активность, снижая уровень триглицеридов и повышая уровень липопротеинов высокой плотности [20]. DHA также имеет значение для развития и функ-

ционирования нервной системы. Несмотря на то, что наиболее привычным и распространенным источником EPA и GLA является жирная рыба, данный способ получения ω3-кислот имеет несколько существенных недостатков: уровни ртути и дифенила часто бывают небезопасными для определенных категорий потребителей (для детей и беременных женщин, так как развивающаяся нервная система очень восприимчива даже к низким уровням этих веществ); наличие неприятного запаха; снижение объемов рыболовства (многие виды выловлены почти до исчезновения). С другой стороны, рыбы получают омега-3 из рациона, богатого микроводорослями, которые и являются первоначальными продуцентами длинноцепочечных ненасыщенных жирных кислот в водной пищевой цепи. Благодаря более высокой продуктивности по сравнению с другими источниками длинноцепочечных ненасыщенных жирных кислот, микроводоросли имеют очень большой потенциал для производства продуктов питания. По всей видимости, особенно подходит для этого индустрия детских смесей, поскольку DHA является необходимым питательным веществом для развивающегося мозга плода, а также имеет определяющее значение в регуляции сетчатки глаза у младенцев [21]. На данный момент на рынке существует несколько компаний, занимающихся промышленным производством DHA. Так, компания Martek (США) разработала и запатентовала два штамма микроводорослей, которые продуцируют масла, богатые DHA. Помимо этого, производством DHA в коммерческих целях занимается компания Lonza (Швейцария). Таким образом, DHA и GLA, полученные из микроводорослей, лучше всего подходят для беременных женщин, детей, вегетарианцев и для пациентов с аллергией на рыбу.

Пигменты микроводорослей относятся, как правило, к трем классам: хлорофиллы; каротины; фикобилипротеины. Они обладают рядом полезных свойств, а именно противовоспалительным, гипотензивным, противоопухолевым, антиоксидантным, антидепрессивным [22], однако их основным применением на данный момент является использование в качестве пищевых красителей. Наибольший интерес для биотехнологии представляют пигменты класса каротинов и фикобилипротеинов. Так, микроводоросль *Spirulina* содержит в 10 раз больше β-каротина по сравнению с любым продуктом питания, включая морковь [23]. β-каротин представляет собой ярко окрашенный оранжевый пигмент, который является предшественником витамина А — широко признанного фактора, влияющего на здоровье детей. Его дефицит приводит к нарушениям зрения и к патологиям легких, трахеи, полости рта. Помимо этого, β-каротин обладает противовоспалительной, противовоспалительной и антиоксидантной активностью [24]. Астаксантин — еще один пигмент, относящийся к классу каротинов, использование которого в пищевых целях было одобрено Управлением по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств США (FDA) в 1999 году. Он также обладает рядом полезных свойств, среди которых антидиабетическое, антиоксидантное, противовоспалительное. Фикоцианин — пигмент, относящийся к классу фикобилипротеинов и имеющий уникальный синий цвет, который также используется в пищевой промышленности. Помимо этого, клетки микроводорослей содержат витамины С и Е, никотиновую кислоту, биотин и токоферол. Все перечисленные выше соединения пользуются высоким и постоянно растущим спросом на рынке. *Dunaliella salina* и *Haematococcus pluvialis* являются наиболее часто применяемыми видами микроводорослей для промышленного получения каротинов, так как для них характерен высокий уровень накопления этих соединений.

Микроводоросли также содержат большое количество клетчатки [25] и полисахаридов, из которых агар, каррагинаны, альгинаты являются наиболее экономически важными, так как используются в пищевой промышленности в качестве гелирующих веществ или загустителей в мороженом и мармеладе. Некоторые полисахариды микроводорослей имеют фармакологическое значение, стимулируя иммунную систему человека или обладая потенциально противовирусной активностью [26].

3.2. Применение и технологии производства

Несмотря на положительные стороны использования микроводорослей, на данный момент количество продуктов на их основе достаточно ограничено. В целом, существует две основные категории продуктов пищевого рынка, полученных из микроводорослей [16]. Первая категория — сушеные микроводоросли, в частности, виды родов *Chlorella* и *Spirulina*, характеризующиеся высокой питательной ценностью, а также содержанием витаминов В12, С, D2. Такие продукты могут продаваться в качестве пищевых добавок в виде порошка или таблеток, и на сегодняшний день именно они являются наиболее распространенными и имеют наибольшие объемы

производства. Помимо этого, их используют как добавки к пищевым продуктам, например, к чипсам и макаронным изделиям. Вторая категория — ценные соединения, экстрагированные из клеток микроводорослей: пигменты (фикоцианин, астаксантин), антиоксиданты (β-каротин) и жирные кислоты (DHA/EPA). Данная категория продуктов имеет гораздо меньший объем производства, зато обладает большим рыночным потенциалом. К примеру, объемы производства полиненасыщенных жирных кислот достигают всего 240 т в год [27].

