

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
ORIGINAL ARTICLE<https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.6.PHYS.1>
УДК 612.3

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИЧИНОК МУХИ «ЧЁРНАЯ ЛЬВИНКА» В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ И ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

М.С. Талан¹, И.С. Докучаева², М.А. Мухамедьяров¹¹Казанский государственный медицинский университет, ул. Бултерова, д. 49, г. Казань, 420012, Россия²Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, д. 68, г. Казань, 420015, Россия

Резюме. *Введение.* В связи с ростом численности населения планеты происходит возрастание потребления продуктов питания, увеличивается потребность в микронутриентах и макронутриентах. Потребность в качественных белках и жирах возрастает, поэтому интерес привлекают альтернативные и более дешёвые источники данных веществ. Личинки мухи чёрной львинки и их компоненты используются в медицине, косметологии и сельском хозяйстве. В процессе выращивания насекомых перерабатываются пищевые и кормовые отходы. Уникальной особенностью личинок мух чёрной львинки является накопление незаменимых аминокислот, жирных кислот, хитина и меланина, все эти компоненты можно применять в медицине и пищевой индустрии. Для обоснования физиологических и биохимических аспектов в качестве возможного источника питания необходимо знать аминокислотный и жирнокислотный состав данных личинок. *Цель:* определить жирнокислотный и аминокислотный состав личинок мухи чёрной львинки. *Материалы и методы.* В эксперименте исследовался жирнокислотный и аминокислотный состав личинки мухи чёрной львинки (*Hermetia illucens*) с последующей целью использования насекомого в качестве компонента в биологически активных добавках. Мы оценили аминокислотный и жирнокислотный состав личинок. *Hermetia illucens* выращивались на четырёх разных диетах, для определения аминокислотного и жирнокислотного состава взяли группу с наибольшим полученным весом. Для определения аминокислот были отобраны личинки мух чёрной львинки на стадии предкуколки, применялась конвекционная сушка. Высушенные образцы проанализированы методом жидкостной хроматографии. *Результаты.* Высушенные образцы получены с помощью экстракции измельчённой массы личинок петролейным эфиром. Образец исследован методом газовой хроматографии и в своём составе имеет лауриновую кислоту - до 53 %, миристиновую - 5 %, пальмитиновую - 5 %, олеиновую - до 5 %, жирные кислоты омега-3 и омега-6. Проведён аминокислотный анализ с помощью жидкостной хроматографии, получены: лизин - 4,3 %, валин - 1,4 %, лейцин - 4,6 %, аргинин - 6,7 %, изолейцин - 2,8 %, гистидин - 2,0 %, метионин - 2 %, фенилаланин - 3,4 %, триптофан - 1,7 %, треонин - 2,9 %. *Заключение.* Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего изучения и обоснования физиологических и биохимических аспектов применения компонентов личинок мух чёрной львинки в качестве альтернативных источников биологически активных и питательных веществ.

Ключевые слова: биологически активные добавки, жирные кислоты, жирные кислоты омега-3, жирные кислоты омега-6, аминокислоты, белки насекомых, двукрылые, функциональные продукты питания.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Соответствие нормам этики. Авторы подтверждают, что соблюдены правила обращения с животными в случаях их использования в работе.

Для цитирования: Талан М.С., Докучаева И.С., Мухамедьяров М.А. Физиологические и биохимические аспекты применения личинок мухи «чёрная львинка» в качестве источника биологически активных и питательных веществ. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2024;14(6):24-29. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.6.PHYS.1>



PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS OF USING BLACK LION FLY LARVAE AS A SOURCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE AND NUTRIENT SUBSTANCES

Matvey S. Talan¹, Irina S. Dokuchaeva², Marat A. Mukhamed'yarov¹

¹Kazan State Medical University, 49, Butlerova St., Kazan, 420012, Russia

²Kazan National Research Technological University, 68, Karl Marx St., Kazan, 420015, Russia

