

РАЗДЕЛ V. ОБЗОРЫ

УДК 613.28:595.7

СЪЕДОБНЫЕ НАСЕКОМЫЕ И РОЛЬ *TENEBRIO MOLITOR* В ПИЩЕВОЙ ИНДУСТРИИ

¹Й.Н. Йорданов,

²М.М. Рускова: ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7672-2614>,

²Т.В. Петрова: ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5447-9577>,

²М.М. Момчилова: ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0328-6844>

¹Национальный центр инфекционных и паразитарных
заболеваний, г. София

²Институт хранения, переработки и качества пищевых
продуктов, г. Пловдив, Республика Болгария

EDIBLE INSECTS AND THE ROLE OF *TENEBRIO* *MOLITOR* IN THE FOOD INDUSTRY

¹Y. N. Yordanov,

²M. M. Ruskova: ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7672-2614>,

²T. V. Petrova: ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5447-9577>,

²M. M. Momchilova: ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0328-6844>

¹National Center of Infectious and Parasitic Diseases, Sofia

²Institute of Food Preservation and Quality, Plovdiv, Bulgaria

Реферат

Цель исследования: обсуждение возможности употребления в пищу населением съедобных насекомых в связи с их высокой пищевой, экономической и экологической ценностью с акцентом на *Tenebrio molitor* в качестве одного из наиболее перспективных видов для использования в пищевой промышленности, а также оценка его потенциала в экономике замкнутого цикла, как альтернативы традиционным пищевым продуктам.

Материал и методы исследования. Проведен анализ литературных источников по соответствующей теме.

Результаты исследования. В статье рассматриваются съедобные насекомые как устойчивая альтернатива традиционным источникам пищи. Особое внимание уделено *Tenebrio molitor* – его питательной ценности, экологическим преимуществам и потенциалу применения в пищевой промышленности. Отмечаются также возможные риски и необходимость дальнейших исследований и нормативного регулирования.

Выводы. Съедобные насекомые, в частности *Tenebrio molitor*, представляют собой надежный источник пищи, богатый белком, который может рассматриваться в качестве альтернативы традиционным вариантам.

Потенциал для применения в пищевой промышленности *Tenebrio molitor* значителен, как с точки зрения пищевой ценности, так и в связи с его экологичностью и экономичностью.

Для более широкого внедрения в пищевую индустрию *Tenebrio molitor* необходимы четкое правовое регулирование, углубленные дополнительные научные исследования и повышение степени осведомленности потребителей о пользе рассматриваемых насекомых.

Разработка инновационных пищевых продуктов с использованием *Tenebrio molitor* может способствовать решению глобальной мировой проблемы по обеспечению производства необходимых объемов пищи и рационализации питания населения.

Ключевые слова: съедобные насекомые, *Tenebrio molitor*, пищевая ценность, потенциальные риски.

Abstract

Objective: discussion of the possibility of eating edible insects by the population in connection with their high food, economic and environmental value, with an emphasis on *Tenebrio molitor* as one of the most promising species for use in the food industry, as well as an assessment of its potential in a circular economy as an alternative to traditional food products.

Material and methods. An analysis of the literature on the relevant topic was carried out.

Results. This article examines edible insects as a sustainable alternative to traditional food sources. Particular attention is paid to *Tenebrio molitor*, its nutritional value, environmental benefits and potential for use in the food industry. Potential risks and the need for further research and regulation are also noted.

Conclusions. Edible insects, in particular *Tenebrio molitor*, are a reliable protein-rich food source that can be considered as an alternative to traditional variants.

The potential for application in the food industry *Tenebrio molitor* is significant, both in terms of nutritional value and due to its environmental friendliness and economy.

For greater adoption in the food industry, *Tenebrio molitor* requires clear legal regulation, in-depth additional scientific research and increased consumer awareness of the benefits of the insects in question.

The development of innovative food products using *Tenebrio molitor* can contribute to solving the global problem of ensuring the production of the necessary volumes of food and rationalizing the nutrition of the population.

Keywords: edible insects, *Tenebrio molitor*, nutritional value, potential risks.

Введение. В настоящее время в условиях глобального недоедания населения многих стран мира съедобные насекомые рассматриваются в качестве альтернативы традиционным пищевым продуктам, так как они обладают не только высокой пищевой ценностью, но их производство является достаточно экологичным.

Пищевая ценность съедобных насекомых, в первую очередь, определяется высоким содержанием в них белков. Причем современное промышленное производство вполне способно круглогодично стабильно обеспечивать получение больших объемов этой продукции даже при ограниченных водных и энергетических ресурсах, минимально загрязняя среду обитания,

что позволяет рассматривать конечный продукт в качестве серьезной альтернативы традиционному животноводству. Существующие же потенциальные риски, включая возможность развития аллергических реакций при употреблении в пищу блюд, изготовленных из рассматриваемого сырья и пищевых продуктов, возможность их микробиологического и химического загрязнения, а также необходимость в дополнительном правовом урегулировании, в настоящее время находятся в фокусе научной дискуссии.

С этой точки зрения, особое внимание исследователей привлекает мучной червь *Tenebrio molitor* (далее – *T. molitor*), как один из перспективнейших видов съедобных насекомых, который может быть использован в пищевой промышленности.

В частности, активно изучаются ключевые аспекты, связанные с разведением *T. molitor*, его питательной ценностью, технологической обработкой и возможностью введения в состав разных пищевых продуктов в качестве инновационного ингредиента. Кроме того, внимание исследователей привлекают вопросы совершенствования нормативной базы и приемлемость подобного рода пищевых продуктов для потребителей как в национальном, так и в мировом масштабе.

Цель исследования: обсуждение возможности употребления в пищу населением съедобных насекомых в связи с их высокой пищевой, экономической и экологической ценностью с акцентом на *T. molitor* в качестве одного из наиболее перспективных видов для использования в пищевой промышленности, а также оценка его потенциала в экономике замкнутого цикла, как альтернативы традиционным пищевым продуктам.

Материал и методы исследования. Проведен анализ литературных источников по соответствующей теме.

Результаты исследования и их обсуждение.

Съедобные насекомые – их польза и экологические преимущества

Новые тенденции питания, связанные с применением и потреблением насекомых, непрерывное расширение Европейской

нормативной базы, распространяющейся на их применение как дополнительный источник белка, направлены на популяризацию этого вида алиментарной индустрии. Несмотря на то, что ее рыночный сегмент все еще небольшой, в последнее время во всем мире наметилась выраженная тенденция к расширению рынка съедобных насекомых и изготовленных из них пищевых продуктов [1, 50].

В течение ряда последних лет съедобные насекомые стали определенным вызовом в создании инновационных решений питания как альтернативы традиционным пищевым культурам.

По мнению ряда исследователей, насекомые обладают многочисленными характеристиками, обнаруживающими их полезный потенциал как высокоэнергетического продукта для питания населения. И даже, несмотря на то обстоятельство, что для многих людей идея употребления в пищу насекомых все еще может показаться странной, в настоящее время показано, что они являются чрезвычайно богатыми источниками белка, причем высококачественного, обладающего практически полным аминокислотным составом (46-96%), а также включающим незаменимые жирные кислоты (далее – ЖК), при оптимальном соотношении вариантов омега-3 к омега-6, клетчатку, витамины, минералы (Ca, Zn, Cu, Mn) и прочие биологически активные компоненты [17, 45].

В литературе показано, что выращивание насекомых для употребления в пищу животными и человеком может сопровождаться рядом экологических преимуществ, поскольку этот процесс оказывает минимальное воздействие на изменение климата. Кроме того, такого рода производство является экономически эффективным, требует значительно меньше затрат водных ресурсов и сопровождается меньшими объемами выбросов углекислого газа в атмосферу по сравнению со стандартным животноводством.