Технологии промышленного пищевого производства микроводорослей в целом можно разделить на несколько этапов: культивирование в питательной минеральной среде, получение биомассы путем осаждения, затем ее сушка и измельчение. В процессе культивирования необходимо обеспечить культуру нужным количеством света, диоксида углерода, воды и минерального состава. В питательной среде должен содержаться необходимый для формирования клеток набор микро- и макроэлементов, в числе которых азот, фосфор, железо, магний. Культивирование происходит при постоянной температуре (20–30 °С, зависит от штамма) и сопровождается непрерывным перемешиванием и аэрацией для предотвращения осаждения клеток и накопления растворенного кислорода. Для промышленного выращивания микроводорослей используют открытые и закрытые системы [15].

Открытые системы представляют собой обычные пруды с доступом воздуха. К негативным особенностям их применения можно отнести зависимость от погодных условий, высокий риск их загрязнения, затраты на воду; к положительным — низкие расходы на строительство и легкость в обслуживании. Глубина открытых систем обычно не превышает 30 см. Циркуляция воды с питательными веществами осуществляется по кругу с помощью механического рычага. Данный тип систем сильно восприимчив к появлению хищных микроводорослей, паразитов или других штаммов, которые растут и развиваются быстрее, чем желаемые виды микроводорослей. В связи с этим только несколько родов подходят для данного типа производства, например, *Spirulina* sp. и *Dunaliella* sp. Совокупность сложностей при открытом типе производства приводит к низким объемам получаемого продукта.

Закрытые системы — фотобиореакторы — обеспечивают стерильность культуры, более эффективны, позволяют намного лучше контролировать условия культивирования (рН, CO₂, O₂), предотвращают испарение и сокращают потребление воды, а также увеличивают объемную производительность. Затраты на установку и эксплуатацию фотобиореакторов гораздо выше по сравнению с открытыми системами. Тип устройства, обеспечивающего перемешивание культуральной жидкости, играет важную роль в производительности фотобиореактора и в значительной степени влияет на его итоговую стоимость. Циркуляция культуры необходима для предотвращения перемешивания клеток, перепадов температур и рН внутри системы, а также с целью обеспечения распределения питательных веществ и подачи CO₂. Однако чрезмерное перемешивание клеток может приводить к их повреждению и гибели. По этой причине выбор интенсивности циркуляции и типа устройства должен быть опосредован особенностями культивируемого организма. Наиболее распространены два типа фотобиореакторов: трубчатые и плоские. Трубчатые фотобиореакторы состоят из прозрачных трубок, соединенных между собой, где непрерывно прокачивается культура микроводорослей. Как и в любой другой системе, кислород быстро накапливается в результате фотосинтеза, что приводит к стремительному увеличению парциального давления, в связи с чем в этом типе фотобиореактора используют дегазационный сосуд, обеспечивающий его выход. Длина трубок и скорость жидкости в трубчатых фотобиореакторах являются важными конструктивными параметрами, их значения обычно варьируются от 50 до 100 метров для длины и от 2 до 0,5 м/с для скорости потока. Примерами компаний, использующих трубчатые фотобиореакторы, являются AlgaeEnergy (Испания) и Roquette (Германия). Вертикальные панельные фотобиореакторы состоят из прозрачных прямоугольных емкостей высотой от 10 см до 100 см и длиной, которая может составлять десятки метров. Содержимое панелей перемешивается благодаря газации воздухом, который нагнетается по всей длине нижних частей панелей. Несмотря на необходимость в газации, культуру микроводорослей не нужно пропускать через дегазационный сосуд с высокой скоростью, поэтому конечные затраты на энергопотребление существенно ниже, чем в трубчатых фотобиореакторах. Однако масштабирование фотореакторов данного типа является более сложной задачей. На данный момент существующие панельные вертикальные фотобиореакторы представляют собой пилотные системы, занимающие несколько десятков квадратных метров. Примерами компаний,

использующих фотобиореакторы данного типа, являются Ecoduna (Австрия) и Phytolutions (Германия).

Также существует третий тип закрытых систем — ферментеры для гетеротрофного культивирования. Данный способ подходит для некоторых видов микроводорослей, но требует источника органического вещества, что увеличивает затраты и снижает экологичность. Выращивание микроводорослей таким образом предполагает применение стального ферментера объемом до 100 000 л и с плотностью культуры 30–100 г/л.