Abstract. *Introduction.* Functional foods are products that, in addition to taste and nutritional value, have a physiological effect on the human body. ω -6 and ω -3 fatty acids, when consumed in the form of triglycerides from various food sources, undergo digestion in the small intestine, allowing absorption and transport into the blood and subsequent assimilation into the body, including the brain, retina, heart and other tissues. Amino acids must be obtained from food because the human body lacks the metabolic pathways necessary to synthesize some amino acids. In nutrition, amino acids are classified as essential and non-essential. *Aim.* To determine the fatty acid and amino acid composition of black soldier fly larvae for use as a dietary supplement. *Materials and methods.* In the experiment, the fatty acid and amino acid composition of the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) was studied with the subsequent goal of using the insect as a component in dietary supplements. We assessed the amino acid and fatty acid composition of the larvae. *Hermetia illucens* were grown on four different diets; the group with the highest weight obtained was taken to determine the amino acid and fatty acid composition. To determine amino acids, *Hermetia illucens* were selected at the pre-pupa stage, dried in a SNOL 58/350 cabinet at 105 °C, and analyzed on an Ic-20ad prominence liquid chromatograph. Amino acid analysis was carried out on an Ic-20ad prominence liquid chromatograph, lysine 4.3%, valine 1.4%, leucine 4.6%, arginine 6.7%, isoleucine 2.8%, histidine 2.0%, methionine 2 were obtained %, phenylalanine 3.4%, tryptophan 1.7%, threonine 2.9%. *Results.* Dried samples in a SNOL 58/350 cabinet at 105 °C were obtained by extracting the crushed mass of larvae with petroleum ether. The sample was examined on a Chromatek-Crystal 9000 chromatograph No.: 2191672 and contains lauric acid up to 53%, myristic acid 5%, palmitic acid 5%, oleic acid up to 5%, omega-3 and omega-6.

Keywords. Larvae, waste products, fatty acids, amino acids, dietary supplements, functional nutrition, *hermetia illucens*.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Funding. This research received no external funding.

Compliance with ethical principles. The authors confirm that the rules of treatment of animals when they are used in the study.

Cite as: Talan M.S., Dokuchaeva I.S., Mukhamed'yarov M.A. Physiological and biochemical aspects of using black lion fly larvae as a source of biologically active and nutrient substances. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ": Rehabilitation, Doctor and Health.* 2024;14(6):24-29. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2024.6.PHYS.1>

Введение

Функциональные продукты питания – это продукты, которые кроме вкусовых качеств и пищевой ценности имеют физиологическое воздействие на организм человека. Такие продукты питания должны потребляться всеми категориями населения в составе обычного ежедневного рациона. На сегодняшний день в странах Европы и в России при выборе функциональных продуктов питания предпочтение отдаётся молочным, кисломолочным составным продуктам и хлебобулочным изделиям, состав которых подбирается в соответствии с главными требованиями и принципами конструирования пищи [1].

В период с 2014 по 2019 гг. объёмы производства функциональных продуктов увеличились в 2 раза, а к концу 2024 вырастут ещё на 36 %. Одним из важных компонентов функциональных продуктов, положительно влияющих на здоровье, являются жирные кислоты [2, 3].

Существует острая необходимость в пищевых добавках омега-3 жирных кислот для снижения риска сердечно-сосудистых заболеваний и смертности в данном сценарии. Жирные кислоты омега-3 могут оказывать благотворное влияние на сердечно-сосудистую систему. Противовоспалительные эффекты жирных кислот омега-3 также могут быть использованы при лечении заболеваний, связанных с воспалением. Инновационные продукты, содержа-

щие в своём составе незаменимые жирные кислоты, могут помочь улучшить состояние здоровья [4].

Термин незаменимые жирные кислоты (НЖК) относится к тем полиненасыщенным жирным кислотам (ПНЖК), которые должны поступать с пищей, поскольку они не могут быть синтезированы в организме, но необходимы для здоровья.

ПНЖК, необходимые человеку, но не синтезируемые в организме, называют незаменимыми. К незаменимым ПНЖК относятся жирные кислоты омега-6 – линолевая, γ -линоленовая, арахидоновая кислота. Эти кислоты содержатся в растительных маслах – подсолнечном, конопляном, льняном [5].