Следует также отметить, что насекомые обладают более высокой эффективностью преобразования (способностью преобразовывать съеденную пищу в увеличение веса) и требуют

в 12 раз меньше пищи для производства того же количества белка по сравнению с говядиной. При этом уход за ними минимальный, а производственное пространство можно использовать значительно более эффективно, так как насекомые выращиваются на очень небольших площадях по сравнению с сельскохозяйственными культурами или скотом [19, 28].

Глобальное недоедание и перспективы развития современной пищевой индустрии

Потребление насекомых не является чем-то новым, так как они издавна считаются чрезвычайно питательной пищей во многих странах Африки, Азии, Австралии, Океании и Латинской Америки.

Во многих странах мира съедобные насекомые входят в традиционное меню, являясь важнейшим источником белков для местных жителей.

Несмотря на то, что для большинства населения насекомые не входят в повседневный рацион и их потребление кажется многим людям необычным явлением, они все же выполняют крайне важную роль в повседневном питании свыше 2 млрд. человек во всем мире.

Так, подсчитано, что населением употребляются в пищу свыше 2000 видов насекомых, среди которых наиболее часто встречающимися являются разные виды жуков, гусениц, пчел, ос, муравьев, кузнечиков, сверчков, стрекоз, термитов, мух и тараканов.

В настоящее время, по подсчетам экспертов Всемирной организации здравоохранения, около 1 млрд. жителей на планете голодают, а к 2050 г. прогнозируемое количество голодающих еще более возрастет. Поэтому разведение насекомых рассматривается как потенциальное решение, способное обеспечить питанием постоянно возрастающее население планеты [1, 50].

Существуют предприниматели, которые пробуют организовать бизнес по производству съедобных насекомых не только в Африке, Азии и Латинской Америки, но и во многих иных регионах мира, надеясь на изменение диеты современного человека.

Так, например, в настоящее время в Таиланде уже существуют тысячи успешных ферм по выращиванию насекомых. Причем этот бизнес приносит таиландским предпринимателям ежегодную прибыль приблизительно в размере 19 млн. евро с постоянной тенденцией к ее возрастанию в ближайшие годы до уровня в 250 млн. евро. По мнению исследователей, глобальный спрос на белки из съедобных насекомых и рынок на их сбыт может пережить заметный рост, и даже в Европе население способно изменить свои вкусовые предпочтения в сторону более активного употребления в пищу пищевых продуктов, изготовленных из насекомых [34, 38].

Потребление съедобных насекомых и потенциальный риск

Другая точка зрения связана с отрицательным отношением населения европейских стран к употреблению в пищу съедобных насекомых.

Как свидетельствуют результаты современных исследований, эта новая для европейцев категория пищевых продуктов все еще часто является неприемлемой и отталкивающей для большинства жителей Старого континента. Причем у населения существуют многочисленные предрассудки и опасения по поводу того, что обычные пищевые продукты (макароны, хлеб, печенье, смути, соусы и др.) с добавлением протеинов из насекомых могут появиться на прилавках магазинов без соответствующего уведомления потребителей [28, 50].

Однако и европейцы, хотя и более медленными темпами, начинают проявлять все более возрастающий интерес к этой мировой тенденции, осознавая, что у съедобных насекомых есть перспективное будущее в качестве недорогой и легкодоступной пищи, производство которой оказывает наименьшее воздействие на среду обитания и процессы глобального потепления. Поэтому исследователями ожидается, что эта категория пищевых продуктов, уже обычная для многих жителей планеты, совсем в недалеком будущем завладеет и прилавками европейских магазинов.

Тем не менее, рассматриваемая категория пищевых продуктов в обозримой перспективе вряд ли сумеет вычеркнуть куриное мясо

и свинину из традиционной трапезы болгар. Поэтому, несмотря на то, что аргументы, выдвигаемые сторонниками съедобных насекомых, довольно многочисленны и разнообразны, они все же являются весьма дискуссионными и нередко рассматриваются их некоторыми оппонентами в качестве чисто пропагандистских, а другими исследователями – как способные ограничить свободный выбор потребителей [6, 16].

Проведение исследовательских и образовательных программ по введению насекомых в пищевые продукты могло бы заметно изменить перспективы пищевой промышленности и привести к резкому увеличению спроса и разведения съедобных насекомых в качестве устойчивых источников белка. Поэтому ряд исследователей считает, что для получения потенциальных выгод от употребления населением насекомых в пищу, необходимо применять мультидисциплинарный подход, основанный на разработке подходящих систем культивирования насекомых в разных условиях среды обитания с обеспечением наиболее оптимального и полноценного по составу корма для каждого их вида. Кроме того, важным представляется дополнительное изучение пищевых привычек потребителей и их восприятия насекомых как источников пищи, а также дополнительное изучение воздействия подобного рода пищевых продуктов на состояние здоровья человека, ознакомление широких слоев населения с их полезными свойствами, то есть важны как маркетинг, так и реклама [20].

При создании любого пищевого продукта, а также и при разработке продуктов с добавлением насекомых, особое внимание, по мнению исследователей, следует обратить на их безопасность. Причем при сравнении насекомых с более традиционными источниками белка необходимо учитывать все аспекты, которые будут указывать на то, в какой степени разведение насекомых является хорошим выбором для потребителей.

Так, несмотря на то, что немало людей в мире потребляют насекомых в заметных объемах, не страдая неблагоприятными последствиями для здоровья, все же существующий потенциальный риск применения насекомых в пищевых целях не

стоит недооценивать, особенно при возможных технологических нарушениях в процессе промышленной переработки. В противном случае риск для здоровья вполне может быть реализован вследствие наступления расстройства функционирования органов желудочно-кишечного тракта, а также развития токсических эффектов или аллергических реакций. Причем людям, страдающим аллергией на ракообразных, следует быть особенно осторожными, так как результаты ряда проведенных исследований свидетельствуют о том, что насекомые способны вызвать подобную реакцию организма. В частности, зарегистрированы анафилактические реакции при употреблении в пищу съедобных видов гусениц, кузнечиков, пчел, цикад или шелкоистых червей [21, 43].

Из информации о риске, связанном с употреблением в пищу насекомых, опубликованной Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов (далее – EFSA), следует, что имеются возможные биологические, химические и экологические риски, связанные с выращиваемыми насекомыми. В этом отчете также отмечается, что целесообразно провести дополнительные исследования для более точного определения степени этих рисков.

В этом аспекте употребление в пищу свободно живущих диких насекомых, собранных в районах, где применялись пестициды, способно усугубить возможные проблемы со здоровьем. В связи с тем, что некоторые фермы по разведению насекомых не соответствуют высоким гигиеническим стандартам, для обеспечения безопасности и минимизации риска употребления насекомых в пищу необходимы их контролируемое разведение и соответствующая кулинарная обработка, а проводимые исследования должны быть сосредоточены на необходимости постоянного мониторинга этих ферм, в том числе и для предотвращения распространения разного рода инфекционных и паразитарных заболеваний.

