

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-357-366>



Поступила 27.05.2026

Поступила после рецензирования 26.06.2026

Принята в печать 29.06.2026

© Мечтаева Е. В., Васильев П. Н., Никитина Н. А., Журавлева А. З., Ситнов В. Ю., 2026

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

Научная статья

Открытый доступ

ВАКУУМНАЯ И КОНВЕКЦИОННАЯ СУШКА НАСЕКОМЫХ ВИДОВ *TENEbrio MOLITOR* И *ACHETA DOMESTICUS*

Мечтаева Е. В.*, Васильев П. Н., Никитина Н. А., Журавлева А. З., Ситнов В. Ю.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

сверчок домашний,
большой мучной
хрущак, мука
из насекомых,
сушка

Насекомые — перспективный источник белка и липидов для пищевых и кормовых целей. Наиболее распространенной формой их использования является мука, получаемая путем высушивания и измельчения. При этом способ и условия переработки насекомых существенно влияют на физико-химические, микробиологические и органолептические характеристики конечного продукта. В данном исследовании проведено сравнение конвекционной и вакуумной сушки личинок большого мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) и сверчка домашнего (*Acheta domestica*) при температурах 50 °C, 80 °C и 105 °C. Оценено влияние способа и условий сушки на скорость процесса, внешний вид и микробиологическую безопасность получаемого продукта. Установлено, что повышение температуры сушки сокращало продолжительность процесса для обоих видов насекомых. При 50 °C вакуумная сушка образцов *A. domestica* обеспечивала более быстрое достижение влажности менее 5 % по сравнению с конвекционным способом. Повышение температуры конвекционной сушки сопровождалось выраженным потемнением муки из личинок *T. molitor*, тогда как для *A. domestica* изменение цвета было незначительным. Вакуумная сушка при всех изученных режимах позволяла лучше сохранить исходный цвет и форму насекомых. Сушка при температуре 105 °C обеспечивала получение продукта, соответствующего требованиям микробиологической безопасности. Таким образом, выбор метода сушки должен определяться целевым назначением продукта: для целых насекомых оптимальна вакуумная сушка, обеспечивающая сохранение товарного вида продукта, тогда как для производства муки допустимо использование более экономичной конвекционной сушки при высоких температурах, гарантирующих микробиологическую чистоту.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках государственных заданий ВНИИПД — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН по темам FGUS-2024-0010 и FGUS-2025-0005.

Received 27.05.2026

Accepted in revised 26.06.2026

Accepted for publication 29.06.2026

© Mechtaeva E. V., Vasilev P. N., Nikitina N. A., Zhuravleva A. Z., Sitnov V. Yu., 2026

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

Original article

Open access

VACUUM AND CONVECTION DRYING OF *TENEbrio MOLITOR* AND *ACHETA DOMESTICUS* INSECTS

Elizaveta V. Mechtaeva*, Platon N. Vasilev, Natalia A. Nikitina,
Aigul Z. Zhuravleva, Veniamin Yu. Sitnov

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

KEYWORDS:

house cricket, yellow
mealworm, insect flour,
drying

ABSTRACT

Insects are a promising source of protein and lipids for food and feed purposes. The most common form of their use is flour obtained by drying and grinding. The method and conditions of insect processing significantly affect the physicochemical, microbiological, and organoleptic characteristics of the final product. This study compared convection and vacuum drying of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) and house cricket (*Acheta domestica*) larvae at temperatures of 50 °C, 80 °C, and 105 °C. The influence of the drying method and conditions on the process rate, appearance, and microbiological safety of the resulting product was assessed. Increasing the drying temperature was found to reduce the drying time for both insect species. At temperature 50 °C, vacuum drying of *A. domestica* samples achieved a moisture of less than 5 % more quickly than the convection method. Increasing the convection drying temperature led to pronounced darkening of *T. molitor* larval flour, whereas the color change for *A. domestica* was minor. Vacuum drying under all studied conditions better preserved the original color and shape of the insects. Drying at temperature 105 °C yielded a product that met microbiological safety requirements. Therefore, the choice of drying method should be determined by the intended use of the product: vacuum drying is optimal for whole insects, preserving their marketable appearance, whereas for flour production, the more economical convection drying at high temperatures, which ensures microbiological purity, is acceptable.

FUNDING: The work was carried out within the framework of the state assignments of the All-Russian Research Institute for Food Additives — Branch of V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS on the topics FGUS-2024-0010 and FGUS-2025-0005.

1. Введение

Постоянный рост численности населения планеты и необходимость обеспечения его продуктами питания приводят к увеличению нагрузки на сельскохозяйственный сектор. Интенсивное сельское хозяйство оказывает значительное негативное влияние на окружающую среду: вызывает эрозию почв, вырубку лесов, увеличение количества парниковых газов, а также приводит к утрате биоразнообразия [1,2]. Одним из путей решения этой проблемы является поиск альтернативных

источников питательных веществ, более экологичных и требующих меньшего количества ресурсов для производства. Таким источником могут стать насекомые, определенные виды которых богаты белками и жирами и обладают высокой пищевой ценностью [3,4]. Культивирование насекомых и переработка их в продукты питания требует меньше электроэнергии, воды и территории, чем молочное и мясное производство [5,6]. Усвояемость белков насекомых может достигать 99 %, что сопоставимо с усвояемостью белков животного происхождения [7–9].

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мечтаева, Е. В., Васильев, П. Н., Никитина, Н. А., Журавлева, А. З., Ситнов, В. Ю. (2026). Вакуумная и конвекционная сушка насекомых видов *Tenebrio molitor* и *Acheta domestica*. *Пищевые системы*, 9(2), 357–366. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-357-366>

FOR CITATION: Mechtaeva, E. V., Vasilev, P. N., Nikitina, N. A., Zhuravleva, A. Z., Sitnov, V. Yu. (2026). Vacuum and convection drying of *Tenebrio molitor* and *Acheta domestica* insects. *Food Systems*, 9(2), 357–366. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-357-366>

Большой мучной хрущак (*Tenebrio molitor* L., Coleoptera: Tenebrionidae) и домашний сверчок (*Acheta domestica* L., Orthoptera: Gryllidae) — одни из наиболее перспективных насекомых для пищевых целей. Личинки *T. molitor* содержат 40,2–63,3 % белка на сухое вещество и 20,0–40,6 % жира, а имаго могут использоваться для получения хитина и хитозана [3,10,11]. *A. domestica* также характеризуется высоким содержанием белка (48,9–70,0 % на сухое вещество) и жира (8,4–26,6 % на сухое вещество) [3,7]. На территории ЕС, а также ряда других стран большой мучной хрущак и домашний сверчок признаны съедобными насекомыми и разрешены для употребления в пищу человеком [2,8,12–15]. Однако, несмотря на все достоинства использования насекомых в продуктах питания, согласно опросам потребителей, такой продукт часто оценивается негативно [16]. В основном это связано с неохотой и неприятием, которое вызывает внешний вид насекомых у потребителей [4,15], а также с опасением по поводу безопасности употребления насекомых в пищу [17]. Эффективным способом снижения неприятия потребителей является переработка насекомых, в частности в муку, и включение ее в состав привычных продуктов питания, например, мучных кондитерских и хлебобулочных изделий [3,4].

Насекомые как сырье для пищевой промышленности должны соответствовать требованиям безопасности, перечень которых определяется нормативными документами различных стран, например ТР ТС 021/2011¹ и ЕС 2017/2470². Среди таких требований — отсутствие токсичных компонентов в составе, микробиологическая безопасность и др. При этом отсутствие в насекомых, например, тяжелых металлов в большей степени обеспечивается контролем за рационом их питания; однако микробиологические показатели в основном определяются способом обработки биомассы насекомых перед использованием.

Наиболее часто в обработку биомассы насекомых входят умерщвление, сушка, в ряде случаев обеззараживание и измельчение. Уже на стадии умерщвления можно значительно снизить микробиологическую обсемененность продукта. Например, в работе [18] показано, что умерщвление личинок черной львинки высушиванием или бланшированием (кратковременной обработкой горячей водой) снижает микробную нагрузку получаемого продукта в сравнении с замораживанием, выдерживанием в бескислородных условиях, обработкой повышенным давлением. Кроме того, авторы установили, что бланширование, одновременно являясь наиболее эффективным способом деконтаминации личинок, приводит к меньшему потемнению сравнительно с высушиванием [18]. Несмотря на указанные выше преимущества, такой способ умерщвления считается менее гуманным, чем замораживание [19]. Замораживание также обеспечивает возможность длительного хранения [20].

Для снижения бактериологической обсемененности биомассу насекомых можно обеззараживать перед использованием, например, посредством температурной обработки, промывки, маринования, стерилизации рентгеновским излучением [21,22]. Однако наиболее распространенным способом обработки биомассы насекомых является сушка. Способ и условия обработки, помимо микробиологических характеристик, влияют на органолептические. В работе [23] исследовались личинки большого мучного хрущака, лиофилизированные при температуре минус 40 °С, а также личинки, подвергнутые конвекционной сушке при 70 °С и 90 °С. Авторами установлено, что данные методы позволяют получить продукты, соответствующие требованиям микробиологической безопасности. Однако конвекционная сушка также способствует значительному потемнению продукта, в то время как лиофильная сушка позволяет сохранить внешний вид насекомых, но требует значительно больше времени [23,24]. Микроволновая сушка позволяет эффективно снижать микробную нагрузку, но требует наличия специального оборудования и приводит к потемнению насекомых, хотя в меньшей степени, чем конвекционная сушка [24,25].

Таким образом, подбор оптимальных условий обработки и сушки насекомых является одним из наиболее важных факторов для их использования. Ключевыми параметрами, на основании которых необходимо выбирать режим сушки, являются эффективность сушки, безопасность получаемого продукта, а также органолептические

характеристики, в частности цвет. Кроме этого, важным экономическим показателем является времязатратность процесса, поэтому требуется оценка скорости сушки.

Целью данного исследования являлось изучение влияния режимов сушки на цвет и микробиологические показатели большого мучного хрущака и сверчка домашнего, а также муки на их основе.

2. Объекты и методы

2.1. Культивирование насекомых

Личинки большого мучного хрущака и сверчок домашний были взяты из маточных колоний насекомых в инсектарии Всероссийского НИИ пищевых добавок. Большой мучной хрущак культивировался при температуре 25 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 50 ± 10 %. Кормовым субстратом служили пшеничные отруби (пищевая ценность на 100 г продукта: белки — 16,0 г, жиры — 4,0 г, углеводы — 65,0 г) с морковью в качестве источника влаги. Сверчок выращивался при температуре 28 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 60 ± 10 %. Кормовым субстратом служила рыбная мука (пищевая ценность на 100 г продукта: белки — 69,3 г, жиры — 10,7 г, углеводы — 0,3 г), смешанная с пшеничными отрубями в соотношении 1:10. Для поения использовалась деионизованная вода.