Жирные кислоты омега-6 и омега-3 при употреблении с пищей в виде триглицеридов из различных источников пищи подвергаются перевариванию в тонком кишечнике, что обеспечивает всасывание и транспортировку в кровь и последующую ассимиляцию в организме, включая мозг, сетчатку, сердце и другие ткани. Эти жирные кислоты могут подвергаться: а) β -окислению с получением энергии в форме аденозинтрифосфата; б) этерификации в клеточные липиды, включая триглицериды, сложные эфиры холестерина и фосфолипиды; в) превращаться в их важные более длинноцепочечные и более ненасыщенные продукты, полученные с помощью ряда реакций десатурации и удлинения, которые особенно активны в печени и в меньшей степени в других тканях [6].

Иным важным компонентом для функциональных продуктов питания являются аминокислоты. Трудно переоценить роль аминокислот в организме человека, без них невозможно образование белковых молекул, протеинов и осуществление регуляции основных физиологических и биохимических процессов в организме человека.

Аминокислоты должны поступать с пищей, т.к. в организме человека отсутствуют метаболические пути, необходимые для синтеза некоторых аминокислот. С точки зрения питания, девять незаменимых аминокислот можно получить из одного полноценного белка. Полноценный белок, по определению, содержит все незаменимые аминокислоты. Полноценные белки обычно получают из источников питания животного происхождения, за исключением сои. Незаменимые аминокислоты также доступны из неполных белков, которые обычно содержатся в продуктах растительного происхождения [7].

Несмотря на то, что сегодня существует большое разнообразие и доступ в продуктах питания, остаётся актуальным ингредиентный состав продуктов, так как существует нехватка в незаменимых аминокислотах и жирных кислотах для организма. Для решения этой проблемы принято использовать различные биологически активные вещества (БАД). Сегодня стоит вопрос не только дешёвого и быстроусвояемого белка, но и по своему составу не уступающему ныне известным консервативным источникам животного и растительного происхождения.

По последним данным рынок аминокислот стабильно растёт и на конец 2024 года оценивается в 8 миллиардов долларов США. Ожидается, что рынок достигнет 10,20 миллиардов долларов США к 2029 году, а среднегодовой темп роста составит 4,98 % в течение 2024-2029 гг. Наиболее потребляемыми аминокислотами являются лизин, метионин. Аминокислота лизин стала крупнейшим сегментом в 2022 году на мировом рынке. Стоимость незаменимой аминокислоты метионина составила 2,2 миллиарда долларов США. Ещё две аминокислоты – это треонин и триптофан, также заняли преимущественное место на рынке аминокислот, и в сумме больше, чем все аминокислоты вместе. В целом тенденция в мире на потребность в аминокислотах будет расти, особенно на продукты с высоким их содержанием [8].

Аминокислота лизин играет важные функции в метаболических процессах организма. Так, недостаток этой аминокислоты сказывается на росте у детей и приводит к его замедлению, а у взрослых проявляется снижением нормальной жизнедеятельности организма [9].

Сегодня известно, что нормальная деятельность мозга зависит от состава и функции белков, а в

нейронах, как раз, содержится большое количество белков с высоким содержанием лизина [10].

Также важная роль в метаболизме лизина отводится его метаболитам – пипековой кислоте, L-альфа-аминоадипат, отмечается их высокое содержание в спинном и головном мозге у обезьян. А недостаток ферментов лизина может приводить к отставанию в развитии речи и проявляться гиперактивным поведением [11].

Метионин необходим для метаболизма гомоцистеина, который, в свою очередь, участвует в реакциях тромбообразования и атеросклеротического повреждения сосудов, однако при необходимом уровне ферментов происходит обратный метаболизм гомоцистеина в метионин или цистеин, который является мощным антиоксидантом [12].