Исследователи отмечают, что если во всем мире потребляются сотни видов насекомых, то ожидается, что спрос на съедобных насекомых в странах Европейского союза ограничится

всего несколькими их видами, включая сверчков, кузнечиков, мух и мучных червей. Несмотря на это, EFSA уже оценило гигиенические и токсикологические риски, связанные со съедобными насекомыми, отмечая, что необходимо провести дополнительные исследования их состава, а также профиля питательных веществ, чтобы полностью включить съедобных насекомых в качестве пищевых продуктов в законодательство Европейского Союза (ЕС). По мере проведения таких исследований конкретные правила в отношении пищевых продуктов из насекомых, как и любых других пищевых продуктов, предназначенных для потребления человеком, постоянно расширяются и уже разработаны определенные правила относительно кузнечиков, домашних сверчков и личинок мучных хрущаков [2, 10, 13].

В частности, EFSA уже опубликовало научное заключение о безопасности сушеных личинок *T. molitor*, в котором рассматривается возможность использования цельных сушеных мучных червей в качестве закусок, а также порошка из них при добавлении его в различные пищевые продукты (например, в выпечку, энергетические батончики, макаронные изделия). С 1 июня 2021 года вступил в силу Регламент ЕС 2021/882, разрешающий размещение на рынке сушеных личинок *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae) – желтого мучного червя (личиночная форма мучного хрущака) в качестве нового пищевого продукта. Это решение привлекло внимание к *T. molitor*, поскольку это первое положительное заключение EFSA относительно насекомых, как нового пищевого продукта в соответствии с Регламентом ЕС 2015/2283 [40].

Выращивание, пищевая ценность и экономический потенциал T. molitor

Разведение мучного червя (*T. molitor*) является одним из наиболее перспективных сегментов быстроразвивающегося глобального рынка съедобных насекомых. Считается, что это один из наиболее приемлемых видов насекомых, так как его вкусовые качества намного привлекательнее для среднего европейца, чем такие виды, как тараканы или муравьи [18], так как их органолептические свойства характеризуются хрупкостью

текстуры, подчеркнутым вкусом орехов и злаковых и менее выраженным вкусом овощей [32]. Кроме того, *T. molitor* рассматривается, как богатый источник белков, жиров, витаминов и минералов [45]. Этими обстоятельствами можно объяснить проведение в последние годы довольно обширных исследований по изучению пищевой ценности *T. molitor*, условий его выращивания, экстракции белков, технологических функциональных свойств полученных белковых пищевых продуктов.

T. molitor, обычно называемый «желтым мучным хрущак», принадлежит к семейству *Tenebrionidae* или «темных жуков», которое является пятым по величине семейством отряда жесткокрылых, насчитывающим более 14 000 видов, расселенных по всему миру и наиболее распространенных в северных умеренных регионах.

T. molitor питается злаками и очень часто является вредителем запасов пищевого сырья и пищевых продуктов (например, муки, отрубей и пр.).

Жизненный цикл этого насекомого с полным превращением обычно короткий и состоит из четырех стадий: яйца, личинки, куколки и имаго, которые происходят в одной и той же экосистеме [41, 42].

Чаще всего жизненный цикл *T. molitor* короткий и занимает около 60 дней, но может длиться и гораздо дольше (например, 1–2 года) в зависимости от условий среды обитания, например, температуры и относительной влажности, а также рациона питания и размера популяции [11, 41].

Для *T. molitor* характерно отложение яиц длиной 1,7–1,8 мм и шириной 0,6–0,7 мм, белой окраски и блестящих, бобовидной формы, покрытых липкой секреторной жидкостью, которые откладываются поодиночке или группами. Выход личинок из яиц значительно зависит от температуры и может продолжаться от 4-х (при 26–30°C) до 34-х дней (при 15°C), а оптимальным периодом являются 2 недели при 25°C [11, 22].

Личинки *T. molitor* характеризуются удлинённой цилиндрической формой и при полном развитии достигают

длины 25 мм и весят обычно 0,2 г. Первоначально белая их окраска постепенно переходит в желто-коричневую. Период развития может продолжаться от 3–6 месяцев до 2 лет (если условия не благоприятствуют превращению в куколку) и обычно это происходит зимой. За этим периодом следует этап метаморфозы, за время которого *T. molitor* приобретает форму «С».

Окукливание *T. molitor* происходит весной и может продолжаться от 7-ми дней при 25÷35°C до 48-ми дней при 15°C. Куколки желтого цвета, длиной 1 см. Они не могут питаться из-за отсутствия рта и ануса. В начале лета они превращаются во взрослых насекомых, которые существуют уже в твердом панцире, имеют блестяще коричнево-черную окраску, длина их составляет 1,0–1,4 см, а продолжительностью жизни – от 16-ти до 173-ти дней.

Взрослые самки откладывают около 40 яиц в день, а их плодовитость колеблется в пределах 250–1000 яиц за весь жизненный цикл [11, 22, 41].

В связи с растущим интересом к чрезвычайно полезным питательным свойствам *T. molitor* объемы их промышленного производства постоянно увеличиваются.

По мнению исследователей, выращивание *T. molitor* в промышленных масштабах в условиях быстрорастущего мирового рынка съедобных насекомых весьма перспективно, поскольку требует относительно небольших ресурсных затрат, а сам процесс относительно прост и скоротечен, так как развитие личинок *T. molitor* завершается всего за 2–3 месяца. Такая эффективность еще раз подчеркивает потенциал *T. molitor*, как перспективного и устойчивого источника белка в рационах населения, особенно в регионах, где употребление в пищу насекомых является приемлемым и абсолютно свободным выбором потребителей [30].

К настоящему времени проведены исследования по разработке недорогих, но устойчивых и безопасных земледельческих практик для разведения съедобных насекомых желаемого питательного состава (богатых белками,

биоактивными пептидами, хитином или жирами). Причем промышленное разведение таких насекомых, ранее распространенное только в азиатских странах (например, в Китае и Таиланде), уже встречается их в западноевропейских государствах (например, во Франции и Нидерландах), демонстрируя тенденцию к устойчивому росту. В этом плане весьма показателен пример индустриальной компании по выращиванию насекомых «Unsect» (Париж, Франция), которая выпускает тонны мучного червя в неделю, превратившись в одного из лидеров этого сектора пищевой индустрии [24, 49].

Согласно изучению рынка съедобных насекомых, *T. molitor* считается одним из наиболее часто выращиваемых видов насекомых в мире. Уход за его личинками в закрытых помещениях в вентилируемых пластиковых контейнерах и при контролируемых условиях окружающей среды повышает доступность и устойчивость производства. Скорость роста в значительной степени зависит от сбалансированности рациона питания, температуры (оптимальным считается диапазон 25–27,5°C), плотности популяции, относительной влажности и освещенности производственных помещений.

Так, согласно литературным данным, личинки растут быстрее при высокой относительной влажности воздуха (70%), тогда как при ее значениях ниже 30% темпы роста значительно замедляются, а яйца высыхают из-за потери жидкости. Максимальный вес личинок (175 мг) наблюдался при температуре 30°C, что значительно больше, чем при 20°C (100 мг). Кроме того, было обнаружено, что пшеничные отруби стимулируют активный набор веса личинками. В другом исследовании было показано, что побочные продукты переработки семян тритикале и люпина ускоряют рост и выживаемость личинок, одновременно способствуя развитию первой стадии окукливания [31, 47].

T. molitor – технологическая обработка и безопасность.

Личинки *T. molitor* обычно считаются богатым источником питательных веществ, а множество исследовательских работ сосредоточены на изучении их питательного состава, который

может заметно колебаться в зависимости от влияния различных факторов.

Так, содержание белка в личинках мучного червя колеблется в пределах 41–66% (в пересчете на сухое вещество), что оценивается как соответствующее высокому уровню качества. Стоит также отметить, что аминокислотный профиль *T. molitor* богат лейцином, изолейцином, лизином, тирозином, валином, а также метионином, и содержит все незаменимые аминокислоты. Несмотря на это, недавно экспертами EFSA было высказано мнение только лишь об относительной безопасности потребления пищевых продуктов на основе желтого мучного червя, основываясь на том обстоятельстве, что в показатель содержания белков в *T. molitor* включается их наличия в хитиновой оболочке личинок [45, 51].