2.2. Подготовка образцов

Личинки большого мучного хрущака возрастом 2–2,5 месяца, а также домашнего сверчка на стадиях предимаго и имаго (возраст 2,5–3 месяца) отделялись от кормового субстрата и подвергались голоданию в течение 2 ч, после чего замораживались при температуре минус 20 °С. Перед процессом сушки насекомые вынимались из морозильной камеры, промывались и бланшировались в деионизованной воде при температуре 95–98 °С в течение 30 с. После чего излишки влаги удалялись с помощью фильтровальной бумаги.

2.3. Сушка образцов

Сушка проводилась в конвекционном сушильном шкафу UF110plus (Memmert GmbH & Co.KG, Германия) и вакуумном сушильном шкафу Vacuum Oven OV-12 (Jeio Tech, Корея) с насосом MVP 6 (Woosung Vacuum Co., Ltd, Корея) при температурах 50 °С, 80 °С и 105 °С. Для определения оптимального времени и скорости сушки при различных условиях были проведены две группы исследований.

В ходе первой группы исследований 10–15 образцов бланшированных насекомых массой 3–8 г, распределенных в один слой на стеклянных чашках Петри, помещались в сушильный шкаф и выдерживались при постоянной температуре. Каждый час один образец вынимался и взвешивался для определения потери массы и расчета скорости сушки. Для каждого режима сушки эксперимент проводился не менее 8 ч. Вторая группа исследований проводилась аналогично, однако образцы насекомых вынимались и взвешивались каждые 15–30 минут, и эксперимент проводился не более 5 ч.

На основании полученных данных рассчитывалось влагосодержание (M_t) образцов насекомых в различные моменты времени по формуле [26]:

$$M_t = \frac{m_t - m_{dry}}{m_{dry}}, \quad (1)$$

где: M_t — влагосодержание образца в момент времени t ; m_t — масса образца в момент времени t ; m_{dry} — сухая масса образца, г.

Массовая доля влаги, оставшейся в образце (MR), вычислялась по формуле [27]:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}, \quad (2)$$

где: MR — массовая доля влаги в образце в момент времени t относительно изначального количества влаги; M_t — влагосодержание образца в момент времени t ; M_0 — исходное влагосодержание образца; M_e — равновесное влагосодержание образца (принято равным 0 [27,28]).

Скорость сушки (DR) определялась по формуле [26]:

$$DR = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t}, \quad (3)$$

где: DR — скорость сушки, 1/ч; M_t — влагосодержание образца в момент времени t ; $M_{t+\Delta t}$ — влагосодержание образца в момент времени $t + \Delta t$; Δt — временной интервал отбора образцов, ч.

2.4. Влажность

Для определения содержания влаги предварительно взвешенные образцы высушивались при температуре 105 °С до постоянной массы. Влажность (W) рассчитывалась по формуле:

¹ Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Принят Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880. (ред. от 22 апреля 2024 года). Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/902320560> Дата доступа 22.05.2026

² Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470 of 20 December 2017 establishing the Union list of novel foods in accordance with Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council on novel foods Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2017/2470/oj/eng/pdf Accessed May 22, 2026

$$W = \frac{m_0 - m_{dry}}{m_0} \times 100, \quad (4)$$

где: W — влажность образца, %; m_0 — начальная масса образца, г; m_{dry} — масса образца после сушки, г.

Влажность определялась в трех повторностях, рассчитывались среднее арифметическое и доверительный интервал ($\alpha = 0,05$).

2.5. Цветовые характеристики

Внешний вид и цвет насекомых, высушенных при различных условиях, а также муки из них оценивались по фотографиям с помощью программного обеспечения Adobe Photoshop CS6 согласно методу, описанному в [29]. Образцы замороженных, бланшированных, а также высушенных насекомых фотографировались, после чего измельчались в течение 30 с до получения однородного порошка с помощью измельчителя MT-2163 (MARTA, Китай) и повторно фотографировались. Фотографирование осуществлялось в фотобоксе Grifon LED 440 (Grifon, Китай) при максимальной интенсивности освещения (цветовая температура 5400 К, яркость 5000).

Цветовые характеристики образцов, а именно значения показателей L^* (lightness), a^* (redness), b^* (yellowness), определялись в 15 различных точках фотографических изображений. Затем рассчитывались среднее значение и доверительный интервал ($\alpha = 0,05$) для этих показателей с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2016. Кроме этого, статистическая значимость различия между параметрами образцов насекомых, высушенных при различных температурах, оценивалась с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в программном обеспечении RStudio. Различия считались значимыми при $p < 0,05$. В этом случае также проводилось попарное сравнение различия между величинами, полученными в каждом эксперименте, методом Тьюки (Tukey's HSD). Результаты теста обозначены с помощью буквенных индексов.

Остальные параметры рассчитывались с использованием средних значений показателей L^* , a^* , b^* . Степень изменения цвета образца в результате сушки определялась при помощи уравнения [30]:

$$\Delta E_{Lab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}. \quad (5),$$

где: ΔE_{Lab} — степень изменения цвета; ΔL^* — разность между lightness анализируемого образца и контрольного; Δa^* — разность между redness анализируемого образца и контрольного; Δb^* — разность между yellowness анализируемого образца и контрольного.

Насыщенность (Ch) рассчитывалась по формуле [31]:

$$Ch = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}. \quad (6)$$

Оттенок (H) определялся по формуле:

$$H = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right). \quad (7)$$

Индекс потемнения (BI) рассчитывался по формуле:

$$BI = \frac{|100 \times (x - 0,31)|}{0,17}, \quad (8)$$

$$x = \frac{(a^* + 1,75L^*)}{(5,654L^* + a^* - 3,012b^*)}. \quad (9)$$

2.6. Микробиологические показатели

Для изучения влияния различных режимов сушки на безопасность муки из насекомых как потенциального продукта питания или его компонента оценивались основные микробиологические показатели образцов. Мука была получена путем измельчения до однородного состояния насекомых, высушенных в течение выбранного для каждой температуры времени сушки. Также были измельчены и проанализированы замороженные и бланшированные насекомые. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) определяли путем подсчета колоний, полученных после посева разведений образца (10^2 и 10^3), приготовленных в пептонно-солевом растворе, на мясопептонный агар. Культивирование проводили при температуре $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (72 ± 3) ч в соответствии с ГОСТ 10444.15-94³. Число плесневых грибов и дрожжей учитывали методом посева разведений образца (10^1 и 10^2) на агар Сабуро $(25 \pm 1^\circ\text{C}$, 5 суток) (ГОСТ 10444.12-2013⁴).

³ ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов». М.: Стандартинформ, 2010. — 7 с.

⁴ ГОСТ 10444.12-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов». М.: Стандартинформ, 2014. — 15 с.

Наличие *Listeria monocytogenes* определяли по ГОСТ 32031-2022⁵. Гомогенизированный в бульоне Фразера образец (25 г) инкубировался $(37 \pm 1^\circ\text{C}$, 24 ± 1 ч), а затем культивировался на агаре Оттавиани и Агости $(37 \pm 1^\circ\text{C}$, 48 ч). Определение *Salmonella* spp. проводилось по ГОСТ 31659-2012⁶. Обогащенный в забуференной пептонной воде образец (25 г) высевался на XLD-агар и культивировался при температуре $37 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 18 ± 2 ч.

Определение нижеследующих микроорганизмов проводилось в навесках массой 1,0, 0,1 и 0,01 г (для *Bacillus cereus* навески 0,1 и 0,01 г), гомогенизированных в пептонно-солевом растворе. Бактерии группы кишечной палочки (БГКП) идентифицировались по ГОСТ 31747-2012⁷ последовательной инкубацией в лаурилсульфат-триптозном бульоне и лактозном желчном бульоне с бриллиантовым зеленым $(37 \pm 1^\circ\text{C}$, 24 ± 2 ч). Для определения наличия *Escherichia coli* дополнительно образцы инкубировались на триптозном бульоне с реактивом Ковача $(36 \pm 1^\circ\text{C}$, 24 ± 2 ч) (ГОСТ 30726-2001⁸). Коагулоположительные стафилококки определялись по ГОСТ 31746-2012⁹ посевом на агар Бэрда-Паркера с добавкой RPF $(37 \pm 1^\circ\text{C}$, 48 ± 2 ч). Сульфитредуцирующие клостридии — посевом на железосульфитный агар $(37 \pm 1^\circ\text{C}$, 24 ± 2 ч) (ГОСТ 29185-2014¹⁰). *B. cereus* идентифицировался на МYP-агаре $(30 \pm 1^\circ\text{C}$, 18–24 ч) (ГОСТ 10444.8-2013¹¹).

3. Результаты и обсуждение

3.1. Влажность и скорость сушки

На первом этапе исследования была проведена оценка времени, необходимого для достижения постоянной влажности образцов насекомых при использовании каждого из исследованных режимов сушки: конвекционной или вакуумной при 50°C , 80°C и 105°C . Выбранные условия сушки затем использовались для получения образцов насекомых и муки из них для анализа цвета и микробиологических показателей. Продолжительность сушки, необходимая для достижения минимального содержания влаги, зависит от условий и метода сушки [28,32–34], от природы образца [28,33,35], его количества [28,36], исходной влажности [33] и предварительной обработки [37]. Поэтому выбранное в данной работе время сушки может потребовать корректировки при изменении каких-либо условий.

По полученным данным (Рисунок 1) было выбрано следующее время сушки образцов насекомых: 2 ч при 105°C ; 4 ч при 80°C в конвекционном шкафу и 5 ч при высушивании в вакууме при той же температуре; для сушки при температуре 50°C было выбрано минимальное время, за которое все образцы достигали влажности менее 5% — 12 ч. Остаточная влажность 5% примерно соответствует величине активности воды $a_w = 0,4$, которая обеспечивает безопасное и стабильное состояние продукта [32,37]. Для высушивания сверчка домашнего при температуре 50°C в вакууме требовалось значительно меньшее время (3 ч), чем для большого мучного хрущача, однако для сравнения их характеристик сушка проводилась в течение одинакового времени — 12 ч. В Таблице 1 указаны условия, при которых высушивались образцы насекомых для получения муки и дальнейших анализов, а также влажность полученных образцов.