Для получения сухой биомассы в промышленном производстве задействуют несколько видов сушек. Наиболее простым способом является использование распылительной сушки — данный метод предполагает обработку биомассы микроводорослей потоком горячего воздуха. При таком типе сушки существует вероятность разрушения белков и витаминов, что, несомненно, ухудшает питательные свойства конечного продукта. Другим, гораздо более приемлемым для пищевой промышленности способом, является лиофильная сушка. Процесс лиофилизации заключается в заморозке биомассы с последующим быстрым испарением воды в безвоздушной среде (под действием вакуума), которое происходит без оттаивания благодаря воздействию низкого давления. Тем самым воздействие вакуума позволяет удалить воду из биомассы без потери ее свойств и исходной структуры. Несмотря на вышеизложенное, на данный момент технологии промышленного производства микроводорослей не являются до конца оптимизированными.

4. Насекомые

4.1. Виды насекомых для использования в пищевой промышленности

Насекомые представляют собой класс беспозвоночных животных, распространенных по всей планете и занимающих самые разнообразные экологические ниши. Употребление насекомых в пищу носит название энтомофагия. Эта практика берет начало с давних времен и особое распространение получила в странах Латинской Америки, Африки и Азии. На сегодняшний день около 2,5 млн человек регулярно принимают насекомых в пищу [28]. Для таких целей используется более 2000 видов из этого класса, среди которых представители отрядов *Coleoptera* (31%), *Orthoptera* (13%), *Hymenoptera* (15%), *Lepidoptera* (18%), *Hemiptera* (11%), *Diptera* (12%), *Odonata* (23%) [29]. Наиболее широкое применение в пищевой промышленности получили *Tenebrio molitor*, *Locusta migratoria*, *Acheta domesticus*. Ввиду способности перечисленных видов синтезировать незаменимые аминокислоты ученые рассматривают их как перспективный альтернативный источник белка.

4.2. Химический состав

Подавляющее большинство насекомых имеет питательную ценность, сопоставимую с обычным мясом. Исследование питательных компонентов более 200 видов насекомых показало, что в основном они состоят из белков и жиров. В Таблице 2 представлены значения уровней белка и жира в традиционной мясной пище животного происхождения в сравнении с одобренными для использования в пищу насекомыми.

Таблица 2. Сравнение массовой доли белка и жира в традиционном мясе и одобренных для применения в пищевых целях насекомых

Table 2. Comparison of mass fractions of protein and fat in traditional meat and insects approved for use with food purposes

	Курица [30]	Говядина [31]	<i>Tenebrio molitor</i> [32]	<i>Locusta migratoria</i> [33]	<i>Acheta domesticus</i> [34]
Белок	22,2%	22,5%	20,3%	50,79%	42–45%
Жир	2,6%	8,7%	13,8%	34,93%	23–29%

Съедобные насекомые соответствуют требованиям ВОЗ по аминокислотному составу, они характеризуются высоким содержанием фенилаланина и тирозина, а также триптофана, лизина и треонина [35]. Наибольшее количество белка содержится в кузнечиках и саранче (*Orthoptera*) и составляет 61% от сухого веса; также высоким показателем белка обладают стрекозы (*Odonata*) — 55% вещества от сухого веса. Наименьшее его содержание в пересчете на сухую массу наблюдается у тараканов и термитов (35%) [36]. Усваиваемость белка насекомых сильно варьируется ввиду того, что часть аминокислот в кутикулярных белках связаны с хитином и компонентами экзоскелета. Характеристики белков насекомых могут меняться в зави-

симости от вида насекомого, пола, стадии развития, метода экстракции [37]. Для их выделения используют различные методы, среди которых водная экстракция, сухое фракционирование, щелочная экстракция [38]. Изменения функциональных возможностей белков насекомых в ходе экстракции тесно связаны с изменением гидрофобности поверхности и заряда.

Липиды представляют собой вторую по величине фракцию в составе съедобных насекомых, их содержание составляет от 10% до 50% в пересчете на сухой вес. Для видов, используемых в пищевой промышленности, характерен высокий уровень полиненасыщенных жирных кислот, в особенности линолевой и линоленовой [39]. Извлечение липидов из насекомых с целью получения пищевых масел было исследовано при помощи метода Сокслета и экстракции Фольха [40]. Процесс экстракции не оказывает влияния на жирнокислотный состав, но сильно воздействует на тип получаемых липидов. Например, при использовании водной экстракции выделяются только триацилглицериды. Такой тип экстракции обеспечивает высокое качество масла, аналогичное натуральным. Применение органических растворителей позволяет получать фосфолипиды и глицериды [41].