Что касается содержания липидов в личинках *T. molitor*, то оно находится в пределах от 15 до 50% (в пересчете на сухое вещество) и в значительной мере зависит от питательного состава корма.

В состав липидов преимущественно входят мононенасыщенные ЖК, велико также содержание насыщенных и полиненасыщенных ЖК. Долевое содержание мононенасыщенных ЖК колеблется в диапазоне от 37 до 55%, что определяется, в первую очередь, наличием пальмитолеиновой и олеиновой ЖК. Удельный вес полиненасыщенных ЖК находится в пределах 11,28–39,85%, среди которых значительно преобладает линолевая кислота.

Высокое содержание полиненасыщенных ЖК в личинках *T. molitor* может оказывать благоприятное воздействие на состояние здоровья человека. Однако, показано, что высокое соотношение омега-6 к омега-3 ЖК (от 2,5 до 50) в них, у определенной части пациентов может способствовать развитию ожирения. Тем не менее, это соотношение может быть скорректировано путем обогащения рационов для достижения оптимальных значений (от 2,5 : 1 до 5 : 1). Кроме того, высокое содержание полиненасыщенных ЖК в личинках мучного червя требует дополнительного включения антиоксидантов в

получаемые пищевые продукты или же применения специальной техники для фасовки и упаковки для поддержания устойчивости их состава, а также строгого соблюдения сроков их хранения, что, однако, может привести к повышению производственных расходов [33, 46].

Содержание клетчатки в личинках *T. molitor* колеблется от 1,97 до 18,84%. Обычно это – хитин (неперевариваемая форма клетчатки), который находится в экзоскелете. Белки (склеротины), обнаруженные в кутикуле насекомых, могут связываться с хитином, что приводит к образованию, так называемых, «склеротизированных» соединений. В сочетании с хинонами они, как полагают, отвечают за формирование твердого (сухого) экзоскелета личинок и его исключительную устойчивость к факторам окружающей среды [30].

Энергетическая ценность насекомых зависит от их питательного состава и, прежде всего, от содержания жиров. В целом виды насекомых с высоким содержанием белков, типа *T. molitor*, обладают более низкой энергетической ценностью. По современным данным, энергетическая ценность *T. molitor* в пересчете на 100 г сырой массы составляет 206 ккал.

Что касается содержания минералов, то исследователи отмечают, что в личинках *T. molitor* содержится немало калия, кальция, железа и магния. Кроме того, они также являются ценным источником рибофлавина (витамин B₂), пантотеновой кислоты (витамин B₅), биотина (витамин B₇), а также витаминов B₁₂ и C [35].

Применение T. molitor в пищевой промышленности в качестве инновационной добавки

Существуют несколько видов технологий обработки личинок *T. molitor*, обеспечивающих продление их срока хранения, улучшение их потребительских свойств и пищевой ценности, а также улучшение алиментарной функциональности. Одной из этих широко применяемых технологий является дегидратация личинок мучного червя. Переработанные таким образом они затем добавляются в конвенциональные пищевые продукты питания, что снижает расходы на их хранение.

В этом контексте целый ряд исследователей отмечает, что жирнокислотный профиль лиофилизированных и термически высушенных личинок *T. molitor* при нагревании при 90°C в течение 1,5 ч или при 50°C в течение 62 ч существенно не изменяется [24, 49].

Обнаружено также, что профиль ЖК почти одинаков у всех обезвоженных видов муки, полученной разными способами обработки личинок, включая их обычную воздушно-солнечную просушку, замораживание или просушку в печи при температуре 120°C в течение 1 ч. Тем не менее, установлено, что мука, полученная после воздушно-солнечной просушки личинок, в целом имеет более высокое содержание аминокислот, вероятно, из-за более насыщенного белкового состава. Кроме того, в ней в сравнении с порошком, полученным сублимацией, возрастает содержание магния, цинка, натрия и фосфора, но снижается содержание железа.

Применение микроволновой просушки муки, полученной из личинок, в сравнении с аналогичной сублимационной процедурой не приводит к существенным различиям в их химическом составе. Однако жирно-кислотный профиль сублимированной муки богаче насыщенными ЖК по сравнению с мукой, высушенной в микроволновой печи, которая, однако, содержит больше полиненасыщенных ЖК. Высушенная в микроволновой печи мука из личинок *T. molitor* также бедна витамином В₁₂ по сравнению со свежими личинками и сублимированной мукой. Причем бланшировка перед микроволновой сушкой незначительно влияет на композиционное состояние муки [23, 44].

В обзоре М. Carrelli и соавт. (2020) было показано, что термическая обработка *T. molitor* путем бланширования приводит к весьма заметному снижению количества всех содержащихся в муке микроорганизмов, за исключением спорообразующих. Бланшировка и последующее хранение в холодильнике позволили сохранить мучных червей в течение как минимум шести дней без значительного количественного роста микроорганизмов, тогда как сушка в микроволновой печи

(до 20 минут) привела к дальнейшему сокращению количества микроорганизмов. Микробная нагрузка мучных червей также снижается при кипячении, приготовлении пищевых продуктов в вакууме или при пониженной температуре (70°C) в духовке или жарке [37].

В настоящее время показано, что приготовление пищевых продуктов из *T. molitor* на пару по сравнению с приготовлением в духовке, жаркой во фритюре, приготовлением в микроволновой печи и кипячением является наиболее предпочтительным методом с точки зрения последующей усвояемости белков, профиля ЖК и окислительного статуса. Таким образом, используемый метод приготовления существенно влияет на пищевую ценность получаемых пищевых продуктов из *T. molitor* и поэтому их применение должно быть обоснованным. Причем исследователями ожидается, что замораживание или сублимационная сушка продлят их срок хранения.

Ряд авторов применив процессы маринования и ферментации к личинкам *T. molitor*, установили, что маринад из красного вина и соевого соуса эффективен против порчи, увеличивая сроки хранения пищевых продуктов, обогащенных *T. molitor*, до семи дней [15]. По результатам проведенных исследований А. Vorreman и соавт. (2020) также сообщили, что и молочнокислое брожение можно успешно использовать для подавления роста микроорганизмов, сохранения химических характеристик и продления срока годности паст из мучных червей, хранящихся в условиях охлаждения [3].

Согласно обзору М. Carrelli и соавт. (2020), бланширование с последующим охлаждением или обработкой в микроволновой печи являются наиболее эффективными стратегиями снижения количества микроорганизмов в пищевом продукте, изготовленном с добавлением в их состав *T. molitor*. Они также сообщили, что ферментация может повысить эффективность этих методов обработки в отношении микробиологических опасностей [37].

В настоящее время различные предприятия и стартапы пытаются привлечь внимание потребителей, разрабатывая новые

технологии и пищевые продукты, содержащие в своем составе разных насекомых, включая мучных червей. Одним из способов включения насекомых в пищу является использование их в стандартных пищевых продуктах, по возможности, в молотом или иным образом обработанном виде, чтобы они были внешне незаметными для потребителей. Кроме того, включение личинок *T. molitor* в качестве ключевого ингредиента в различные пищевые матрицы – от богатых белком закусок и энергетических батончиков до макаронных изделий и кондитерских изделий, мороженого, колбас и многие иные пищевые продукты – используется для повышения их пищевой ценности.