На втором этапе исследования была проведена дополнительная группа экспериментов при температурах 80°C и 105°C . Влажность насекомых в процессе сушки контролировалась каждые 15–30 мин (Рисунок 2). На основании данных об изменении влажности во время сушки была рассчитана скорость сушки и построены кривые зависимости DR от влагосодержания (Рисунок 3 и Рисунок 4).

⁵ ГОСТ 32031-2022 «Продукты пищевые. Методы выявления бактерий *Listeria monocytogenes* и других видов *Listeria* (*Listeria* spp.)». М.: Стандартинформ, 2022. — 37 с.

⁶ ГОСТ 31659-2012 «Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*». М.: Стандартинформ, 2014. — 26 с.

⁷ ГОСТ 31747-2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)». М.: Стандартинформ, 2013. — 20 с.

⁸ ГОСТ 30726-2001 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий вида *Escherichia coli*». М.: Стандартинформ, 2010. — 8 с.

⁹ ГОСТ 31746-2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*». М.: Стандартинформ, 2013. — 30 с.

¹⁰ ГОСТ 29185-2014 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета сульфитредуцирующих бактерий, растущих в анаэробных условиях». М.: Стандартинформ, 2015. — 17 с.

¹¹ ГОСТ 10444.8-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Горизонтальный метод подсчета presumitивных бактерий *Bacillus cereus*. Метод подсчета колоний при температуре 30°C ». М.: Стандартинформ, 2014. — 20 с.

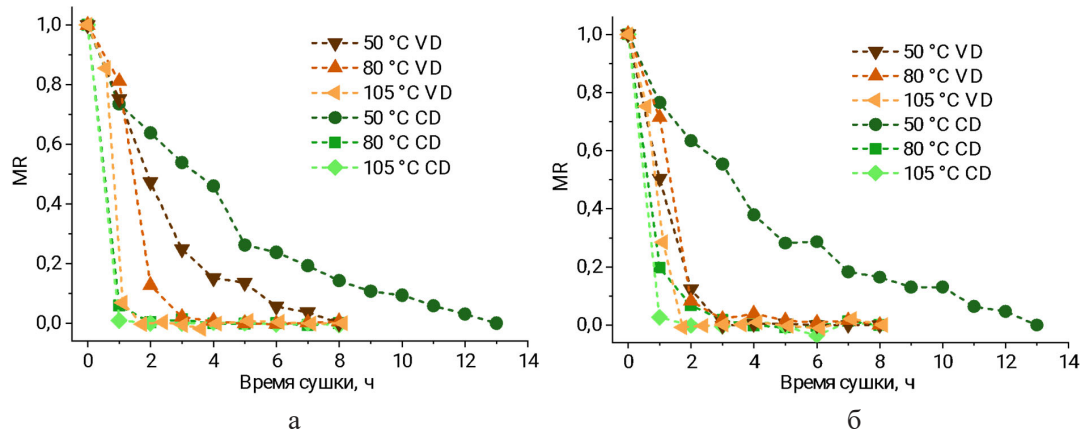


Рисунок 1. Кривые сушки личинок *T. molitor* (а) и имаго *A. domesticus* (б) при различных условиях (влажность проверялась каждые 60 мин), VD — вакуумная сушка, CD — конвекционная сушка

Figure 1. Drying curves of *T. molitor* larvae (a) and *A. domesticus* imago (б) under different conditions (moisture was controlled every 60 min.), VD — vacuum drying, CD — convection drying

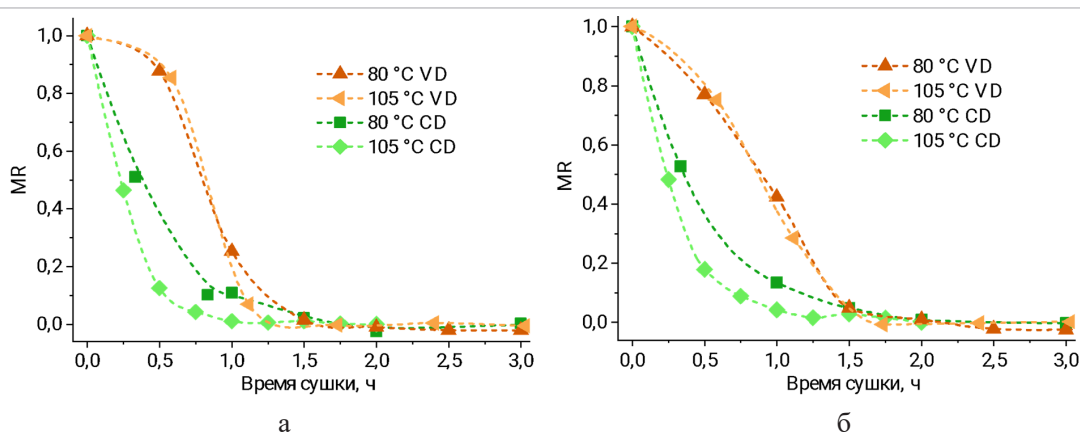


Рисунок 2. Кривые сушки личинок *T. molitor* (а) и имаго *A. domesticus* (б) при различных условиях (влажность проверялась каждые 15–30 мин), VD — вакуумная сушка, CD — конвекционная сушка

Figure 2. Drying curves of *T. molitor* larvae (a) and *A. domesticus* imago (б) under different conditions (moisture was controlled every 15–30 min.), VD — vacuum drying, CD — convection drying

Таблица 1. Влажность личинок насекомых, высушенных при различной температуре в конвекционном и вакуумном сушильных шкафах (в виде среднего арифметического с доверительным интервалом ($n = 3, \alpha = 0.05$))

Table 1. Moisture of insect larvae dried at different temperatures in the convection and vacuum drying ovens (as an arithmetic mean with confidence interval ($n = 3, \alpha = 0.05$))

Температура сушки, °C	Время сушки, ч	Влажность личинок <i>T. molitor</i> , %	Влажность имаго <i>A. domesticus</i> , %
–	0	63,0±0,3	72,4±0,9
Вакуумная сушка			
50	12	1,0±0,5	1,5±1,4
80	5	0,2±0,2	0,1±0,4
105	2	0,0±0,3	0,0±0,4
Конвекционная сушка			
50	12	2,0±0,3	4,2±0,3
80	4	0,0±0,6	0,6±0,6
105	2	0,0±0,3	0,0±0,9

Сушка включает в себя процессы переноса тепла и массы. Всушиваемые биологические образцы обычно рассматриваются как пористая среда, в которой жидкость диффундирует к поверхности и затем испаряется [28]. В связи с этим выделяют две основные стадии сушки [27]. На первой стадии (период постоянной скорости сушки) происходит испарение свободной влаги с поверхности образца [27]. Вторая стадия (период падающей скорости) наступает, когда влага с поверхности полностью испарилась и скорость процесса начинает определяться скоростью диффузии влаги из глубины образца к поверхности [27]. Период постоянной скорости сушки часто может отсутствовать [26,34,38]. Одновременно с этим в начале процес-

са может наблюдаться период, соответствующий нагреву образца и вызванному им росту скорости сушки [26,27,38].

Согласно полученным данным, при конвекционной сушке при температурах 80 °C и 105 °C влажность образцов насекомых быстро уменьшалась сразу после начала процесса (Рисунок 2). Скорость сушки монотонно убывала (Рисунок 3), периода постоянной скорости сушки или ее роста не наблюдалось. Это указывает на то, что сушка исследованных насекомых контролировалась диффузионными процессами [27,34,39]. При конвекционной сушке *T. molitor* и *A. domesticus* DR увеличивалась с ростом температуры. Аналогичные зависимости наблюдаются для различных биологических образцов [26,36,38–40]. Авторы [26] указывают на рост скорости сушки личинок *T. molitor* с ростом температуры с 50 °C до 70 °C и отсутствие периода постоянной скорости сушки. Однако, по полученным в [26] данным, при температурах 60 °C и 70 °C наблюдался период роста скорости сушки, который авторы связывают с нагревом образцов.

В процессе вакуумной сушки при температурах 80 °C и 105 °C (Рисунок 2) были получены кривые сушки другого типа [28]. В начале наблюдался период роста DR (Рисунок 3), который связан с медленным нагревом образца в исследуемых условиях. Аналогичные кривые сушки *A. domesticus* при 90 °C и 110 °C получены в [36] при высушивании сверчков, расположенных в несколько слоев. Данные об изменении температуры образцов в процессе обработки показали, что расположение в несколько слоев значительно замедляло их нагрев [36]. Скорость вакуумной сушки при температурах 80 °C и 105 °C существенно не различалась (Рисунок 3).

Понижение температуры сушки до 50 °C приводило к значительному уменьшению скорости как вакуумной, так и конвекционной сушки (Рисунок 4а). В начале вакуумной сушки DR менялась мало, что может быть связано как с нагревом образца, так и с более медленным (по сравнению с 80 °C и 105 °C) испарением воды с поверхности образца. Снижение температуры способствует увеличению вязкости воды и уменьшению подвижности молекул, что снижает

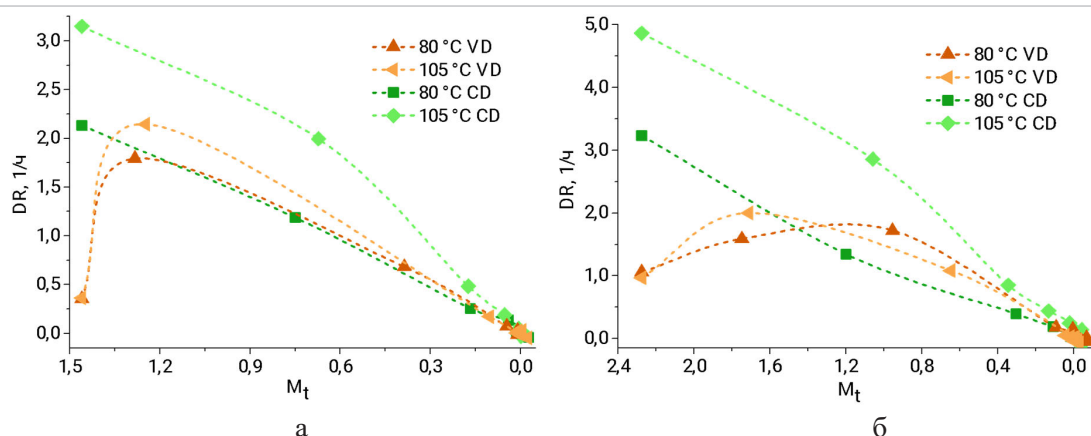


Рисунок 3. Зависимость скорости сушки личинок *T. molitor* (а) и имаго *A. domesticus* (б) при различных условиях от влагосодержания (температура сушки 80 °C и 105 °C), VD — вакуумная сушка, CD — конвекционная сушка
Figure 3. Dependence of the drying rate of *T. molitor* larvae (a) and *A. domesticus* imago (б) on moisture content under different treatment conditions (drying temperature: 80 °C and 105 °C), VD — vacuum drying, CD — convection drying