Метионин участвует в синтезе карнитина. Также аминокислота метионин участвует в иммунном ответе – с помощью переносчиков аминокислот он переносится в активированную антигеном Т-клетку и участвует в синтезе протеинов, тем самым способствует увеличению количества Т-клеток при иммунном ответе [13].

Нами видится применение инновационных источников аминокислот и жирных кислот из энтомо сырья для решения проблемы питания. Насекомые, в частности личинки различных видов мух, рассматриваются как перспективные источники для переработки излишков отходов. Переработка отходов личинками мухи чёрная львинка (*Hermetia illucens*) – это инновация, которая может принести сразу несколько преимуществ. *Hermetia illucens* может изменять физические, химические и биологические свойства исходного сырья за одну-две недели и, таким образом, изменять начальный уровень влажности и питательных веществ в исходном сырье [14]. Также личинки могут использоваться в качестве корма для аквакультуры или животноводства или же в качестве БАДов, следовательно, уменьшить зависимость от импортных высокобелковых кормов и добавок. В качестве альтернативы жир, содержащийся в личинках, можно было бы использовать для производства биотоплива [15]. Остаточный материал, полученный в результате этого процесса (т.е. экскременты насекомых, несъеденные отходы и экскременты личинок), может быть использован в качестве подкормки почвы [4].

Избыток отходов, образующийся в регионах с высокой концентрацией животноводства, где интенсивно разводятся животные, является источником загрязнения окружающей среды. Также излишки отходов часто перевозятся в другие регионы. Существуют различные технологии переработки отходов для изменения физических, химических и/или биологических свойств с целью уменьшить их воздействие на окружающую среду или облегчить

транспортировку [16]. Однако, несмотря на широкий спектр доступных методов переработки, отходы и потенциал, который некоторые из них имеют для снижения воздействий на окружающую среду, вызываемых отходами жизнедеятельности, эти технологии не получили широкого распространения в мировом животноводстве [17].

Цель: определить жирнокислотный и аминокислотный состав личинок мухи чёрной львинки.

Материалы и методы

В эксперименте исследовались личинки мухи чёрной львинки на различных диетах и их итоговый состав. Личинки были разведены в инсектарии на базе Казанской государственной ветеринарной медицинской академии по технологии ООО «Инсект-Лаб». Для насекомых использовались автоматизированные клетки, условия содержания и кормления специфичны физиологии мухи чёрной львинки *Hermetia illucens*. Чёрную львинку содержали в клетках размером 60×60×70 см с индивидуальным обогревом и контролем температуры в пределах 26 ± 1 °C и влажности не ниже 70 %. Кроме того, яйца выращивались в специализированных инкубаторах также с контролем температуры и влажности. Яйца мух инкубировались ежедневно и создавались группы одного возраста для удобства проведения эксперимента [4, 5].

Личинки выращивались на отрубях и отходах крупного рогатого скота (КРС), вмешаны были в четырёх разных пропорциях. Составлены четыре диеты: № 1 – 75 % пшеничных отрубей и 25 % отходов жизнедеятельности КРС; № 2 – 50 % отрубей и 50 % отходов КРС; № 3 – 25 % отрубей и 75 % отходов КРС; № 4 – 10 % отходов КРС.

Личинки были распределены на четыре группы по экспериментальным диетам начиная с 4-го дня после откорма и выращивании на стартовой диете. Каждые 1,5 суток заменялся кормовой субстрат у каждой группы личинок (табл. 1).

Таблица 1. Прирост массы в граммах по дням на разных диетах
Table 1. Weight gain in grams by day on different diets

Сутки	Диета / динамика роста веса личинок на день измерения в гр.			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1	0,045	0,043	0,047	0,046
2	0,047	0,050	0,053	0,054
3	0,065	0,070	0,080	0,088
4	0,071	0,088	0,103	0,094
5	0,070	0,097	0,142	0,145
6	0,116	0,164	0,182	0,182
7	0,115	0,232	0,238	0,150
8	0,228	0,262	0,240	0,183

В процессе кормления каждая группа личинок взвешивалась ежедневно.