Насекомые также содержат набор микро- и макроэлементов: кальция, магния, калия, натрия, железа, марганца. Помимо этого, в них присутствуют витамины (рибофлавин, ниацин, кобаламин, А и Е) (Таблица 3).

Таблица 3. Минеральный состав (мг/кг) некоторых видов насекомых, используемых в пищевой промышленности

Table 3. Mineral composition (mg/kg) of several insect species used in the food industry

Вид	Содержание микроэлементов в насекомых, мг/кг						Источник
	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	
<i>Tenebrio molitor</i> Мучной хрущак	504,8	2450,8	8212,4	1047,1	98,4	14,2	[42]
<i>Acheta domesticus</i> Домовой сверчок	1261,2	1040,6	13318,5	5125,9	77,7	38,1	[43]
<i>Bombyx mori</i> Тутовый шелкопряд	1023,1	2878,6	18,265,9	2745,6	95,4	24,9	[44]
<i>Gryllus bimaculatus</i> Двупятнистый сверчок	1660,9	1073,8	8607,5	3649,5	81,8	66,3	[45]

Исследования по определению биологической активности съедобных насекомых показали, что они обладают противоопухолевой, антиоксидантной, антидиабетической и противовоспалительной активностью [46]. Таким образом, насекомые имеют не только высокую питательную ценность, но и ряд положительных для человеческого здоровья свойств. Соответственно, возможность их применения в качестве функциональных продуктов питания и фармацевтических материалах возрастает.

4.2. Технологии и применение

На данный момент насекомых употребляют в пищу разными способами: целиком (сырых или приготовленных), обработанных (нераспознаваемая форма в пищевой системе) или в виде экстрактов. Пищевая промышленность проявляет активный интерес к этому новому источнику белка, что характеризуется появлением большого числа проектов, направленных на развитие этого направления, и научных публикаций по данной тематике. Мировой рынок съедобных насекомых в течение 10 лет достигнет 8 млрд долларов [37]. В результате такой экспансии, ориентированной в значительной мере на западную культуру, подходы к приготовлению насекомых должны основываться на таких методах обработки, которые превращают их в неузнаваемую форму, например, в порошок (муку). Некоторые авторы обращают внимание, что при использовании термина «мука из насекомых» необходимо соблюдать осторожность, поскольку это создает ложное впечатление у потребителей [47]. В то время как насекомые состоят преимущественно из белка, жира и хитина, зерновая мука (например, пшеничная) содержит крахмал и клетчатку. Несмотря на химические отличия, технологии производства продуктов на основе злаков оказались хорошо применимы и для насекомых, что позволило включить их в состав различных хлебобулочных и макаронных изделий [48]. Еще одним способом интеграции муки насеко-

мых в пищевые матрицы является отделение белков от хитинового экзоскелета с помощью коммерческих протеаз (например, алкалаза) [49]. В результате получают белковые гидролизаты, которые улучшают основные функциональные свойства белков — растворимость, эмульгирование, вспенивание.

Для дальнейшего использования в пищевых целях съедобных насекомых сушат. Различные технологии сушки по-разному влияют на их питательный состав и стабильность, в том числе вызывают изменения в содержании белка, жира и клетчатки в *Tenebrio molitor* [50]. Такие сушки, как микроволновая, в псевдооживленном слое, вакууме, в духовке снижали растворимость белка, в то время как лиофилизация приводила к высокому окислению липидов. Стратегии для оптимизации процесса сушки съедобных насекомых по-прежнему необходимы для обеспечения качества питательных веществ и функциональности продукта.

Использование насекомых в пищевой промышленности одобрило «Европейское управление по безопасности пищевых продуктов» (EFSA). На данный момент EFSA допустило применение в пищу человеком следующих насекомых: мучной хрущак (*Tenebrio molitor*), домовый сверчок (*Acheta domestica*), перелетная саранча (*Locusta migratoria*), мучной хрущак бурый (*Alphitobius diaperinus*). Данные виды считаются безопасными и могут использоваться без ограничений от соответствующих производителей, обязанных контролировать качество своей продукции. Наиболее широкое применение они получили в хлебобулочных изделиях и других продуктах на основе злаков (печенье, хлеб, макароны). Например, в результате замены пшеничной муки 5%-ной мукой, полученной из *Acheta domestica*, *Hermetia illucense* и *Tenebrio molitor*, хлебобулочные изделия приобретали улучшенную форму теста и пониженное водопоглощение [51]. Добавление 10–30% муки, полученной из *Acheta domestica*, приводило к более высокой питательной ценности получаемого продукта ввиду более богатого состава жирных кислот и обогащенности незаменимыми аминокислотами: лизином, тирозином, валином.