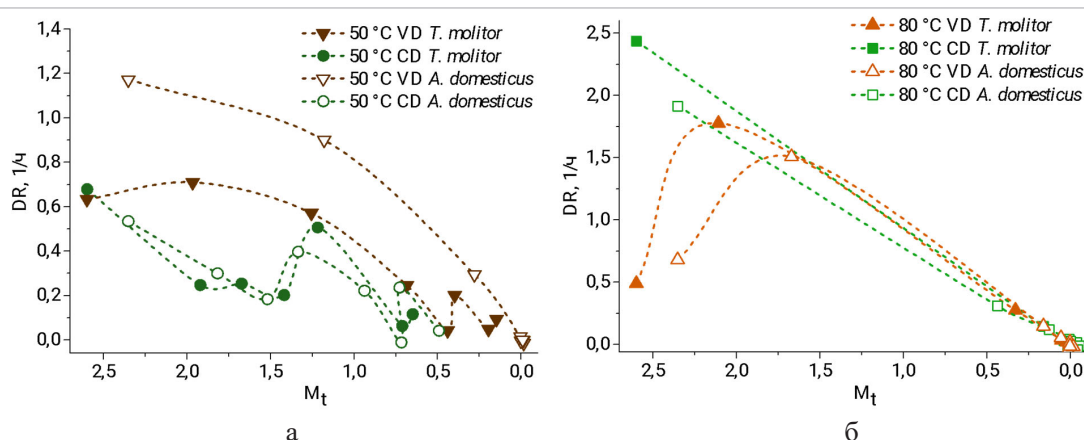


Рисунок 4. Зависимость скорости сушки личинок *T. molitor* и имаго *A. domesticus* при различных условиях от влагосодержания (а — температура сушки 50 °C; б — температура сушки 80 °C), VD — вакуумная сушка, CD — конвекционная сушка
Figure 4. Dependence of the drying rate of *T. molitor* larvae (a) and *A. domesticus* imago (б) on moisture content under different treatment conditions (a — drying temperature: 50 °C; б — drying temperature: 80 °C), VD — vacuum drying, CD — convection drying

коэффициент диффузии влаги в образце и замедляет ее перенос к поверхности и испарение [33,38]. Снижение скорости вакуумной сушки с уменьшением температуры наблюдалось для таких продуктов, как ломтики тыквы и редьки, мякоть манго и личи, грибы, травы, финики и другие [34].

Понижение давления в системе приводит к увеличению скорости сушки за счет увеличения скорости диффузии влаги в образце и испарения воды с поверхности [33]. В данном исследовании увеличение скорости сушки в вакууме по сравнению с конвекционной сушкой наблюдалось только для сверчка домашнего при температуре 50 °C (Рисунок 4). При высоких температурах на начальном этапе процесса скорость вакуумной сушки была ниже, чем при конвекционной, затем становилась сопоставимой или более высокой (Рисунок 3). Это связано с тем, что нагрев образцов в вакуумном шкафу происходил значительно медленнее. При высоких температурах сушки общее время достижения минимальной влажности было невелико и период нагрева материала оказывал существенное влияние на общее время сушки.

Кривые сушки большого мучного хрущака и сверчка домашнего при исследованных условиях практически не отличались (Рисунок 4). Различие в величинах DR при температурах 80 °C и 105 °C на втором этапе исследования (Рисунок 3) обусловлено тем, что исходная влажность личинок хрущака в этом случае была ниже влажности сверчка. Исключение составил образец сверчка домашнего, высушенный при температуре 50 °C в вакуумном шкафу. В этом случае скорость сушки сверчка была значительно выше скорости сушки хрущака и сопоставима с DR при 80 °C.

3.2. Внешний вид образцов

Внешний вид и цвет пищевого продукта оказывает значительное влияние на его восприятие потребителем [41]. Потемнение продукта в процессе приготовления, например, при жарке хлеба или мяса, может оцениваться потребителями положительно. Однако

часто воспринимается негативно, например, в таких случаях, как при хранении овощей и фруктов, сушке и заморозке продуктов [42]. Кроме этого, изменение цвета является индикатором изменений в продукте, происходящих посредством протекания химических реакций [41]. В связи с этим важна оценка изменения внешнего вида продукции в результате обработки различными способами.

Температурная обработка и длительное хранение приводят к потемнению пищевых продуктов [41,42]. В зависимости от протекающих реакций потемнение продуктов делат на две основные группы: энзиматическое и неэнзиматическое [42]. Для того чтобы избежать потемнения за счет действия ферментов, их можно деактивировать до начала сушки кратковременной высокотемпературной обработкой [42]. Как показано в ряде исследований, бланширование насекомых в качестве предварительной обработки [26] или способа умерщвления [43] существенно снижает потемнение продукта в результате сушки. Реакции энзиматического потемнения продуктов питания протекают с участием кислорода, поэтому исключение его из системы также препятствует протеканию данного типа реакций [41,42].

К основным реакциям неэнзиматического потемнения относятся реакция Майяра [41,42,44], карамелизация [41,42,44], а также окисление липидов [41], аскорбиновой кислоты [42] и полифенолов [45]. Первые две реакции могут протекать в отсутствие кислорода, однако карамелизация характерна для продуктов с высоким содержанием сахаров, низким содержанием белка и протекает в основном при высоких температурах (выше 120 °C) [42,44,46]. Большой мучной хрущак и сверчок домашний характеризуются высоким содержанием белков и жиров [3,7,10,11], поэтому для них могут быть характерны как реакции окисления липидов, так и протекание реакции Майяра [35] — реакции между аминокислотными остатками и сахарами, приводящей к образованию меланоидинов [47]. Авторы [48] обнаружили продукты этих двух реакций в составе летучих соединений, выделяющихся при сушке личинок большого мучного хрущака.

Окисление полифенолов играет большую роль в процессах потемнения продуктов растительного происхождения [45,49], однако может происходить и в тканях насекомых. Например, в личинках черной львинки (*Hermetia illucens*), характеризующихся высоким содержанием железа, могут протекать реакции окисления и комплексообразования фенольных соединений с ионами Fe^{3+} [18,50]. Авторы [50] отмечают, что данный процесс характерен также и для большого мучного хрущака, однако в меньшей степени из-за меньшего содержания железа.

В данном исследовании все образцы насекомых были бланшированы при температуре 95–98 °C в течение 30 с непосредственно перед сушкой. Поэтому изменение цвета образцов в процессе дальнейшей обработки было вызвано преимущественно реакциями неферментативного потемнения.

Бланширование приводило к небольшому потемнению обоих видов насекомых относительно исходных замороженных (наблюдалось увеличение BI), однако в целом показатели цвета (L^* , a^* , b^*) менялись незначительно (Таблица 2). Для измельченных образцов наблюдалась другая закономерность. После измельчения замороженные личинки большого мучного хрущака быстро темнели при комнатной температуре, тогда как бланширование перед измельчением предотвращало этот процесс (Рисунок 5). Развитие темного цвета сразу после гомогенизации объясняется усилением энзиматического потемнения за счет высвобождения ферментов из разрушенных клеток образца [43]. Аналогичная зависимость, но менее выраженная, наблюдалась для сверчка домашнего (Рисунок 5). Авторы [51] отмечают, что как измельченная биомасса, так и экстракты из нее, были значительно светлее для бланшированных личинок черной львинки по сравнению с замороженными. В исследовании [52] нейтрализация эндогенной фенолоксидазы посредством бланширования в течение 50 с при температуре 90 °C позволяла снизить окрашивание белковых экстрактов, выделяемых из трех видов насекомых: *T. molitor*, *Alphitobius diaperinus* и *H. illucens*. Это свидетельствует о существенном вкладе энзиматического пути потемнения биомассы насекомых в процессе обработки. Следовательно, для сохранения цвета продукта требуется проводить инактивацию ферментов, участвующих в процессе, или осуществлять сушку в бескислородных условиях.

В данном исследовании степень изменения цвета (ΔE_{Lab}) образцов насекомых и муки в результате сушки при различных условиях рассчитывалась относительно бланшированного образца насекомых

в исходном или измельченном виде. Стоит отметить, что помимо протекания химических процессов, сушка может изменять восприятие цвета из-за усадки продукта, а также разницы показателей преломления воды и воздуха: продукт, содержащий меньше воды, может отражать меньше света и иметь меньшее значение L^* [18].

Способ и температура сушки влияли на внешний вид личинок *T. molitor* (Рисунок 5). Высушивание в конвекционном шкафу приводило к деформации насекомых с уменьшением линейных размеров, тогда как вакуумная сушка позволяла сохранять изначальную форму личинок. Условия процесса оказывали значительное влияние и на цвет продукта (Таблица 2). Как обсуждалось выше, в условиях отсутствия кислорода (вакуумная сушка) потемнение личинок насекомых может быть вызвано преимущественно реакцией Майяра и взаимодействием фенольных соединений с минеральными веществами. С ростом температуры и времени сушки реакция Майяра усиливается [47]. Несмотря на это, значительных различий между показателями цвета (L^* , a^* , b^*) личинок, высушенных в вакуумном шкафу при различных температурах, не было обнаружено. Степень изменения цвета (ΔE_{Lab}) при вакуумной сушке была < 9, в 1,2–6,3 раза меньше, чем при использовании конвекционной сушки (ΔE_{Lab} от 11 до 36).

В случае конвекционной сушки личинок *T. molitor* с увеличением температуры от 50 °C до 80 °C образцы значительно темнели: значение L^* менялось от 43 ± 5 до 19 ± 5 , BI — от 132 до 348. Значимых изменений показателей цвета между образцами, высушенными при температурах 80 °C и 105 °C, не наблюдалось. При сушке насекомых на воздухе (в конвекционном шкафу) реакция Майяра также протекает, однако значительно большее потемнение продукта в этом случае говорит о большем вкладе окислительных процессов в потемнение личинок *T. molitor*.