Следующим этапом была проведена подготовка образцов для определения состава аминокислот и жирных кислот.

Аминокислотный состав

Для определения аминокислот *Hermetia illucens* были отобраны на стадии до предкуколки, высушены в сушильном шкафу SNOL 58/350 при температуре 105 °C и проанализированы на жидкостном хроматографе Ic-20ad prominence (табл. 2). При проведении аминокислотного анализа получены: лизин – 4,3 %, валин – 1,4 %, лейцин – 4,6 %, аргинин – 6,7 %, изолейцин – 2,8 %, гистидин – 2,0 %, метионин – 2 %, фенилаланин – 3,4 %, триптофан – 1,7 %, треонин – 2,9 %.

Таблица 2. Состав аминокислот мг/грамм белка, полученных на хроматографе Ic-20ad prominence

Table 2. The composition of amino acids mg/gram of protein was obtained on an LC-20AD chromatograph

Наименование показателя	Результат
Аргинин, %	6,7 ± 0,9
Лейцин, %	4,6 ± 0,6
Лизин, %	4,3 ± 0,6
Фенилаланин, %	3,4 ± 0,4
Треонин, %	2,9 ± 0,4
Изолейцин, %	2,8 ± 0,3
Гистидин, %	2,0 ± 0,2
Метионин, %	2,0 ± 0,2
Триптофан, %	1,7 ± 0,3
Валин, %	1,4 ± 0,2

Состав жирных кислот

Экстракцию вели в ёмкости объёмом 500 мл с плотно притёртой крышкой. Сырьё (100 г личинок 30-дневной зрелости) загружали в колбу и заливали 200 мл петролейного эфира, колбу помещали в непрозрачную чёрную бумагу. Ежедневно измеряли показатель преломления фракций и регистрировали инфракрасную спектроскопию (ИК). Спустя 16 дней полученный раствор фильтровали. Для фильтрации применяли двухслойный бумажный фильтр (номенклатурный № 390030, ТУ 6-09-1678-86, уровень фильтрации 10...50 мкм). Далее фильтрат упаривали на водяной бане в вакууме водоструйного насоса при температуре не более 50 °C. Полученная неполярная фракция экстрактивных веществ (II) представляла собой жёлтые масла с характерным запахом. Спектр ИК: $\nu_{C=O}$ 1711 cm^{-1} . Получено 3,91 г продукта. n_D^{20} начальное значение – 1,3788, n_D^{20} конечное значение – 1,4379.

После проведения экстракции *Hermetia illucens* получен образец, представляющий из себя жир прозрачного светло-жёлтого цвета со слабым специфическим запахом. Полученная неполярная фракция экстрактивных веществ представляет собой жёлтые масла с характерным запахом. Спектр ИК: $\nu_{C=O}$ 1711 cm^{-1} . Получено 3,91 г продукта.

n_d^{20} начальное значение – 1,3788, n_d^{20} конечное значение – 1,4379.

Образец, исследованный на хроматографе Хроматэк-Кристалл 9000 № 2191672, имеет в своём составе жирные кислоты: лауриновую – до 53 %, миристиновую – 5 %, пальмитиновую – 5 %, олеиновую – до 5 %, омега-3, омега-6 и омега-9.

Заключение

Имеющийся состав аминокислот и жирных кислот в сырье из личинок мух чёрной львинки даёт возможность использовать насекомых как источник для производства биологически активных добавок с целью восполнения дефицита аминокислот, а также для создания функциональных обогащённых продуктов питания, но только после проведения глубокой переработки насекомых.

Проведённое исследование показывает, что состав сырья из личинок мух чёрной львинки пригоден для применения в качестве добавок для кормов животным или в качестве БАДов в пищу человека. Новый источник аминокислот и жирных кислот поможет решить задачу восполнения дефицита полезных нутриентов для организма. Но также стоит и вопрос о комплексном изучении влияния данной добавки на метаболизм и физиологические процессы. Данный вопрос слабо изучен, и следует обратить внимание на влияние отдельных компонентов

личинки мухи чёрной львинки. В первую очередь интерес вызывает белковая составляющая личинки мухи, а во-вторых, важно оценить влияние жирных кислот на различные физиологические показатели животных, в первую очередь – когнитивных функций.