В современном мире, и, прежде всего, в западноевропейских странах, в пищевые продукты личинки *T. molitor* добавляются преимущественно в виде «муки».

Методы приготовления этой «муки» подобны вышеупомянутым методам обработки – сначала личинки высушивают при температуре 40°C в течение 48-ми ч или подвергают сублимации (при температуре -96°C и в условиях вакуума в течение 48-ми ч, после чего их измельчают в порошок.

По результатам проведенных исследований по добавлению личиночной «муки» из *T. molitor* в различных количествах при производстве разных видов хлеба и после комплексной оценки ключевых параметров, включая характеристики ферментации, уровень pH (кислотность), удельный объем, цветовые и органолептические характеристики, было установлено, что потенциал этой «муки» весьма многообещающий, так как она оказалась богатой белком, который может быть альтернативой рутинным аналогам, применяемым в хлебобулочном производстве [27].

Аналогичные результаты были получены и при производстве печенья, обогащенного личинками мучного червя: было установлено, что обогащение муки *T. molitor* может улучшить комплекс питательных веществ, содержащихся в изготовленных из нее данного рода пищевых продуктов [12, 52]. Кроме того, ученые, сравнивая обычные виды печенья с обогащенными, установили, что, чем выше содержание в муке

T. molitor, тем сильнее выражена в этом пищевом продукте способность поглощать свободные радикалы, а также в нем возрастает содержание белков, жиров, диетической клетчатки и золы, что положительно сказывается на органолептических характеристиках и, соответственно, потребительских предпочтениях [8].

При исследованиях крекеров, изготовленных с использованием муки с добавлением личинок *T. molitor* (0, 2, 4, 6, 10, 15 и 20%), также было установлено возрастание ее пищевой ценности. Однако по мере увеличения содержания в муке процентной доли личинок *T. molitor* цвет крекеров значительно темнел, а потребители отдавали предпочтения тем из вариантов этого пищевого продукта, в которых содержание мучных червей не превышало 6% [9].

Польские ученые для изучения восприятия потребителей внешнего вида пищи (батончиков) добавляли в нее личинки *T. molitor* в цельной (видимые потребителю) или измельченной форме (в виде «муки»). Согласно полученным результатам, потребительские оценки «классических» батончиков и тех, которые содержали «муку» из насекомых, не были статистически значимыми. Однако из двух предложенных вариантов с добавлением в состав рассматриваемого пищевого продукта мучного червя потребители в основном выбирали батончики с измельченными личинками *T. molitor*. Важным для потребителей оказался и параметр, характеризовавший запах, исходивший от батончиков, что еще более подчеркивает важность органолептических аспектов для формирования потребительских предпочтений [45].

R. Megido и соавт. (2016) изучили степень фобии к насекомым среди западноевропейских потребителей при употреблении ими в пищу различных вариантов бургеров с добавлением личинок *T. molitor*. Результатом этого эксперимента стало то, что 70% респондентов выразили положительное отношение к включению насекомых в свой будущий рацион питания [5].

Y. Choi и соавт. для оценки пищевой ценности и предпочтений потребителей разработали сосиски с добавлением в их состав муки из *T. molitor*, удельный вес которой в конечном пищевом продукте варьировал от 5 до 30%. Было установлено, что образец с добавлением 10%-ной «муки» из насекомых не имел, по мнению потребителей, заметных отличий от контроля, что позволило исследователям сделать вывод о возможности обогащения исходного пищевого продукта мучным червем, тем более, учитывая экологичность его производства [36].

В Азии одним из основных источников белка является соевый соус, который, помимо высокого содержания белка, включает в свой состав все незаменимые аминокислоты, а его горький вкус обусловлен гистидином и метионином, а сладкий – лизином [4].

H. Lee и Y. Kim (2022) по результатам проведенного эксперимента по производству обогащенного соевого соуса с использованием «муки» из личинок мучного червя, в ходе которого были проанализированы антиоксидантная активность, содержание свободных аминокислот и органолептические характеристики, установили, что и в этом случае обогащение исходных пищевых продуктов «мукой» из *T. molitor* повысило их пищевую ценность с точки зрения их аминокислотного состава и способности адсорбировать свободные радикалы. Причем потребители отдавали выраженное предпочтение именно обогащенным вариантам [29].

Молочные пищевые продукты – еще одна группа, которую можно обогащать за счет включения в ее состав «муки» из личинок *T. molitor*. В частности, к этой группе относится мороженое, которое изначально обладает низкой пищевой ценностью. Чтобы обогатить его, A. Toxqui и соавт. (2021) разработали такой новый пищевой продукт, как клубнично-клюквенное мороженое, содержащее «муку» из личинок *T. molitor*. Учеными было показано, что добавление насекомых сопровождалось возрастанием в этом обогащенном пищевом продукте содержания протеина, витаминов и минеральных

веществ, что, в свою очередь, повышало его пищевую ценность [48].

Недавние исследования, проведенные в Маастрихтском университете (Нидерланды) S. Mancini и соавт. (2016), подтвердили, что белок личинок *T. molitor* по составу близок к молочному белку, благодаря полному набору незаменимых аминокислот и быстрому усвоению [14]. В этой связи A. Tello и соавт. в качестве альтернативы коровьему молоку приступили к разработке такого инновационного пищевого продукта как «молоко» из личинок *T. molitor*. Несмотря на то, что это «молоко» пока находится на пилотной стадии изучения и для приготовления продукта, пригодного для потребления и, возможно, для продажи, необходимо внедрить еще отдельные дополнительные производственные процессы, тем не менее, эта команда считает, что этот новый пищевой продукт в сравнении с коровьим молоком позволит значительно снизить негативное воздействие на среду обитания [39].

Одно из последних исследований по приготовлению обогащенных продуктов питания с мукой из личинок *T. molitor* было проведено в 2023 г. При этом был изучен гибридный продукт – плавленый сыр, который был произведен с использованием трех различных ингредиентов: концентрата молочного белка, бобовой муки и «муки» из *T. molitor*. По результатам оценки образцов, как с точки зрения их пищевой ценности, так и органолептических характеристик, было установлено, что наиболее высокую оценку потребителей по вкусовым качествам продемонстрировал образец, содержащий «муку» из личинок *T. molitor*.

Y. Son и соавт. (2020) при изучении жирового масла, полученного из личинок *T. molitor*, установили, что оно весьма насыщено витамином E, содержание которого составило 144,3 мг/кг и оказалось существенно более высоким в сравнении с курятиной (2,7–4,2 мг/кг), свиной (9,5–100,0 мг/кг), а также оливковым и соевым маслами (80,0–1360,0 мг/кг). Кроме того, было установлено, что после годичного хранения жирового масла из личинок *T. molitor*, оно оставалось стабильным и не

расслаивалось. Все вышеуказанное, по мнению ученых, определенно свидетельствует как о высокой питательной ценности изученного пищевого продукта, так и о его высоком потенциале для применения в качестве нового пищевого ингредиента, пригодного для коммерческой реализации [7].

Выводы. Съедобные насекомые, в частности *T. molitor*, представляют собой надежный источник пищи, богатый белком, который может рассматриваться в качестве альтернативы традиционным вариантам.

Потенциал для применения в пищевой промышленности *T. molitor* значителен как с точки зрения пищевой ценности, так и в связи с его экологичностью и экономичностью.

Для более широкого внедрения в пищевую индустрию *T. molitor* необходимы четкое правовое регулирование, углубленные дополнительные научные исследования и повышение степени осведомленности потребителей о пользе рассматриваемых насекомых.