Конвекционная сушка сверчка домашнего приводила к деформации отдельных особей, однако визуально такие изменения были менее заметны, чем в случае большого мучного хрущака (Рисунок 5). Кроме того, конвекционная сушка, по сравнению с вакуумной, не вызывала большего потемнения продукта: все образцы имели схожие показатели ΔE_{Lab} и BI (Таблица 2). Аналогично изменение температуры процесса от 50 °C до 105 °C не оказывало значительного влияния на внешний вид и цвет *A. domesticus*, в отличие от *T. molitor*. *A. domesticus* имеет схожий жирнокислотный состав с личинками *T. molitor* [53,54], близкое содержание железа [50,55], в то время как содержание жира в сверчке

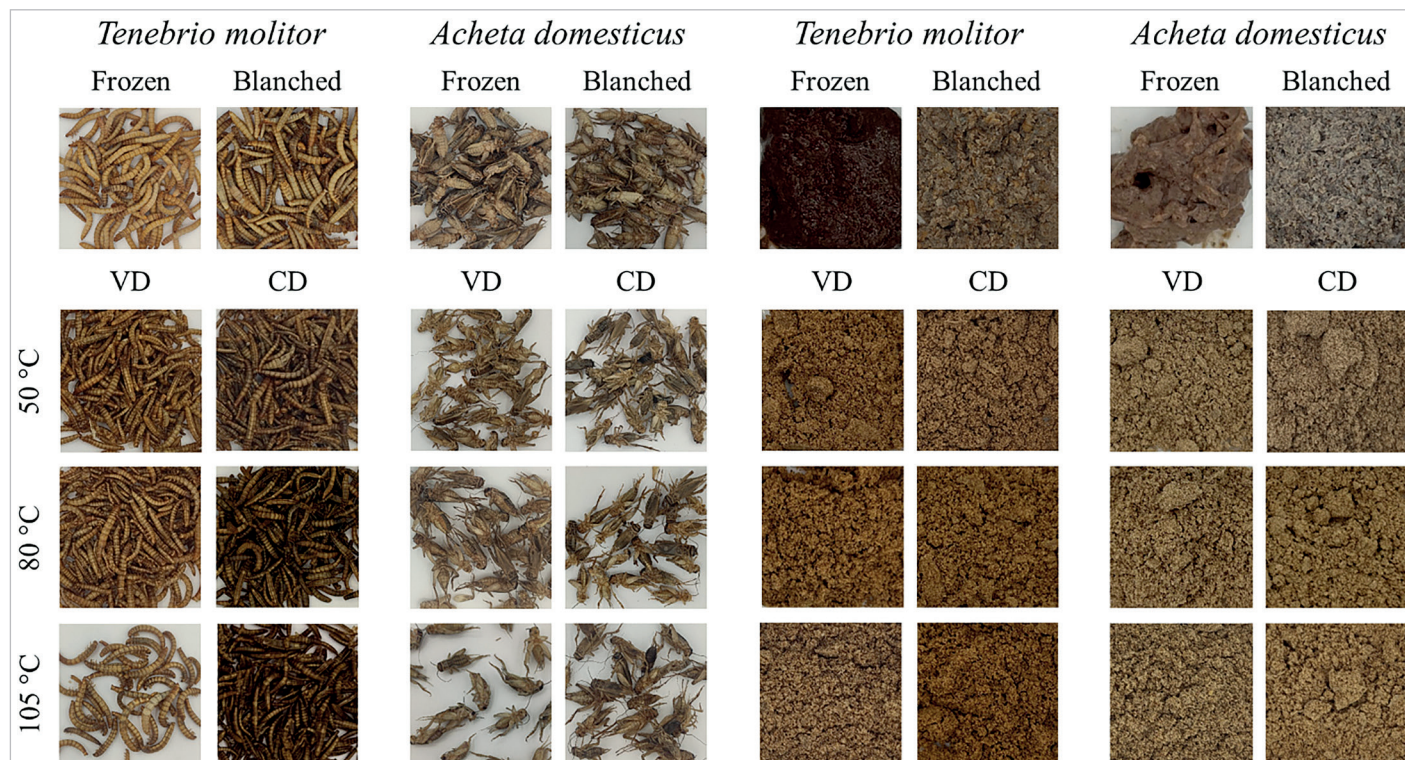


Рисунок 5. Замороженные, бланшированные и высушенные при различных условиях личинки *T. molitor* и имаго *A. domesticus*; измельченные замороженные и бланшированные личинки *T. molitor* и имаго *A. domesticus*; мука из высушенных при различных условиях личинок *T. molitor* и имаго *A. domesticus* (Frozen — замороженные, Blanched — бланшированные, VD — вакуумная сушка, CD — конвекционная сушка)

Figure 5. Frozen, blanched and dried under different conditions *T. molitor* larvae and *A. domesticus* imago, as well as ground frozen and blanched *T. molitor* larvae and *A. domesticus* imago, and flour from *T. molitor* larvae and *A. domesticus* imago dried under different conditions (VD — vacuum drying, CD — convection drying)

домашнем в среднем ниже, чем в личинках мучного хрущака [3]. Одновременно с этим, согласно [35], липиды *A. domesticus* в меньшей степени подвержены окислению благодаря высокой концентрации витамина E, проявляющего антиоксидантную активность. Меньшее содержание жира и более высокая устойчивость к окислению снижает величину потемнения при обработке *A. domesticus* по сравнению с *T. molitor*, вызванного окислительными процессами.

Мука из личинок большого мучного хрущака, высушенных различными способами, имела схожий цвет по показателям L^* , a^* , b^* (Рисунок 5, Таблица 3). Величины L^* отличались незначительно для всех исследованных режимов сушки, а показатель BI уменьшался с увеличением температуры (и уменьшением времени) при сушке

Таблица 2. Цветовые характеристики замороженных, бланшированных и высушенных при различных условиях личинок *T. molitor* и имаго *A. domesticus*

Table 2. Color characteristics of frozen, blanched and dried under different conditions *T. molitor* larvae and *A. domesticus* imago

Образец	L^*	a^*	b^*	ΔE_{Lab}	Ch	H	BI
Личинки <i>Tenebrio molitor</i>							
Замороженные	55 ± 5 ^a	17 ± 2 ^a	37 ± 3 ^{ac}	—	40,3	1,13	123
Бланшированные	51 ± 5 ^{ab}	16 ± 2 ^a	37 ± 4 ^{ac}	—	40,2	1,17	136
Вакуум. сушка	50 °C	43 ± 5 ^{bd}	18 ± 1 ^a	38 ± 3 ^a	8,8	42,1	1,12
	80 °C	46 ± 5 ^{ad}	17 ± 1 ^a	35 ± 2 ^{ac}	5,7	38,8	1,11
	105 °C	50 ± 3 ^{ad}	12 ± 1 ^{bc}	32 ± 2 ^{ac}	6,5	33,9	1,21
Конвекц. сушка	50 °C	43 ± 5 ^{bd}	15 ± 1 ^{ac}	30 ± 2 ^c	10,7	33,4	1,11
	80 °C	19 ± 5 ^c	15 ± 2 ^a	22 ± 5 ^b	35,8	27,0	0,98
	105 °C	24 ± 7 ^c	15 ± 1 ^a	22 ± 4 ^b	31,2	27,1	0,97
Имаго <i>Acheta domesticus</i>							
Замороженные	44 ± 4 ^a	10 ± 1 ^a	21 ± 2 ^{ab}	—	23,3	1,11	80
Бланшированные	34 ± 7 ^a	11 ± 1 ^a	20 ± 2 ^a	—	22,5	1,08	107
Вакуум. сушка	50 °C	42 ± 5 ^a	11 ± 2 ^a	26 ± 2 ^b	10,1	28,2	1,18
	80 °C	41 ± 4 ^a	11 ± 2 ^a	21 ± 3 ^{ab}	7,0	24,0	1,07
	105 °C	39 ± 4 ^a	9 ± 1 ^a	22 ± 3 ^{ab}	6,0	23,7	1,17
Конвекц. сушка	50 °C	40 ± 5 ^a	9 ± 1 ^a	21 ± 2 ^{ab}	6,8	23,1	1,19
	80 °C	34 ± 5 ^a	11 ± 2 ^a	25 ± 4 ^{ab}	5,0	27,1	1,16
	105 °C	40 ± 5 ^a	10 ± 1 ^a	20 ± 3 ^a	6,0	21,8	1,11

Примечание: различные буквенные индексы (a, b, c, d) в одном столбце указывают на наличие значимой разницы между величинами ($p < 0,05$).

Таблица 3. Цветовые характеристики измельченных замороженных и бланшированных личинок *T. molitor* и имаго *A. domesticus*, а также муки из высушенных при различных условиях личинок *T. molitor* и имаго *A. domesticus*

Table 3. Color characteristics of ground frozen and blanched *T. molitor* larvae and *A. domesticus* imago as well as flour from *T. molitor* larvae and *A. domesticus* imago dried under different conditions

Образец	L^*	a^*	b^*	ΔE_{Lab}	Ch	H	BI
Личинки <i>Tenebrio molitor</i> измельченные							
Замороженные	9 ± 3 ^a	15 ± 2 ^a	10 ± 2 ^a	—	18,0	0,58	332
Бланшированные	37 ± 4 ^b	10 ± 1 ^b	20 ± 2 ^b	—	22,5	1,09	94
Вакуум. сушка	50 °C	37 ± 4 ^b	18 ± 2 ^{ac}	37 ± 2 ^c	18,4	40,9	1,11
	80 °C	40 ± 4 ^b	20 ± 1 ^c	39 ± 2 ^c	21,8	44,1	1,10
	105 °C	45 ± 3 ^b	16 ± 1 ^a	30 ± 1 ^d	13,7	33,6	1,09
Конвекц. сушка	50 °C	43 ± 6 ^b	16 ± 1 ^a	30 ± 2 ^d	13,4	34,6	1,08
	80 °C	40 ± 4 ^b	18 ± 1 ^{ac}	38 ± 1 ^c	19,9	42,1	1,14
	105 °C	37 ± 4 ^b	20 ± 2 ^c	37 ± 3 ^c	19,1	41,6	1,07
Имаго <i>Acheta domesticus</i> измельченные							
Замороженные	39 ± 2 ^a	12 ± 1 ^{adce}	19 ± 1 ^a	—	22,2	1,03	87
Бланшированные	45 ± 4 ^a	6 ± 1 ^b	12 ± 1 ^b	—	13,7	1,12	41
Вакуум. сушка	50 °C	46 ± 2 ^a	11 ± 1 ^{ac}	32 ± 1 ^{cd}	20,3	33,8	1,23
	80 °C	41 ± 5 ^a	13 ± 1 ^{def}	31 ± 2 ^c	20,0	33,3	1,16
	105 °C	47 ± 8 ^a	12 ± 1 ^{adef}	30 ± 1 ^c	19,1	32,7	1,19
Конвекц. сушка	50 °C	42 ± 4 ^a	10 ± 1 ^c	23 ± 1 ^e	11,7	25,0	1,16
	80 °C	43 ± 5 ^a	13 ± 1 ^{ef}	36 ± 1 ^f	25,1	38,6	1,22
	105 °C	49 ± 5 ^a	14 ± 1 ^f	34 ± 1 ^{df}	23,8	37,2	1,18

Примечание: различные буквенные индексы (a, b, c, d, e, f) в одном столбце указывают на наличие значимой разницы между величинами ($p < 0,05$).