Несмотря на множество положительных свойств для здоровья и высокую питательную ценность, использование насекомых в качестве альтернативного источника пищи имеет некоторые ограничения. Во-первых, многие люди избегают непривычной пищи и испытывают отвращение от употребления съедобных насекомых [52]. Присутствие изображения насекомого на рекламных постерах значительно снижает желание у потребителей приобрести данный товар [53]. Тем не менее, отношение людей к такому виду пищи постепенно меняется в лучшую сторону. Например, использование в качестве еды обработанных насекомых, превращенных в порошок, снижает негативные ощущения и представляется наиболее перспективным способом энтомофагии. Так, потребители демонстрировали более положительную эмоциональную реакцию на пищевые продукты, в составе которых содержались насекомые в нераспознаваемой

форме (в виде муки), по сравнению с теми продуктами, где насекомые присутствовали в видимой форме [54]. Во-вторых, основным фактором, определяющим включение съедобных насекомых в рацион человека, является безопасность. В некоторых исследованиях сообщалось о загрязнении съедобных насекомых тяжелыми металлами [55]. В кишечнике насекомых могут продуцироваться микотоксины, вызывающие острые и хронические заболевания [56]. Еще одним риском, связанным с энтомофагией, является аллергенность. У насекомых выявлено более 200 аллергенов, преимущественно являющихся белками. Среди них встречаются мышечные белки (тропомиозин, актин, миоин) и ферменты (аргининкиназа, фосфолипаза А) [52]. В литературе описаны случаи аллергических реакций, связанных с употреблением в пищу насекомых [57]. Тем не менее различные методы обработки позволяют повысить безопасность конечного продукта. Например, способы, использующиеся в традиционных пищевых отраслях, такие как пастеризация и промышленная стерилизация, значительно снижают микробную нагрузку, повышают усвояемость и питательные свойства продукта, инактивируют ферменты [58]. Исследования, проведенные на *Tenebrio molitor* и *Acheta domestica*, показали, что термическая обработка оказалась эффективной в уничтожении бактерий семейства *Enterobacteriaceae* [59]. Традиционные методы обработки, такие как отваривание или кипячение позволяют устранить золотистый стафилококк, сальмонеллу, плесневые грибы и дрожжи в микробиологическом составе *Hermetia illucense*, *Tenebrio molitor*, *Acheta domestica* [60].