Разработка инновационных пищевых продуктов с использованием *T. molitor* может способствовать решению глобальной мировой проблемы по обеспечению производства необходимых объемов пищи и рационализации питания населения.

Литература

1. Aiking, H. The next protein transition / H. Aiking, J. de Boer // Trends Food Sci. Technol. – 2020. – Vol. 105. – P. 515–22.
2. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as an ingredient in extruded snack products / M. Takov [et al.] // LWT. – 2021. – Vol. 142. – P. 111024.
3. Borremans, A. Fermentation versus meat preservatives to extend the shelf life of mealworm (*Tenebrio molitor*) paste for feed and food applications / A. Borremans, R. Smets, L. Van Campenhout // Front. Microbiol. – 2020. – Vol. 11. – P. 1510.
4. Choi, J. Quality Characteristics of Soy Sauces by Various Manufacturing Methods / J. Choi, C. Lee, H. Kim // Culin. Sci. Hosp. Res. – 2016. – Vol. 22. – P. 57–65.
5. Consumer Acceptance of Insect-Based Alternative Meat Products in Western Countries / R. Megido [et al.] // Food Qual. Prefer. – 2016. – Vol. 52. – P. 237–43.

6. Consumer acceptance of insect-based foods in three European countries / S. Piha [et al.] // *Food Qual. Prefer.* – 2018. – Vol. 68. – P. 443–51.
7. Could Defatted Mealworm (*Tenebrio molitor*) and Mealworm Oil Be Used as Food Ingredients? / Y. Son [et al.] // *Foods.* – 2020. – Vol. 9. – P. 40.
8. Defining Energy-Dense, Nutrient-Poor Food and Drinks and Estimating the Amount of Discretionary Energy / A. Biloft-Jensen [et al.] // *Nutr.* – 2022. – Vol. 14. – P. 1477.
9. Development of Healthy Protein-Rich Crackers Using *Tenebrio molitor* Flour / A. Djouadi [et al.] // *Foods.* – 2022. – Vol. 11. – P. 702.
10. Edible insects as a novel dietary niche: Entomophagy and related risks of allergy / P. M. Poma [et al.] // *Allergy Asthma Clin. Immunol.* – 2017. – Vol. 13. – P. 1–11.
11. Effect of temperature on the development rate, survival and fecundity of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) / L. Selaledi [et al.] // *Afr. Entomol.* – 2019. – Vol. 27 (2). – P. 293–301.
12. Effect of Partial Substitution of Flour with Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Powder on Dough and Biscuit Properties / X. Xie [et al.] // *Foods.* – 2022. – Vol. 11. – P. 2156.
13. EFSA. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed / EFSA // *EFSA J.* – 2015. – Vol. 13. – P. 4257.
14. European Consumers' Readiness to Adopt Insects as Food. A Review / S. Mancini [et al.] // *Food Res. Int.* – 2019. – Vol. 122. – P. 661–78.
15. Evaluation of different preservation methods to improve the microbiological shelf life of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.) / F. A. Borremans [et al.] // *In. Food Sci. Em. Technol.* – 2018. – Vol. 49. – P. 186–93.
16. Exploring the acceptability of insect-based foods in Western consumers / D. Raheem [et al.] // *Food Qual. Prefer.* – 2019. – Vol. 71. – P. 149–58.
17. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species / L. Yi [et al.] // *Food Chem.* – 2013. – Vol. 141. – P. 3341–8.
18. Fischer, A. R. H. European consumer acceptance of insects as food and feed: a review / A. R. H. Fischer, L. P. A. M. Steenbekkers // *Food Rev. Int.* – 2018. – Vol. 34. – P. 444–61.
19. Future protein supply and demand: analysis of the model case of Ireland / M. Henchion [et al.] // *Food Chain.* – 2017. – Vol. 7 (1). – P. 1–20.
20. Gahukar, R. K. Edible insects: a future source of human food in India / R. K. Gahukar // *Indian J. Entomol.* – 2011. – Vol. 73. – P. 113–22.

21. Gravel, A. J. Risks associated with the consumption of insects as food / A. J. Gravel, A. Doyen // *Comp. Rev. Food Sci. Food Safety*. –2020. – Vol. 19 (4). – P. 1380–1407.

22. Ghaly, A. E. Biological evaluation of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* as a potential source of protein: Part 2 – effect of temperature and larval age on the chemical composition / A. E. Ghaly, A. A. Alkoaik // *Am. J. Agricult. Biol. Sci.* – 2009. – Vol. 4 (4). – P. 309–21.

23. Impact of blanching and subsequent drying on nutrient composition, in vitro protein digestibility and microbiological load of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) / L. Lenaerts [et al.] // *In. Food Sci. Em. Technol.* – 2018. – Vol. 48. – P. 168–78.

24. Influence of different drying methods on the nutrient quality of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.) / T. Grau [et al.] // *LWT*. – 2017. – Vol. 76. – P. 161–68.

25. Influence of drying process on nutritional traits and fatty acid stability of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae / M. R. Melis [et al.] // *Food Chem.* – 2018. – Vol. 246. – P. 337–44.

26. Influence of freeze-drying and thermal drying on the stability of fatty acids during storage of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.) / N. Kröncke [et al.] // *Food Chem.* – 2019. – Vol. 284. – P. 133–141.

27. Kim, Y. Quality characteristics of white bread with *Tenebrio molitor* linne powder / Y. Kim // *Korean J. Food Nutr.* – 2017. – Vol. 30. – P. 1164–75.

28. Lange, F. The insect food market in Germany: consumer acceptance and marketing aspects / F. Lange, Y. Nakamura // *Insects*. –2021. – Vol. 12 (3). – P. 218.

29. Lee, H. Development of a Low-Salt Soy Sauce with Enhanced Flavor and Functionality with Soy Residue and *Tenebrio molitor* Larvae Powder / H. Lee, Y. Kim // *J. Food Proc. Engin. Preserv.* – 2022. – Vol. 46. – P. e16546.

30. Lipid extraction methods and nutritional compositions of edible insects / T. Hahn [et al.] // *J. As. Pacif. Entomol.* – 2018. – Vol. 21 (2). – P. 482–87.

31. Lupin and triticale by-products as alternative rearing substrates for yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.) / G. Melgar-Lalanne [et al.] // *J. Ins. Food Feed.* – 2019. – Vol. 5 (1). – P. 57–69.

32. Nutritional composition of larvae and pupae stages of mealworm (*Tenebrio molitor*) / E. O. Elhassan [et al.] // *Food*. – 2019. – Vol. 3(1). – P. 1–7.

33. Nutritional evaluation and fatty acid characterization of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) reared on different agricultural wastes / O. S. Lawal [et al.] // *J. Food Biochem.* – 2021. – Vol. 45 (1). – P. e13560.