в вакууме и, наоборот, увеличивался при сушке в конвекционном шкафу. Это соотносится с данными, полученными для неизмельченных насекомых (Таблица 2), однако в целом различие цветов образцов муки было менее заметным, чем образцов насекомых.

Цветовые характеристики муки из сверчка домашнего практически не зависели от способа и температуры сушки — все образцы имели схожие показатели L^* , ΔE_{lab} , BI (Таблица 3). Величины изменения цвета относительно бланшированного образца (ΔE_{lab}) колебались в диапазоне 11,7–25,1 и были схожи со значениями, полученными для муки из личинок большого мучного хрущака — 13,4–21,8. В среднем мука из *A. domesticus* имела более светлый оттенок ($L^* = 41–49$, $H = 1,16–1,23$) и меньшую насыщенность цвета ($Ch = 25,0–38,6$), чем мука из личинок *T. molitor* ($L^* = 37–45$, $H = 1,07–1,14$, $Ch = 33,6–44,1$).

3.3. Микробиологические параметры

Проведено исследование зависимости микробиологической обсемененности измельченных насекомых и муки из *T. molitor* и *A. domesticus* от условий их обработки и сушки. Перечень исследуемых микробиологических показателей выбран на основе списка показателей безопасности, предусмотренных ТР ТС 021/2011¹, а также регламентом ЕС 2017/2470² (Таблица 4). В связи с тем, что в РФ на данный момент требования безопасности к пищевым продуктам из насекомых не установлены, в качестве ориентира рассматривались показатели для сушеных мясных продуктов, концентратов пищевых из мяса и субпродуктов (Таблица 4 — СМ). Дополнительно учитывались показатели для БАД на основе переработки мясомолочного сырья, включая субпродукты, птицу, членистоногих, земноводных и продукты пчеловодства в сухой форме, а также для БАД на основе мясного сырья, включая субпродукты птицы (Таблица 4 — БАД). В регламенте ЕС 2017/2470² представлена сводная таблица, в которой перечислены требования безопасности из всех регламентов, описывающих новые продукты питания. Насекомым как продуктам питания соответствуют регламенты (Таблица 4 — Insects): 2021/882¹² (высушенные личинки *T. molitor*), 2021/1975¹³ (*Locusta migratoria* в замороженном и высушенном виде, в форме муки), 2022/169¹⁴ (личинки *T. molitor* в замороженном и высушенном виде, в форме муки), 2022/188¹⁵ (*A. domesticus* в замороженном и высушенном виде, в форме муки), 2023/5¹⁶ (частично обезжиренная мука из *A. domesticus*), 2023/58¹⁷ (*Alphitobius diaperinus* в замороженном и высушенном виде, в форме муки и пасты), 2025/89¹⁸ (обработанная УФ мука из личинок *T. molitor*).

¹²Commission Implementing Regulation (EU) 2021/882 of 1 June 2021 authorising the placing on the market of dried *Tenebrio molitor* larva as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council, and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470 Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/882/oj/eng/pdf Accessed June 02, 2026

¹³Commission Implementing Regulation (EU) 2021/1975 of 12 November 2021 authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of *Locusta migratoria* as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470 Retrieved from http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2021/1975/oj/pdf Accessed June 02, 2026

¹⁴Commission Implementing Regulation (EU) 2022/169 of 8 February 2022 authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council, and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470 Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2022/169/oj/pdf Accessed June 02, 2026

¹⁵Commission Implementing Regulation (EU) 2022/188 of 10 February 2022 authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of *Acheta domesticus* as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council, and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470 Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2022/188/oj/pdf Accessed June 02, 2026

¹⁶Commission Implementing Regulation (EU) 2023/5 of 3 January 2023 authorising the placing on the market of *Acheta domesticus* (house cricket) partially defatted powder as a novel food and amending Implementing Regulation (EU) 2017/2470 Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/5/oj/pdf Accessed June 02, 2026

¹⁷Commission Implementing Regulation (EU) 2023/58 of 5 January 2023 authorising the placing on the market of the frozen, paste, dried and powder forms of *Alphitobius diaperinus* larvae (lesser mealworm) as a novel food and amending Implementing Regulation (EU) 2017/2470 Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/58/oj/pdf Accessed June 02, 2026

¹⁸Commission Implementing Regulation (EU) 2025/89 of 20 January 2025 authorising the placing on the market of UV-treated powder of whole *Tenebrio molitor* larvae (yellow mealworm) as a novel food and amending Implementing Regulation (EU) 2017/2470 Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2025/89/oj/pdf Accessed June 02, 2026

Таблица 4. Микробиологические нормативы безопасности для продуктов питания

Table 4. Microbiological criteria of food safety

ТР ТС 021/2011			Регламент ЕС 2017/2470	
Показатель	СМ	БАД	Показатель	Insects
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, не допускаются в, г	25	10	<i>Salmonella</i> spp., не допускаются в, г	25
<i>L. monocytogenes</i> , не допускаются в, г	25	—	<i>L. monocytogenes</i> , не допускаются в, г	25
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	5×10^3 ^{††} 1×10^4 ^{***†} $2,5 \times 10^4$ ^{***}	1×10^4	Total aerobic colony count, КОЕ/г	$\leq 1 \times 10^5$
БГКП, не допускается в, г	$1,0$ ^{***} $0,1$ ^{**} $0,01$ [†]	0,1	—	—
<i>E. coli</i> , не допускается в, г	—	1,0	<i>E. coli</i> , КОЕ/г ⁺	$\leq 5 \times 10^1$ ($\leq 1 \times 10^1$ ^Δ)
<i>S. aureus</i> , не допускается в, г	$0,1$ ^{††} $0,01$ ^{**}	1,0	Coagulase-positive staphylococci, КОЕ/г	$\leq 1 \times 10^2$
Бактерии рода <i>Proteus</i> , не допускаются в, г	$1,0$ ^{**†††}	—	—	—
Сульфитредуцирующие клостридии, не допускаются в, г	—	—	Sulfite-reducing Anaerobes, КОЕ/г ⁺⁺	$\leq 3 \times 10^1$ ($< 1 \times 10^1$ ^Δ)
—	—	—	<i>Clostridium perfringens</i> , КОЕ/г	$\leq 1 \times 10^1$ ^Δ
Плесени, КОЕ/г, не более	100 ^{***}	—	Yeasts and moulds, КОЕ/г	$\leq 1 \times 10^2$
<i>B. cereus</i> , не допускаются в, г	—	—	<i>B. cereus</i> , КОЕ/г	$\leq 1 \times 10^2$
—	—	—	Enterobacteriaceae, КОЕ/г	$\leq 1 \times 10^2$ ($< 1 \times 10^1$ ^{ΔΔΔ} $< 1 \times 10^2$ ^{ΔΔΔ})

Примечание:

*** — для сушеных продуктов из мяса птицы;

*** — для концентратов пищевых из мяса и субпродуктов сухих;

† — для фарша цыплят сублимационной сушки;

†† — для фарша куриного тепловой сушки;

† — β-глюкуронидаза-положительные *E. coli* для обработанной УФ муки из личинок *T. molitor* по регламенту 2025/89;

++ — не регламентируется для частично обезжиренной муки из *A. domesticus*;

Δ — для обработанной УФ муки из личинок *T. molitor* по регламенту 2025/89;

ΔΔ — для высушенных личинок *T. molitor* по регламенту 2021/882;

ΔΔΔ — для всех форм *A. domesticus*.

Согласно полученным данным (Таблица 5), замороженные насекомые имели высокие значения КМАФАнМ, содержали БГКП, кроме этого, биомасса сверчка домашнего содержала сульфитредуцирующие клостридии и значительные количества плесени и дрожжей. Авторы [56] связывают высокое содержание микроорганизмов в насекомых с их кишечной микрофлорой, при этом, согласно данным [57], предварительное голодание не снижает количество микроорганизмов, поэтому применяются дополнительные способы обработки.

В данном исследовании первым этапом обработки биомассы насекомых было бланширование в дистиллированной воде при температуре 95–98 °C в течение 30 с. КМАФАнМ в бланшированных образцах по сравнению с необработанными было значительно ниже, отсутствовали БГКП. Для хруща влияние бланшировки на плесени и дрожжи не обнаружено из-за изначально низкого количества КОЕ, в то время как обработка сверчка водой с температурой 95–98 °C привела к уменьшению содержания этих микроорганизмов. Аналогичные данные описываются авторами [58]. В исследовании проводилась обработка личинок большого мучного хруща и домашнего сверчка кипящей водой. Авторы установили, что бланширование в течение 1–4 минут приводило к значительному снижению общего числа микроорганизмов, дрожжей и плесеней. Однако в бланшированных образцах обнаружены сульфитредуцирующие клостридии в $1,0$ г насекомых, которые могут быть устойчивыми к нагреванию [59,60].

На следующем этапе работы исследовались микробиологические показатели биомассы насекомых после вакуумной и конвекционной сушки при различных температурах. Все исследованные режимы сушки позволили получить образцы, общее количество микроорганизмов в которых удовлетворяло бы требованиям регламента ЕС для пищевой продукции из насекомых ($\leq 1 \times 10^5$). Однако для нескольких

Таблица 5. Микробиологические показатели измельченных замороженных и бланшированных личинок *T. molitor* и имаго *A. domesticus*, а также муки из высушенных при различных условиях личинок *T. molitor* и имаго *A. domesticus*

Table 5. Microbiological criteria of ground frozen and blanched *T. molitor* larvae and *A. domesticus* imago as well as flour from *T. molitor* larvae and *A. domesticus* imago dried under different conditions

Образец	КМА- ФАнМ, КОЕ/г	БГКП, в г			Сульфит- редуци- рующие кlostри- дии, в г			Пле- сени, КОЕ/г	Дрож- жи, КОЕ/г
		1,0	0,1	0,01	1,0	0,1	0,01		
Личинки <i>Tenebrio molitor</i>									
Замороженный	> 3,0×10 ⁵	+	+	–	–	–	–	< 5,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
Бланшированный	< 1,5×10 ³	–	–	–	+	–	–	< 5,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
Вакуум. сушка	50 °С	< 1,5×10 ³	–	–	–	–	–	9,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
	80 °С	3,0×10 ²	+	–	–	–	–	< 5,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
	105 °С	7,1×10 ³	–	–	–	–	–	1,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
Конвекц. сушка	50 °С	5,0×10 ⁴	–	+	–	–	–	1,6×10 ²	< 1,0×10 ¹
	80 °С	< 1,5×10 ³	–	–	–	–	–	8,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
	105 °С	< 1,5×10 ³	–	–	–	–	–	< 5,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
Имаго <i>Acheta domesticus</i>									
Замороженный	> 3,0×10 ⁵	+	+	+	+	+	+	< 5,0×10 ²	1,7×10 ³
Бланшированный	< 1,5×10 ³	–	–	–	+	–	–	< 1,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
Вакуум. сушка	50 °С	< 1,5×10 ³	–	+	–	+	–	1,1×10 ²	< 1,0×10 ¹
	80 °С	4,1×10 ⁴	+	–	–	+	–	1,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
	105 °С	8,0×10 ²	–	–	–	–	–	2,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
Конвекц. сушка	50 °С	< 1,5×10 ³	–	–	–	–	–	2,2×10 ²	< 1,0×10 ¹
	80 °С	< 1,5×10 ³	–	–	–	–	–	< 5,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹
	105 °С	< 1,5×10 ³	–	–	–	–	–	< 1,0×10 ¹	< 1,0×10 ¹

Примечание: (+) — микроорганизмы обнаружены, (—) — микроорганизмы не обнаружены.