5. Выводы

Возрастающие проблемы человечества, связанные с перенаселением планеты, сокращением земельных и водных ресурсов, голодом в некоторых странах актуализируют поиск альтернативных источников питания. Они должны не только обладать необходимым для развития и жизни человека набором питательных компонентов, но и иметь возможность снизить негативное влияние на окружающую среду. На сегодняшний день основной фокус исследований по данной проблеме направлен на две группы организмов — на насекомых и микроводорослей. В этом обзоре рассмотрен их химический состав, применение, технологии получения, а также возможные риски, связанные с употреблением их в пищу. На данный момент известно, что насекомые и микроводоросли характеризуются высоким содержанием белка, витаминов, полиненасыщенных жирных кислот, антиоксидантов, что благоприятно влияет на здоровье человека. Включение насекомых и микроводорослей в пищевые матрицы способно улучшить питательные свойства продукта, увеличить экономическую выгоду, при этом снизив неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Развитие данной области исследований может решить вопрос глобальной продовольственной безопасности и значительно уменьшить негативную нагрузку на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- United Nations (2022). Revision of world population prospects. Retrieved from <https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/keyfindingswpp2015.pdf>. Accessed June 2, 2023.
- Alexandratos, N., Bruinsma, J. (2012). World Agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. Working paper No. 12–05. Rome, FAO, 2012.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J. et al (2013). Tackling climate change through livestock — A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2013.
- Beusen, A. H. W., Bouwman, A. F., Heuberger, P. S. C., Van Drecht, G., Van Der Hoek, K. W. (2008). Bottom-up uncertainty estimates of global ammonia emissions from global agricultural production systems. *Atmospheric Environment*, 42(24), 6067–6077. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.03.044>
- Eisler, M. C., Lee, M. R. F., Tarlton, J. F., Martin, G. B., Beddington, J., Dungait, J. A. J. et al. (2014). Agriculture: Steps to sustainable livestock. *Nature*, 507(7490), 32–34. <https://doi.org/10.1038/507032a>
- Hedenus, F., Wirseni, S., Johansson, D. J. A. (2014). The importance of reduced meat and dairy consumption for meeting stringent climate change targets. *Climatic Change*, 124 (1–2), 79–91. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1104-5>
- Dittami, S. M., Heesch, S., Olsen, J. L., Collén, J. (2017). Transitions between marine and freshwater environments provide new clues about the origins of multicellular plants and algae. *Journal of Phycology*, 53(4), 731–745. <https://doi.org/10.1111/jpy.12547>
- Gouveia, L., Raymundo, A., Batista, A. P., Sousa, I., Empis, J. (2006). *Chlorella vulgaris* and *Haematococcus pluvialis* biomass as colouring and antioxidant in food emulsions. *European Food Research and Technology*, 222(3–4), 362–367. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0105-z>
- Nagappan, S., Das, P., AbdulQuadir, M., Thaher, M., Khan, S., Mahata, C. et al. (2021). Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. *Journal of Biotechnology*, 341, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.09.003>
- Zhuang, D., He, N., Khoo, K. S., Ng, E.-P., Chew, K. W., Ling, T. C. (2022). Application progress of bioactive compounds in microalgae on pharmaceutical and cosmetics. *Chemosphere*, 291, Article 132932. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132932>
- Yin, Z., Zhu, L., Li, S., Hu, T., Chu, R., Mo, F. et al. (2020). A comprehensive review on cultivation and harvesting of microalgae for biodiesel production: Environmental pollution control and future directions. *Bioresour Technol*, 301, Article 122804. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122804>
- Mutum, L., Janda, T., Ördög, V., Molnár, Z. (2022). *Biologia Futura*: potential of different forms of microalgae for soil improvement. *Biologia Futura*, 73(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s42977-021-00103-2>
- Gellenbeck, K. W. (2012). Utilization of algal materials for nutraceutical and cosmeceutical applications — what do manufacturers need to know? *Journal of Applied Phycology*, 24(3), 309–313. <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9722-z>
- FAO (2021). Global seaweeds and microalgae production, 1950–2019 WAPI factsheet to facilitate evidence-based policy-making and sector management in aquaculture. Retrieved from <https://www.fao.org/3/cb4579en/cb4579en.pdf>. Accessed June 10, 2023.
- Enzing, C., Ploeg, M., Barbosa, M., Sijtsma, L. (2014). Microalgae-based products for the food and feed sector: An outlook for Europe. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2014. <https://doi.org/10.2791/3339>
- Günerken, E., D'Hondt, E., Eppink, M. H. M., Garcia-Gonzalez, L., Elst, K., Wijffels, R. H. (2015). Cell disruption for microalgae biorefineries. *Biotechnology Advances*, 33 (2), 243–260. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.01.008>
- Fernández, F. G. A., Reis, A., Wijffels, R. H., Barbosa, M., Verdelho, V., Llamas, B. (2021). The role of microalgae in the bioeconomy. *New Biotechnology*, 61, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.11.011>
- Andrade, L. M., Andrade, C. J., Dias, M., Nascimento, C. A. O., Mendes, M. A. (2018). *Chlorella* and *Spirulina* microalgae as sources of functional foods, nutra-