Полученный нами аминокислотный состав содержит незаменимые аминокислоты, в состав также входят аргинин и изолейцин. Каждая аминокислота выполняет свою важную функцию, а в комплексе такой состав обеспечивает работу эндокринной, иммунной, пищеварительной системы, оказывает гепатопротекторные свойства печени.

Жирные кислоты, входящие в состав группы жирных кислот омега-3 и омега-6 полиненасыщенных жирных кислот, участвуют в качестве структурных компонентов биомембран клеток, регулируют обмен веществ, нормализуют артериальное давление и выполняют другие важные функции в организме.

Такой аминокислотный и жирнокислотный состав *Hermetia illucens* возможен для создания функциональных продуктов питания с учётом законодательных особенностей изготовления продуктов.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего изучения и обоснования физиологических и биохимических аспектов применения компонентов личинок мух чёрной львинки в качестве альтернативных источников биологически активных и питательных веществ.

Литература [References]

- 1 Локтев Д.Б., Зоннова Л.Н., Продукты функционального назначения и их роль в питании человека. *Вятский медицинский вестник*. 2010;2:48-53. Loktev D.B., Zonova L.N., Functional products and their role in human nutrition. *Vyatka Medical Bulletin*. 2010;2:48-53. (In Russ).
- 2 Асякина Л.К., Степанова А.А., Тамарзина Т.В., Лосева А.И., Величкович Н.С. Российский рынок функциональных продуктов питания для здорового образа жизни человека. *Социально-экономический и гуманитарный журнал Красноярского ГАУ*. 2022;3 (25):29-41. Asyakina L.K., Stepanova A.A., Tamarzina T.V., Loseva A.I., Velichkovich N.S., Russian market of functional food products for a healthy lifestyle. *Socio-economic and humanitarian journal of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2022;3 (25):29-41. (In Russ).
- 3 Нечаев А.П., Тарасова В.В., Николаева Ю.В., Кужлева А.А., Эмульсионные жировые продукты функционального назначения в современном питании. *Пищевая промышленность*. 2018;5:26-29. Nechaev A.P., Tarasova V.V., Nikolaeva Yu.V., Kuzhleva A.A., Emulsion fatty products for functional purposes in modern nutrition. *Food industry*. 2018;5:26-29. (In Russ).
- 4 Bortolini S., Macavei L.I., Saadoun J.H., Foca G., Ulrici A., Bernini F. et al. *Hermetia illucens* (L.) larvae as chicken manure management tool for circular economy. *J. Clean. Prod.* 2020;262. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121289>
- 5 Das UN. Essential Fatty acids – a review. *Curr Pharm Biotechnol.* 2006;7(6):467-482.
- 6 Kaur N., Chugh V., Gupta A.K. Essential fatty acids as functional components of foods- a review. *Journal of food science and technology*. 2014;51(10):2289-2303. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0677-0>
- 7 Lopez MJ, Mohiuddin SS. Biochemistry, Essential Amino Acids. [Updated 2023 Mar 13]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan.
- 8 Mordor Intelligence Research & Advisory. Анализ объема и доли рынка кормовых аминокислот – тенденции роста и прогнозы до 2029 года. Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-feed-amino-acids-market-industry> Accessed 1 May. 2024. Source: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-feed-amino-acids-market-industry>
- 9 Ашмарина И.П., Стукалова П.В., Ещенко Н.Д., Биохимия мозга: учебное пособие для студентов биологических и медицинских специальностей университетов. СПб.: Изд-во СПбГУ. 1999:328. Ashmarina I.P., Stukalova P.V., Yeshchenko N.D. Brain biochemistry: A textbook for students of biological and medical specialties at universities. St. Petersburg: St. Petersburg State University Publishing House. 1999:328. (In Russ).
- 10 Худоевков Р.М. Цитохимия белков в раскрытии закономерностей структурной и функциональной организации мозга. *Вестник Российской Академии медицинских наук*. 2001;4:43-48. Khudoerkov R.M. Cytochemistry of proteins in revealing the patterns of structural and functional organization of the brain. *Vestnik of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2001;4:43-48. (In Russ).
- 11 Cederbaum S.D., Shaw K.N., Dancis J. et al. Hyperlysinemia with saccharopinuria due to combined lysine-ketoglutarate reductase and saccharopine dehydrogenase deficiencies presenting as cystinuria. *J. Pediatr.* 1979;95(2):234-238.
- 12 Покровский В.С., Давыдов Д.Ж., Ануфриева Н.В., Жданов Д.Д., Ревтович С.В., Морозова Е.А., Демидкина Т.В., Трещалина Е.М. Нарушенный метаболизм метионина в злокачественных клетках потенциальная мишень для противоопухолевой терапии. *Клиническая онкогематология*. 2017;3:324-332. Pokrovsky V.S., Davydov D.Zh., Anufrieva N.V., Zhdanov D.D., Revtovich S.V., Morozova E.A., Demidkina T.V., Treshchalina E.M. Impaired methionine metabolism in malignant cells is a potential target for antitumor therapy. *Clinical Oncohematology*. 2017;3:324-332. (In Russ).