образцов обнаружено превышение показателей КМАФАнМ, плесени и БГКП относительно требований, установленных в ТР ТС 021/2011¹ (Таблица 4 и Таблица 5). Такие образцы получены для большого мучного хрущака и сверчка домашнего, высушенных в вакуумном или конвекционном шкафу при температуре 50 °C или 80 °C. При этом, образцы муки из насекомых, полученные после высушивания при 105 °C, удовлетворяли всем требованиям микробиологической безопасности, указанным в обоих нормативных документах.

Наличие сульфитредуцирующих клостридий в образцах сверчка после вакуумной сушки при температурах 50 °C и 80 °C может быть связано с недостаточной эффективностью такой обработки против термоустойчивых бактерий. Также обнаружение этих микроорганизмов в исследованных образцах сверчка и хрущака (Таблица 5) может быть связано с термической активацией спор основного вида сульфитредуцирующих клостридий *Clostridium perfringens*, для которого, по данным [59], характерно прорастание 97% спор при кратковременной обработке при температуре 80 °C. Кроме того, воздействие в течение 48 ч температурой 75 °C, согласно данным [60], не приводило к полному уничтожению спор *C. perfringens*, и их уровень находился в пределах 10^2 – 10^3 КОЕ/г [60]. В образцах, высушенных при температуре 105 °C, сульфитредуцирующие клостридии не обнаружены.

Ни в одном из исследованных образцов, включая замороженные, не были обнаружены *L. monocytogenes* (в 25 г), *Salmonella* spp. (в 25 г), коагулазоположительные стафилококки (в 1,0, 0,1 и 0,01 г), *B. cereus* (в 0,1, 0,01 г), *E. coli* (в 1,0, 0,1 и 0,01 г).

Таким образом, бланшированные и высушенные при температуре 105 °C при помощи вакуумной и конвекционной сушки насекомые и мука из них соответствовали требованиям микробиологической безопасности, установленным в ТР ТС 021/2011¹ и регламенте ЕС 2017/2470² для данного вида продуктов питания.

4. Выводы

В исследовании проведено сравнение конвекционной и вакуумной сушки личинок большого мучного хрущака (*T. molitor*) и имаго сверчка домашнего (*A. domesticus*) при температурах 50 °C, 80 °C и 105 °C. Оценено влияние способа и условий сушки на скорость процесса, внешний вид получаемого продукта и его микробиологическую безопасность. Установлено, что повышение температуры

сушки позволяло сократить продолжительность процесса для обоих видов насекомых. Однако при конвекционной сушке личинок *T. molitor* это также приводило к значительному потемнению продукта. При сушке сверчка домашнего температура процесса не оказывала влияния на цвет получаемой муки. Вакуумная сушка позволяла сохранить цвет и внешний вид обоих насекомых. Что касается микробиологической безопасности, то сушка при температуре 105 °C (вне зависимости от способа) обеспечивала получение продукта, соответствующего нормативным требованиям без дополнительной

обработки. Режимы 50 °C и 80 °C были недостаточны для гарантированной инактивации микроорганизмов, и полученные при этих температурах продукты требовали обязательной постобработки. Однако для сохранения характеристик целевого продукта в неизменном виде, в частности для минимизации окисления липидов и денатурации белков, целесообразно применение вакуумной сушки при 50 °C. В этих условиях продолжительность процесса увеличивалась: для обработки личинок *T. molitor* требовалось значительно больше времени по сравнению с *A. domesticus*.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A. et al. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520(7545), 45–50. <https://doi.org/10.1038/nature14324>
- Gallardo, R. K. (2024). The environmental impacts of agriculture: A review. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 18(1–2), 165–235. <https://doi.org/10.1561/101.00000166>
- Amoah, I., Cobbinah, J. C., Yeboah, J. A., Essiam, F. A., Lim, J. J., Tandoh, M. A. et al. (2023). Edible insect powder for enrichment of bakery products — A review of nutritional, physical characteristics and acceptability of bakery products to consumers. *Future Foods*, 8, Article 100251. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100251>
- Yazici, G. N., Ozer, M. S. (2021). Using edible insects in the production of cookies, biscuits, and crackers: A review. *Biology and Life Sciences Forum*, 6(1), Article 80. <https://doi.org/10.3390/Foods2021-10974>
- van Huis, A., Oonincx, D. G. A. B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5), Article 43. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
- Gahukar, R. T. (2016). Edible insects farming: Efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock and crops. Chapter in a book: *Insects as Sustainable Food Ingredients*. Academic Press, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00004-1>
- Hammer, L., Moretti, D., Abbühl-Eng, L., Kandiah, P., Hilal, N., Portmann, R. et al. (2023). Mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and crickets (*Acheta domesticus*) show high total protein in vitro digestibility and can provide good-to-excellent protein quality as determined by in vitro DIAAS. *Frontiers in Nutrition*, 10, Article 1150581. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1150581>
- Rodríguez-Rodríguez, M., Barroso, F. G., Fabrikov, D., Sánchez-Muros, M. J. (2022). In vitro crude protein digestibility of insects: A review. *Insects*, 13(8), Article 682. <https://doi.org/10.3390/insects13080682>
- Churchward-Venne, T. A., Pinckaers, P. J. M., Van Loon, J. J. A., Van Loon, L. J. C. (2017). Consideration of insects as a source of dietary protein for human consumption. *Nutrition Reviews*, 75(12), 1035–1045. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux057>
- Syahrulawal, L., Torske, M. O., Sapkota, R., Næss, G., Khanal, P. (2023). Improving the nutritional values of yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae as an animal feed ingredient: A review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), Article 146. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00945-x>
- Nafary, A., Mousavi Nezhad, S. A., Jalili, S. (2023). Extraction and characterization of chitin and chitosan from *Tenebrio molitor* beetles and investigation of its antibacterial effect against *Pseudomonas aeruginosa*. *Advanced Biomedical Research*, 12(1), Article 96. https://doi.org/10.4103/abr.205_22
- Turck, D., Castenmiller, J., De Henaau, S., Hirsch-Ernst, K. I., Kearney, J., Maciuk, A., et al. (2021). Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(1), Article e06343. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6343>
- Mlecek, J., Rop, O., Borkovcova, M., Bednarova, M. (2014). A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe — A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(3), 147–157. <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0099-8>
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), Turck, D., Bohn, T., Cámara, M., Castenmiller, J., De Henaau, S. et al. (2024). Safety of frozen, dried and powder forms of house crickets (*Acheta domesticus*) as a novel food pursuant. *EFSA Journal*, 22(12), Article e9101. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.9101>
- Ardoin, R., Prinyawiwatkul, W. (2021). Consumer perceptions of insect consumption: A review of western research since 2015. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(10), 4942–4958. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15167>
- Delicato, C., Schouteten, J. J., Dewettinck, K., Gellynck, X., Tzompa-Sosa, D. A. (2020). Consumers' perception of bakery products with insect fat as partial butter replacement. *Food Quality and Preference*, 79, Article 103755. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103755>
- Polubesova, M. A., Novikova (Zakharova), M. V., Ryabukhin, D. S. (2022). Entomophagy: Are insects safe for human food? *Food systems*, 5(1), 70–76. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-70-76>
- Larouche, J., Deschamps, M.-H., Saucier, L., Lebeuf, Y., Doyen, A., Vandenberg, G.W. (2019). Effects of killing methods on lipid oxidation, colour and microbial load of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Animals*, 9(4), Article 182. <https://doi.org/10.3390/ani9040182>
- 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*. Academic Press, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00005-3>
- Wessels, M. L. J., Azzollini, D., Fogliano, V. (2020). Frozen storage of lesser mealworm larvae (*Alphitobius diaperinus*) changes chemical properties and functionalities of the derived ingredients. *Food Chemistry*, 320, Article 126649. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126649>
- Garofalo, C., Milanović, V., Cardinali, F., Aquilanti, L., Clementi, F., Osimani, A. (2019). Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Research International*, 125, Article 108527. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108527>
- Moosekian, S. R., Jeong, S., Marks, B. P., Ryser, E. T. (2012). X-ray irradiation as a microbial intervention strategy for food. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3, 493–510. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101306>
- Bogusz, R., Bryś, J., Onopiuk, A., Pobiega, K., Tomczak, A., Kowalczyński, P.Ł. et al. (2024). The impact of drying methods on the quality of blanched yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae. *Molecules*, 29(15), Article 3679. <https://doi.org/10.3390/molecules29153679>
- Vlahova-Vangelova, D., Balev, D., Kolev, N., Dragoev, S., Petkov, E., Popova, T. (2024). Comparison of the effect of drying treatments on the physicochemical parameters, oxidative stability, and microbiological status of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) flours as an alternative protein source. *Agriculture*, 14(3), Article 436. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030436>
- Trukhanova, K. A., Mechtaeva, E. V., Novikova, M. V., Sorokoumov, P. N., Ryabukhin, D. S. (2022). Influence of drying and pretreatment methods on certain parameters of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Theory and Practice of Meat Processing*, 7(4), 247–257. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2022-7-4-247-257>
- Azzollini, D., Derossi, A., Severini, C. (2016). Understanding the drying kinetic and hygroscopic behaviour of larvae of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) and the effects on their quality. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(4), 233–244. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0001>
- Inyang, U. E., Oboh, I. O., Etuk, B. R. (2018). Kinetic models for drying techniques — food materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 8(2), 27–48. <https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003>
- Xu, P., Zhang, Z., Peng, X., Yang, J., Li, X., Yuan, T. et al. (2022). Study on vacuum drying kinetics and processing of the *Lonicera japonica* Thunb. aqueous extracts. *LWT*, 167, Article 113868. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113868>
- Lashkari, H., Halabinejad, M., Rafati, A., Namdar, A. (2020). Shelf life extension of veal meat by edible coating incorporated with *Zataria multiflora* essential oil. *Journal of Food Quality*, 2020, Article 8871857. <https://doi.org/10.1155/2020/8871857>
- Purschke, B., Brüggem, H., Scheibelberger, R., Jäger, H. (2018). Effect of pre-treatment and drying method on physico-chemical properties and dry fractionation behaviour of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *European Food Research and Technology*, 244(2), 269–280. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2953-8>
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169–175. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00154-0)
- Kröncke, N., Bösch, 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>
- Beigi, M. (2017). Mathematical modelling and determination of mass transfer characteristics of celeriac slices under vacuum drying. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 61(2), 109–116. <https://doi.org/10.3311/PPCh.9271>
- Richter Reis, F., Ivahashi, M. M., Guénat Rosa, A. H. (2016). Effect of vacuum drying temperature on drying kinetics, effective moisture diffusivity and quality of peeled litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), Article e12419. <https://doi.org/10.1111/jffe.12419>
- Khatun, H., Claes, J., Smets, R., De Winne, A., Akhtaruzzaman, M., Van Der Borght, M. (2021). Characterization of freeze-dried, oven-dried and blanched house crickets (*Acheta domesticus*) and Jamaican field crickets (*Gryllus assimilis*) by means of their physicochemical properties and volatile compounds. *European Food Research and Technology*, 247(5), 1291–1305. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03709-x>
- Fröhling, A., Bußler, S., Durek, J., Schlüter, O.K. (2020). Thermal impact on the culturable microbial diversity along the processing chain of flour from crickets (*Acheta domesticus*). *Frontiers in Microbiology*, 11, Article 884. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00884>
- Psarianos, M., Rossi Ribeiro, L., Landgraber, E., Ojha, S., Schlüter, O.K. (2025). Combined effect of pulsed electric fields and drying method on the microbial load and protein properties of house crickets (*Acheta domesticus*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 102, Article 104027. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104027>
- Hosseinpour, S., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Aghbashlo, M. (2013). Application of computer vision technique for on-line monitoring of shrimp color changes during drying. *Journal of Food Engineering*, 115(1), 99–114. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.003>
- Sharma, G. P., Prasad, S. (2001). Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering*, 50(2), 99–105. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00200-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00200-4)
- Martins, M. G., Martins, D. E. G., Pena, R. da S. (2015). Drying kinetics and hygroscopic behaviour of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. *LWT — Food Science and Technology*, 62(1), 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.010>