- ceuticals, and food supplements; an overview. *MOJ Food Processing and Technology*, 6(1), 45–58. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2018.06.00144>
19. Chisti, Yu. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294–306. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>
 20. Jacob-Lopes, E., Maroneze, M. M., Deprá, M. C., Sartori, R. B., Dias, R. R., Zepka, L. Q. (2019). Bioactive food compounds from microalgae: an innovative framework on industrial biorefineries. *Current Opinion in Food Science*, 25, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.12.003>
 21. McCann, J. C., Ames, B. N. (2005). Is docosahexaenoic acid, an n-3 long-chain polyunsaturated fatty acid, required for development of normal brain function? An overview of evidence from cognitive and behavioral tests in humans and animals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 82(2), 281–295. <https://doi.org/10.1093/ajcn.82.2.281>
 22. Soares, A. T., Marques Júnior, J. G., Lopes, R. G., Derner, R. B., Antoniosi Filho, N. R. (2016). Improvement of the extraction process for high commercial value pigments from *Desmodesmus* sp. microalgae. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 27(6), 1083–1093. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160004>
 23. Mohammed, M. K., Mohd, M. K. (2011). Production of carotenoids (antioxidants/colourant) in *Spirulina Platensis* in response to indole acetic acid (IAA). *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 3(6), 4973–4979.
 24. Woodside, J. V., McGrath, A. J., Lyner, N., McKinley, M. C. (2015). Carotenoids and health in older people. *Maturitas*, 80(1), 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2014.10.012>
 25. Molino, A., Iovine, A., Casella, P., Mehariya, S., Chianese, S., Cerbone, A. et al. (2018). Microalgae Characterization for Consolidated and New Application in Human Food, Animal Feed and Nutraceuticals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), Article 2436. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112436>
 26. Barzkar, N., Jahromi, S. T., Poorsaheli, H. B., Vianello, F. (2019). Metabolites from marine microorganisms, micro, and macroalgae: Immense scope for pharmacology. *Marine Drugs*, 17(8), Article 464. <https://doi.org/10.3390/md17080464>
 27. Milledge, J. (2012). Microalgae — Commercial potential for fuel, food and feed. *Food Science and Technology*, 26(1), 26–28.
 28. van Huis, A. (2017). Did early humans consume insects? *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3), 161–163. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.x006>
 29. Liceaga, A. M. (2022). Edible insects, a valuable protein source from ancient to modern times. Chapter in a book: *Advances in Food and Nutrition Research*. Elsevier Academic Press Inc., London, UK; San Diego, CA, USA; Cambridge, MA, USA; Kidlington, Oxford, UK. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.04.002>
 30. National Nutrient Database for Standard reference: report 05062 Chicken. (2019). Retrieved from <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171077/nutrients>. Accessed June 15, 2023.
 31. National Nutrient Database for Standard Reference: Report 23572 Beef, Ground, 80% Lean Meat /20% Fat, Raw. (2023). Retrieved from <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2514744/nutrients>. Accessed June 15, 2023.
 32. Liceaga, A. M., Aguilar-Toalá, J. E., Vallejo-Córdova, B., González-Córdova, A. F., Hernández-Mendoza, A. (2022). Insects as an alternative protein source. *Annual Review of Food Science and Technology*, 13(1), 19–34. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-112445>
 33. Clarkson, C., Mirosa, M., Birch, J. (2018). Potential of extracted *Locusta Migratoria* protein fractions as value-added ingredients. *Insects*, 9(1), Article 20. <https://doi.org/10.3390/insects9010020>
 34. Montowska, M., Kowalczewski, P. Ł., Rybicka, I., Fornal, E. (2019). Nutritional value, protein and peptide composition of edible cricket powders. *Food Chemistry*, 289, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062>
 35. Nsevolo Miankeba, P., Taofic, A., Kiatoko, N., Mutiaka, K., Francis, F., Caparros Megido, R. (2022). Protein content and amino acid profiles of selected edible insect species from the Democratic Republic of Congo relevant for transboundary trade across Africa. *Insects*, 13(11), Article 994. <https://doi.org/10.3390/insects13110994>
 36. Liceaga, A. M. (2021). Processing insects for use in the food and feed industry. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 32–36. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.08.002>
 37. Kim, T.-K., Cha, J. Y., Yong, H. I., Jang, H. W., Jung, S., Choi, Y.-S. (2022). Application of edible insects as novel protein sources and strategies for improving their processing. *Food Science of Animal Resources*, 42(3), 372–388. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2022.e10>
 38. Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A., Salinas-Castro, A. (2019). Edible insects processing: Traditional and innovative technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1166–1191. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>
 39. Anankware, J. P., Roberts, B. J., Cheseto, X., Osuga, I., Savolainen, V., Collins, C. M. (2021). The nutritional profiles of five important edible insect species from West Africa — An analytical and literature synthesis. *Frontiers in Nutrition*, 8, Article 792941. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.792941>
 40. Purschke, B., Stegmann, T., Schreiner, M., Jäger, H. (2017). Pilot-scale supercritical CO₂ extraction of edible insect oil from *Tenebrio molitor* L. larvae — Influence of extraction conditions on kinetics, defatting performance and compositional properties. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(2), Article 1600134. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600134>
 41. Tzompa-Sosa, D. A., Yi, L., van Valenberg, H. J. F., van Boekel, M. A. J. S., Lakemond, C. M. M. (2014). Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Research International*, 62, 1087–1094. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.052>
 42. Ghosh, S., Lee, S.-M., Jung, C., Meyer-Rochow, V. B. (2017). Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2), 686–694. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.04.003>