34. Nutritional evaluation of edible insects consumed in Burundi / F. Niyonsaba [et al.] // *Disc. Food.* – 2021. – Vol. 1. – P. 1–9.
35. Nutritional value of selected edible insects / J. Mlček [et al.] // *Eur. Food Res. Technol.* – 2014. – Vol. 239 (3). – P. 429–35.
36. Optimization of Replacing Pork Meat with Yellow Worm (*Tenebrio molitor* L.) for Frankfurters / Y. Choi [et al.] // *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 2017. – Vol. 37. – P. 617–625.
37. Processing of edible insects for ingredients for food, feed and other industrial applications: a review / M. Cappelli [et al.] // *Food Rev. Int.* – 2020. – P. 1–27.
38. Physicochemical and sensory properties of crackers fortified with protein powder from lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) larvae / S. Krongdang [et al.] // *Food Biosci.* – 2023. – Vol. 52. – P. 102377.
39. Product Development and Environmental Impact of an Insect-Based Milk Alternative / A. Tello [et al.] // *Fut. Foods.* – 2021. – Vol. 4. – P. 100080.
40. Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on novel foods, amending Regulation (EU) № 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) № 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) № 1852/2001.
41. Robinson, W. H. *Urban entomology: insect and mite pests in the human environment* / W. H. Robinson // CRC Press. 2005. – 448 p.
42. Roos, N. Environmental impacts of edible insects in a life cycle perspective / N. Roos // *In Edible Insects as Food and Feed: from Production to Consumption*; A. van Huis, A. Halloran, J. van Itterbeeck, Eds.; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands. 2018. – P. 29–48.
43. Rumpold, B. A. Nutritional composition and safety aspects of edible insects / B. A. Rumpold, O. K. Schluter // *Mol. Nutr. Food Res.* – 2013. – Vol. 57. – P. 802–23.
44. Selaledi, L. Effect of blanching and drying methods on the nutritional composition and protein digestibility of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.) / L. Selaledi, N.H. Mabelebele // *Insects.* – 2021. – Vol. 12 (2). – P. 154.
45. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition / B. Baraniak [et al.] // *Food Res. Int.* – 2015. – Vol. 77. – P. 460–6.
46. Simopoulos, A. P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids / A. P. Simopoulos // *Biomed. Pharmacother.* – 2002. – Vol. 56 (8). – P. 365–79.

47. The effect of diet on the growth performance and fatty acid profile of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae / C. I. Rumbos [et al.] // *J. Ins. Food Feed.* – 2021. – Vol. 7(3). – P. 325–37.

48. Toxqui, A. Development of Nutraceutical Ice Creams Using Flour Yellow Worm Larvae (*Tenebrio molitor*), Chia (*Salvia hispanica*), and Quinoa (*Chenopodium quinoa*) / A. Toxqui, J. Ramírez, J. Moreno, J. Gómez, S. Campos, J. Orejel // *Frontiers in Veterinary Science.* 2021. – Vol. 8. – P. 629180.

49. Tzompa-Sosa, D. A. Edible insects: future prospects for food and feed security / D. A. Tzompa-Sosa, V. Fogliano // *Cur. Opin. Food Sci.* – 2017. – Vol. 17. – P. 1–6.

50. van Huis, A. Edible insects contributing to food security? / A. van Huis // *Agricult. Food Sec.* 2016. – Vol. 5 (1). – P. 1–11.

51. Yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) protein attenuates high-fat diet-induced hepatic steatosis by enhancing fatty acid oxidation and lipolysis / S. M. Hong [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2020. – Vol. 21 (13). – P. 4785.

52. Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Powder Promotes a High Bioaccessible Protein Fraction and Low Glycaemic Index in Biscuits / A. Cozmuta [et al.] // *Nutr.* – 2023. – Vol. 15. – P. 997.

References

1. Aiking H, de Boer J. (2020). The next protein transition. *Trends in Food Science & Technology*:105;515–522 (in English).

2. Takov M, Popov-Raljić M, Bursić M, Bogdanović S, Tomić Z, Šojić D, Toholj V, Novakov N. (2021). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as an ingredient in extruded snack products. *LWT– Food Science and Technology*:142;111024 (in English).

3. Borremans A, Smets R, van Campenhout L. (2020). Fermentation versus meat preservatives to extend the shelf life of mealworm (*Tenebrio molitor*) paste for feed and food applications. *Frontiers in Microbiology*:11;1510 (in English).

4. Choi J, Lee C, Kim H. (2016). Quality Characteristics of Soy Sauces by Various Manufacturing Methods. *Culin. SCI International Hospitals*:22;57–65 (in English).

5. Megido R, Gierts C, Blecker C, Brostaux Y, Haubruge É, Alabi T, Francis F. (2016). Consumer Acceptance of Insect-Based Alternative Meat Products in Western Countries. *Food Quality and Preference*:52;237–243 (in English).

6. Piha S, Kääriäinen A, Hatula M, Jääskeläinen S, Hyvönen VMP, Kolejda M, Mäkisalo M, Vehmas AM, Leskinen M, Korhonen H. (2018). Consumer acceptance of insect-based foods in three European countries. *Food Quality and Preference*:68;443–451 (in English).

7. Son Y, Choi S, Hwang I, Nho C, Kim S. (2020). Could Defatted Mealworm (*Tenebrio molitor*) and Mealworm Oil Be Used as Food Ingredients? *Foods*:9;40 (in English).
8. Biloft-Jensen A, Matthiessen J, Ygil K, Christensen T. (2022). Defining Energy-Dense, Nutrient-Poor Food and Drinks and Estimating the Amount of Discretionary Energy. *Nutrients*:14;1477 (in English).
9. Djouadi A, Sales J, Carvalho M, Raymundo A. (2022). Development of Healthy Protein-Rich Crackers Using *Tenebrio molitor* Flour. *Foods*:11;702 (in English).
10. Poma PM, Vecchio L, Rapisarda M, Corona G, Ferranti V, Pasquale M, Riolo A, Parisi ML, Luciani M, Restuccia V. (2017). Edible insects as a novel dietary niche: Entomophagy and related risks of allergy. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*:13;1–11 (in English).
11. Selaledi L, Mabelebele NH, Moyo S, Moyo MM, Jaja V, Kutu F. (2019). Effect of temperature on the development rate, survival and fecundity of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *African Entomology*:27(2);293–301 (in English).
12. Xie X, Yuan Z, Fu K, An J, Deng L. (2022). Effect of Partial Substitution of Flour with Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Powder on Dough and Biscuit Properties. *Foods*:11;2156 (in English).
13. EFSA. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*:13;4257 (in English).
14. Mancini S, Moruzzo R, Riccioli F, Paci G. (2019). European Consumers' Readiness to Adopt Insects as Food. A Review. *Food Research International*:122;661–678 (in English).
15. Borremans FA, De Reu K, Wynants L, Huyghebaert A, van Der Meeren P, Foubert I. (2018). Evaluation of different preservation methods to improve the microbiological shelf life of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*:49;186–193 (in English).
16. Raheem D, Umuokeke D, Carrer C, Zeeman A, Bax P, Blecker H, van Riemsdijk F, Rosa I, Wijkamp P, Lammers M. (2019). Exploring the acceptability of insect-based foods in Western consumers. *Food Quality and Preference*:71;149–158 (in English).
17. Yi L, Lakemond CM, Sagis LM, Eisner-Schadler V, van Huis A, van Boekel MA. (2013). Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*:141;3341–3348 (in English).