41. Hidalgo, F. J., Zamora, R. (2000). The role of lipids in nonenzymatic browning. *Grasas y Aceites*, 51(1–2), 35–49. <https://doi.org/10.3989/gya.2000.v51.i1-2.405>
42. Das, D., Bhattacharya, A., Ikbal, A., Chowdhury, S., Murmu, P., Nath, S. et al. (2022). A mini-review: Enzymatic and non-enzymatic browning. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 6(8), 118–123. <https://doi.org/10.47001/IRJET/2022.608014>
43. Zhen, Y., Chundang, P., Zhang, Y., Wang, M., Vongsangnak, W., Pruksakorn, C. et al. (2020). Impacts of killing process on the nutrient content, product stability and *in vitro* digestibility of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meals. *Applied Sciences*, 10(17), Article 6099. <https://doi.org/10.3390/app10176099>
44. Gupta, S., Sood, M., Gupta, N., Bandral, J. D., Langeh, A. (2022). Food browning, its type and controlling measures: A review article. *Chemical Science Review and Letters*, 11(44), 417–424. <https://doi.org/10.37273/chesci.cs205307512>
45. Yu, Y., Chen, D., Li, W., Mou, Y., Geng, Y., Chen, F. et al. (2023). Quinone reactivity: Investigation of their contribution to nonenzymatic browning. *Food Frontiers*, 4(2), 945–954. <https://doi.org/10.1002/fft2.247>
46. Corzo-Martinez, M., Corzo, N., Villamiel, M., del Castillo, M.D. (2012). Browning Reactions. Chapter in a book: Food Biochemistry and Food Processing (2nd ed.). John Wiley and Sons, Inc. 2012. <https://doi.org/10.12691/ajfst-7-5-1>
47. El Hosry, L., Elias, V., Chamoun, V., Halawi, M., Cayot, P., Nehme, A. et al. (2025). Maillard reaction: Mechanism, influencing parameters, advantages, disadvantages, and food industrial applications: A review. *Foods*, 14(11), Article 1881. <https://doi.org/10.3390/foods1411881>
48. Kröncke, N., Grebenteuch, S., Keil, C., Demtröder, S., Kroh, L., Thünemann, A. F. et al. (2019). Effect of different drying methods on nutrient quality of the yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*, 10(4), Article 84. <https://doi.org/10.3390/insects10040084>
49. Xu, Z., Yang, Z., Ji, J., Mou, Y., Chen, F., Xiao, Z. et al. (2023). Polyphenol mediated non-enzymatic browning and its inhibition in apple juice. *Food Chemistry*, 404(A), Article 134504. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134504>
50. Janssen, R. H., Canelli, G., Sanders, M.G., Bakx, E. J., Lakemond, C. M. M., Fogliano, V. et al. (2019). Iron-polyphenol complexes cause blackening upon grinding *Hermetia illucens* (black soldier fly) larvae. *Scientific Reports*, 9(1), Article 2967. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38923-x>
51. Leni, G., Caligiani, A., Sforza, S. (2019). Killing method affects the browning and the quality of the protein fraction of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) prepupae: A metabolomics and proteomic insight. *Food Research International*, 115, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.021>
52. Janssen, R. H., Vincken, J.-P., Arts, N. J. G., Fogliano, V., Lakemond, C. M. M. (2019). Effect of endogenous phenoloxidase on protein solubility and digestibility after processing of *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus* and *Hermetia illucens*. *Food Research International*, 121, 684–690. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.038>
53. Tzompa-Sosa, D. A., Dewettinck, K., Provijn, P., Brouwers, J. F., de Meulenaer, B., Oonincx, D.G.A.B. (2021). Lipidome of cricket species used as food. *Food Chemistry*, 349, Article 129077. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129077>
54. Siow, H. S., Sudesh, K., Murugan, P., Ganesan, S. (2021). Mealworm (*Tenebrio molitor*) oil characterization and optimization of the free fatty acid pretreatment via acid-catalyzed esterification. *Fuel*, 299, Article 120905. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120905>
55. Kosečková, P., Zvěřina, O., Pěchová, M., Krulíková, M., Duborská, E., Borkovcová, M. (2022). Mineral profile of cricket powders, some edible insect species and their implication for gastronomy. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107, Article 104340. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104340>
56. 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>
57. Wynants, E., Crauwels, S., Lievens, B., Luca, S., Claes, J., Borremans, A. et al. (2017). Effect of post-harvest starvation and rinsing on the microbial numbers and the bacterial community composition of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.06.004>
58. Caparros Megido, R., Desmedt, S., Blecker, C., Béra, F., Haubruge, É., Alabi, T. et al. (2017). Microbiological load of edible insects found in Belgium. *Insects*, 8(1), Article 12. <https://doi.org/10.3390/insects8010012>
59. Xiao, Q., Luo, H., Pan, Q., Chen, C., Xu, B., Li, P. (2025). Dual roles of heat treatments on the *Clostridium perfringens* spores: Germination or inactivation? *Food Bioscience*, 68, Article 106723. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106723>
60. Márquez-González, M., Cabrera-Díaz, E., Hardin, M. D., Harris, K. B., Lucia, L. M., Castillo, A. (2012). Survival and germination of *Clostridium perfringens* spores during heating and cooling of ground pork. *Journal of Food Protection*, 75(4), 682–689. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-11-409>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Мечтаева Елизавета Владимировна — научный сотрудник, лаборатория промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 190000, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 E-mail: e.mechtaeva@fnccps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7879-7994 * автор для контактов Васильев Платон Николаевич — лаборант-исследователь, лаборатория промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 190000, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 E-mail: vasiljevpl4ton@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9954-4689 Никитина Наталья Александровна — лаборант-исследователь, лаборатория промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 190000, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 E-mail: nikitinanatalia2003@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0064-3340 Журавлева Айгуль Зарифовна — кандидат ветеринарных наук, заместитель директора по качеству, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 190000, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 E-mail: a.zhuravleva@fnccps.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2683-269X Ситнов Вениамин Юрьевич — директор, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 190000, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 E-mail: v.sitnov@fnccps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1927-1997	Elizaveta V. Mechtaeva, Researcher, Laboratory of Industrial Bio-technological Innovations, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 190000, St. Petersburg, Russia E-mail: e.mechtaeva@fnccps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7879-7994 * corresponding author Platon N. Vasilev, Laboratory Assistant, Laboratory of Industrial Bio-technological Innovations, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 190000, St. Petersburg, Russia E-mail: vasiljevpl4ton@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9954-4689 Natalia A. Nikitina, Laboratory Assistant, Laboratory of Industrial Bio-technological Innovations, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 190000, St. Petersburg, Russia E-mail: nikitinanatalia2003@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0064-3340 Aigul Z. Zhuravleva, Candidate of Veterinary Sciences, Deputy Director, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 190000, St. Petersburg, Russia E-mail: a.zhuravleva@fnccps.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2683-269X Veniamin Yu. Sitnov, Director, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 190000, St. Petersburg, Russia E-mail: v.sitnov@fnccps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1927-1997
Критерии авторства	Contribution
Мечтаева Е. В. — планирование и проведение исследований, обработка результатов, написание и редактирование статьи; Васильев П. Н. — проведение исследований, обработка результатов, написание статьи; Никитина Н. А. — обработка результатов, написание статьи; Журавлева А. З. — обеспечение исследований, обработка результатов; Ситнов В. Ю. — привлечение финансирования, администрирование проекта.	Mechtaeva E. V. — investigation, data curation, writing — original draft, writing, review and editing; Vasilev P. N. — investigation, data curation, writing — original draft; Nikitina N. A. — data curation, writing — original draft; Zhuravleva A. Z. — resources, data curation; Sitnov V. Yu. — funding acquisition, project administration.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.