 43. Rumpold, B. A., Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(5), 802–823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
 44. Wang, J., Wang, C., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Feng, Y. (2019). Contents of mercury and selenium in common edible and medicinal insects in Yunnan and their correlation analysis. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 34(6), 1033–1040. [https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201903014](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201903014) (In Chinese)
 45. He, Z., Sun, L., Wang, C. Y., Feng, Y., Zhao, M. (2021). Nutritional composition analysis and evaluation of the two-spotted cricket *Gryllus bimaculatus* (Orthoptera: Gryllidae). *Biotic Resources*, 3, 303–308. <http://doi.org/10.14188/j.ajsh.2021.03.012> (In Chinese)
 46. Lee, J. H., Kim, T.-K., Jeong, C. H., Yong, H. I., Cha, J. Y., Kim, B.-K. et al. (2021). Biological activity and processing technologies of edible insects: a review. *Food Science and Biotechnology*, 30(8), 1003–1023. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00942-8>
 47. Dossey, A. T., Tatum, J. T., McGill, W. L. (2016). Modern Insect-Based Food Industry: Current Status, Insect Processing Technology, and Recommendations Moving Forward. Chapter in a book: *Insects as Sustainable Food Ingredients*. Elsevier Academic Press Inc., London, UK; San Diego, CA, USA; Cambridge, MA, USA; Kidlington, Oxford, UK, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00005-3>
 48. Carcea, M. (2020). Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, 9(9), Article 1298. <https://doi.org/10.3390/foods9091298>
 49. Liceaga, A. M. (2019). Approaches for utilizing insect protein for human consumption: Effect of enzymatic hydrolysis on protein quality and functionality. *Annals of the Entomological Society of America*, 112(6), 529–532. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz010>
 50. Kröncke, N., Böschen, V., Woyzichowski, J., Demtröder, S., Benning, R. (2018). Comparison of suitable drying processes for mealworms (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 50, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.009>
 51. Schlüter, O., Rumpold, B., Holzhauser, T., Roth, A., Vogel, R. F., Quasiroch, W. et al. (2017). Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(6), Article 1600520. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600520>
 52. Ruby, M. B., Rozin, P., Chan, C. (2015). Determinants of willingness to eat insects in the USA and India. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(3), 215–225. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0029>
 53. Baker, M. A., Shin, J. T., Kim, Y. W. (2016). An exploration and investigation of edible insect consumption: The impacts of image and description on risk perceptions and purchase intent. *Psychology and Marketing*, 33(2), 94–112. <https://doi.org/10.1002/mar.20847>
 54. Gmuer, A., Guth, J. N., Hartmann, C., Siegrist, M. (2016). Effects of the degree of processing of insect ingredients in snacks on expected emotional experiences and willingness to eat. *Food Quality and Preference*, 54, 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.07.005>
 55. Kitahara, Y., Nomura, H., Nishihara, N., Ueda, T., Watanabe, S., Saito, I. et al. (2022). Survey of arsenic/heavy metals and pesticide residues in edible insects for human consumption or supplied in Japan. *Food Hygiene and Safety Science (Shokuhin Eiseigaku Zasshi)*, 63(4), 136–140. <https://doi.org/10.3358/shokueishi.63.136> (In Japanese)
 56. Evans, N. M., Shao, S. (2022). Mycotoxin metabolism by edible insects. *Toxins*, 14(3), Article 217. <https://doi.org/10.3390/toxins14030217>
 57. Kamemura, N., Sugimoto, M., Tamehiro, N., Adachi, R., Tomonari, S., Watanabe, T. et al. (2019). Cross-allergenicity of crustacean and the edible insect *Gryllus bimaculatus* in patients with shrimp allergy. *Molecular Immunology*, 106, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.12.015>
 58. Agbemafle, I., Hadzi, D., Amagloh, F. K., Zotor, F. B., Reddy, M. B. (2020). Nutritional, microbial, and sensory evaluation of complementary foods made from blends of orange-fleshed sweet potato and edible insects. *Foods*, 9(9), Article 1225. <https://doi.org/10.3390/foods9091225>
 59. Klunder, H. C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J. M., Nout, M. J. R. (2012). Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*, 26(2), 628–631. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.02.013>
 60. Nyangena, D. N., Mutungi, C., Imathiu, S., Kinyuru, J., Affognon, H., Ekesi, S. et al. (2020). Effects of traditional processing techniques on the nutritional and microbiological quality of four edible insect species used for food and feed in East Africa. *Foods*, 9(5), Article 574. <https://doi.org/10.3390/foods9050574>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Сутула Глеб Игоревич — младший научный сотрудник, лаборатория промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный проспект, 55 Тел.: +7-812-273-75-24 E-mail: capitals2016@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2781-9035 * автор для контактов</p>	<p>Gleb I. Sutula, Junior Researcher, Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations, All-Russia Research Institute for Food Additives 55, Liteyny Prospekt, Saint Petersburg, 191014, Russia Tel.: +7-812-273-75-24 E-mail: capitals2016@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2781-9035 * corresponding author</p>
<p>Рябухин Дмитрий Сергеевич — кандидат химический наук, заведующий лабораторией промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный проспект, 55 Тел.: +7-812-273-75-24 E-mail: d.ryabukhin@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5345-0038</p>	<p>Dmitry S. Ryabukhin, Candidate of Chemical Sciences, Head of Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations, All-Russia Research Institute for Food Additives 55, Liteyny Prospekt, Saint Petersburg, 191014, Russia Tel.: +7-812-273-75-24 E-mail: d.ryabukhin@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5345-0038</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p>The authors declare no conflict of interest.</p>