- 13 Klein Geltink RI, Pearce EL. The importance of methionine metabolism. *Elife*. 2019 May 2;8:e47221. <https://doi.org/10.7554/eLife.47221>
- 14 Sanchez Matos J., Barberino A.T.M.S., de Araujo L.P., Lôbo I.P., de Almeida Neto J.A. Potentials and Limitations of the Bioconversion of Animal Manure Using Fly Larvae. *Waste Biomass Valorization*. 2020.
- 15 Li Q., Zheng L., Qiu N., Cai H., Tomberlin J.K., Yu Z. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. *Waste Manag.* 2011;31:1316-1320.
- 16 Flotats X., Foged H.L., Blasi A.B., Platsi J., Magri A., Schelde K.M. Manure processing technologies.: Technical Report No. II concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate-General Environment, 2011:138.
- 17 Cai J., Zhang L., Tang J., Pan D. Adoption of multiple sustainable manure treatment technologies by pig farmers in rural China: A case study of Poyang Lake region. *Sustainability*. 2019;11:6458. <https://doi.org/10.3390/su11226458>

Авторская справка**Талан Матвей Сергеевич**

Аспирант кафедры нормальной физиологии, Казанский государственный медицинский университет.

ORCID 0000-0001-5270-3769; matwei.talan@yandex.ru

Вклад автора: литературный поиск, участие в исследовании, написание и редактирование текста.

Докучаева Ирина Сергеевна

Канд. хим. наук, доцент кафедры «Оборудования пищевых производств», Казанский национальный исследовательский технологический университет.

ORCID 0000-0001-8715-3277; DokuchaevaIS@corp.knrtu.ru

Вклад автора: концепция и дизайн исследования.

Мухамедьяров Марат Александрович

Д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии, Казанский государственный медицинский университет.

ORCID 0000-0002-0397-9002; marat.muhamedyarov@kazangmu.ru

Вклад автора: написание и редактирование текста.

Author's reference**Matvey S. Talan**

Postgraduate student of the Department of Normal Physiology, Kazan State Medical University.

ORCID 0000-0001-5270-3769; matwei.talan@yandex.ru

Author's contribution: literature search, participation in the study, writing and editing the text.

Irina S. Dokuchaeva

Dr. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Department of Food Production Equipment, Kazan National Research Technological University.

ORCID 0000-0001-8715-3277; DokuchaevaIS@corp.knrtu.ru

Author's contribution: concept and design of the study.

Marat A. Mukhamed'yarov

Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Normal Physiology, Kazan State Medical University.

ORCID 0000-0002-0397-9002; marat.muhamedyarov@kazangmu.ru

Author's contribution: writing and editing the text.