18. Fischer ARH, Steenbekkers LPAM. (2018). European consumer acceptance of insects as food and feed: a review. *Food Reviews International*:34;444–461 (in English).
19. Henchion M, Hayes M, Maria A, Nongonierma J, Mullen L, Tiwari R, Bourke OPV, Hayes S. (2017). Future protein supply and demand: analysis of the model case of Ireland. *Food Chain*:7(1);1–20 (in English).
20. Gahukar RK. (2011). Edible insects: a future source of human food in India. *The Indian Journal of Entomology*:73;113–122 (in English).
21. Gravel AJ, Doyen A. (2020). Risks associated with the consumption of insects as food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*:19(4);1380–1407 (in English).
22. Ghaly AE, Alkoaik AA. (2009). Biological evaluation of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* as a potential source of protein: Part 2 – effect of temperature and larval age on the chemical composition. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*:4(4);309–321 (in English).
23. Lenaerts L, van der Borght J, Mertens L, Cielen S, De Graeve M, Schoeters I, Renders S, Michiels P, Delcour JA, Pinheiro L. (2018). Impact of blanching and subsequent drying on nutrient composition, in vitro protein digestibility and microbiological load of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*:48;168–178 (in English).
24. Grau T, Vilcinskas A, Knorr P, Ziegler C. (2017). Influence of different drying methods on the nutrient quality of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *LWT–Food Science and Technology*:76;161–168 (in English).
25. Melis MR, Cappellozza S, Sogari L, Martínez-Sánchez MC, Morales FJ, Garipoli C, Cavallotti C, Lucarini M, Diaz C, Visioli C. (2018). Influence of drying process on nutritional traits and fatty acid stability of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae. *Food Chemistry*:246;337–344 (in English).
26. Kröncke N, Schmitt M, Ziegler C, Grau T. (2019). Influence of freeze-drying and thermal drying on the stability of fatty acids during storage of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Food Chemistry*:284;133–141 (in English).
27. Kim Y. (2017). Quality characteristics of white bread with *Tenebrio molitor* linne powder. *The Korean Journal of Food And Nutrition*:30;1164–1175 (in English).

28. Lange F, Nakamura Y. (2021). The insect food market in Germany: consumer acceptance and marketing aspects. *Insects*:12(3);218 (in English).
29. Lee H, Kim Y. (2022). Development of a Low-Salt Soy Sauce with Enhanced Flavor and Functionality with Soy Residue and *Tenebrio molitor* Larvae Powder. *Journal of Food Process Engineering and Preservation*:46;16546 (in English).
30. Hahn T, Lee S, Kim S, Yook H. (2018). Lipid extraction methods and nutritional compositions of edible insects. *Journal of Asia-Pacific Entomology*:21(2);482–487 (in English).
31. Melgar-Lalanne G, Hernández-Álvarez P, Hoffmann E, Huber I, Schlüter C, Rumpold B. (2019). Lupin and triticale by-products as alternative rearing substrates for yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Journal of Insects as Food and Feed*:5(1);57–69 (in English).
32. Elhassan EO, Mariod M, Mohamed SI, Matar WA, Mohamed IA. (2019). Nutritional composition of larvae and pupae stages of mealworm (*Tenebrio molitor*). *Food*: 3(1);1–7 (in English).
33. Lawal OS, Adeyeye OA, Olafimihan AO, Martins OO. (2021). Nutritional evaluation and fatty acid characterization of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) reared on different agricultural wastes. *Journal of Food Biochemistry*:45(1);13560 (in English).
34. Niyonsaba F, Adjiri J, Munyeshyaka E, Byiringiro JB, Nibasumba C, Nzigidahera E, Nkuzimana S, Nduwamungu J. (2021). Nutritional evaluation of edible insects consumed in Burundi. *Discovery Food*:1;1–9 (in English).
35. Mlček J, Radek M, Bednářová T, Žukalová M. (2014). Nutritional value of selected edible insects. *European Food Research and Technology*:239(3);429–435 (in English).
36. Choi Y, Kim T, Choi H, Park J, Sung J, Jeon K, Paik H, Kim Y. (2017). Optimization of Replacing Pork Meat with Yellow Worm (*Tenebrio molitor* L.) for Frankfurters. *The Korean Society for Food Science of Animal Resources*:37;617–625 (in English).
37. Cappelli M, Olivares A, Anfossi S, Rossi L, Chiara S, Scalfaro L, Moresi M. (2020). Processing of edible insects for ingredients for food, feed and other industrial applications: a review. *Food Reviews International*:2;1–27 (in English).
38. Krongdang S, Jantakat N, Benjakul P, Visessanguan W, Roytrakul S, Prommakool M, Nalinratana S, Arthitthanapoom P, Maneesri-Lawes S. (2023). Physicochemical and sensory properties of crackers fortified with

protein powder from lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) larvae. *Food Bioscience*:52;102377 (in English).

39. Tello A, Aganović K, Parniakov O, Carter A, Heinz V, Smetana S. (2021). Product Development and Environmental Impact of an Insect-Based Milk Alternative. *Future Foods*:4;100080 (in English).

40. Regulation (EU) *Ed* (2015). Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on novel foods, amending Regulation (EU) № 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) № 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) № 1852/2001.

41. Robinson WH. *Ed* (2005). Urban entomology: insect and mite pests in the human environment. *CRC Press*: 1-448 (in English).

42. Roos N. *Ed* (2018). Environmental impacts of edible insects in a life cycle perspective. In: van Huis A, Halloran A, Van Itterbeeck J. (Eds.), *Edible Insects as Food and Feed: from Production to Consumption*. Wageningen Academic Publishers: *Wageningen, The Netherlands*:29–48 (in English).

43. Rumpold BA, Schluter OK. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*:57;802–823 (in English).

44. Selaledi L, Mabelebele NH. (2021). Effect of blanching and drying methods on the nutritional composition and protein digestibility of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*:12(2);154 (in English).

45. Zielińska E, Baraniak B, Karás M, Rybczyńska K, Jakubczyk A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*:77;460–466 (in English).

46. Simopoulos AP. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*:56(8);365–379 (in English).

47. Rumbos CI, Nyström MA, Linderborg LM, Mikeladze A, Kantanen M, Korpela K, Johansson M, Tamminen M, Lampi AM. (2021). The effect of diet on the growth performance and fatty acid profile of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*:7(3);325–337 (in English).

48. Toxqui A, Ramírez J, Moreno J, Gómez J, Campos S, Orejel J. (2021). Development of Nutraceutical Ice Creams Using Flour Yellow Worm Larvae (*Tenebrio molitor*), Chia (*Salvia hispanica*), and Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Frontiers in Veterinary Science*:8;629180 (in English).

49. Tzompa-Sosa DA, Fogliano V. (2017). Edible insects: future prospects for food and feed security. *Current Opinion in Food Science*:17;1–6 (in English).

50. van Huis A. (2016). Edible insects contributing to food security? *Agriculture & Food Security*:5(1);1–11 (in English).

51. Hong SM, Lee HJ, Jang EY, Kim HJ, Jo MA, Kim JI, Kim SW, Kim HY. (2020). Yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) protein attenuates high-fat diet-induced hepatic steatosis by enhancing fatty acid oxidation and lipolysis. *International Journal of Molecular Sciences*:1(13);4785 (in English).

52. Cozmuta A, Uivarasan A, Peter A, Nicula C, Kovacs D, Mihaly Cozmuta L. (2023). Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Powder Promotes a High Bioaccessible Protein Fraction and Low Glycaemic Index in Biscuits. *Nutrients*:15;997 (in English).

Поступила 09.05.2025.

Адрес для корреспонденции: ruskm@gmail.com

УДК 355.511.341:613.21

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАЦИОНОВ ПИТАНИЯ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ РОССИИ И БЕЛАРУСИ

Е.А. Мойсеёнок: ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9488-9290>,

М.Д. Якуш, А.С. Кречко

Учреждение образования «Гродненский государственный медицинский университет», г. Гродно, Республика Беларусь

A COMPARATIVE ANALYSIS OF INDIVIDUAL DIETS FOR MILITARY PERSONNEL IN RUSSIA AND BELARUS

Е.А. Moiseenok: ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9488-9290>,

M.D. Yakush, A.S. Krechko

Grodno State Medical University, Grodno, Belarus

Реферат

Питание военнослужащих – это не только одна из главных составляющих их физической подготовки, но и стратегически важный аспект обеспечения армии во время выполнения поставленных задач. Актуальность сравнения индивидуальных рационов питания военнослужащих Российской Федерации и