

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1290

EDN: LPRHKN

УДК 36.4:636.087.69



Научная статья

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЛЕАЛЬНОЙ ПЕРЕВАРИМОСТИ МУКИ ИЗ ЛИЧИНКИ *HERMETIA ILLUCENS*, РЫБНОЙ МУКИ И СТАНДАРТНОГО НИЗКОПРОТЕИНОВОГО РАЦИОНА

*К.С. Остренко, Р.В. Некрасов, Н.В. Боголюбова, И.В. Кутьин,
А.И. Бутенко, К.С. Кольцов, Ю.А. Волченков*

Аннотация

Обоснование. Интенсивному развитию животноводства требуются в достаточном количестве эффективные, сбалансированные корма. Идеальным белковым компонентом корма является рыбная мука, но себестоимость качественной рыбной муки и объемы производства ее недостаточны. Наиболее перспективным для покрытия дефицита белка и создания устойчивости системы обеспечения кормами является массовое производство инсектопротеина на основе личинки *Hermetia illucens*.

Цель исследования – изучить показатели кажущейся и истинной илеальной переваримости, усвояемости личинки *чёрной львинки* (лат. *Hermetia illucens*) в сравнительном аспекте с рыбной мукой на поросятах в период дорастивания.

Материалы и методы. Из массива помесных борзых (♂ дюрк x ♀ ландрас) в период дорастивания отобрали 10 особей живой массой 27-35 кг в возрасте 97-105 дней. Для проведения физиологического опыта было сформировано три группы поросят по три головы в каждой, по принципу пар-аналогов. Животным контрольной группы скармливали комбикорм с низким содержанием протеина, 1-й опытной группе задавали аналогичный комбикорм с добавлением 3% муки из личинки *чёрной львинки* (лат. *Hermetia illucens*), во 2-й опытной группе поросята получали стандартный низкопротеиновый комбикорм с добавлением 3% рыбной муки. В рамках физиологического опыта проводили оценку переваримости и усвояемости опытных рационов на оперированных поросятах (имплантации T-образной канюли в подвздошный отдел кишечника).

Результаты. При установлении параметров кажущейся илеальной переваримости (КИП) были получены данные, что переваримость сырого протеина в

контрольной группе находилась в пределах 74,8%, а незаменимых аминокислот от 71,6 до 89,3%, соответственно. При вводе муки из личинки чёрной львинки (*Hermetia illucens*) переваримость сырого протеина повысилась до 78,1%, что превышает показатели по стандартному рациону на 4,7%, также наблюдалось повышение переваримости большинства аминокислот: аспартата – 93,3%; глутамин – 87,8; гистидина – 92,1; серин – 87,4; аргинина – 93,4; глицина – 90,5; треонина – 89,1; аланина – 92,6; пролина – 90,1; лейцин + изолейцин – 92,4; фенилаланина – 88,5; лизина – 93,4; триптофана – 90,2. Данные показатели превышают аналогичные показатели переваримости в контрольной группе и при использовании рыбной муки. Истинная илеальная переваримости сырого протеина в рыбной муке составляла 89,0%, а аминокислот – лизина, треонина, лейцина, гистидина и других незаменимых аминокислот находилась на высоком уровне для высокопротеиновых добавок и составляла от 81,6 до 90,7%.

Заключение. Исследования по изучению основных показателей переваримости нового алиментарного фактора как мука из личинки черной львинки показали высокое содержание протеина и доступность аминокислот. Структура белка соответствует животному протеину, что позволяет рассматривать *Hermetia illucens* в качестве потенциального источника полноценного фактора питания свиней.

Ключевые слова: свиньи; чёрная львинка; илеальная переваримость; рыбная мука; аминокислоты

Для цитирования. Остренко, К. С., Некрасов, Р. В., Боголюбова, Н. В., Кутыин, И. В., Бутенко, А. И., Кольцов, К. С., & Волченков, Ю. А. (2025). Определение илеальной переваримости муки из личинки *Hermetia illucens*, рыбной муки и стандартного низкопротеинового рациона. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 28-57. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1290>

Original article

DETERMINATION OF ILEAL DIGESTIBILITY OF *HERMETIA ILLUCENS* LARVAE MEAL, FISH MEAL AND STANDARD LOW-PROTEIN RATION

K.S. Ostrenko, R.V. Nekrasov, N.V. Bogolyubova, I.V. Kutysin, A.I. Butenko, K.S. Koltsov, Y.A. Volchenkov

Abstract

Background. Intensive development of livestock requires sufficient quantities of efficient, balanced feed. The ideal protein component of fodder is fish meal, but

the cost of quality fish meal and its production volumes are insufficient. Mass production of insectoprotein based on *Hermetia illucens* larvae is the most promising for covering the protein deficit and creating sustainability of the feed supply system.

Purpose. The aim of the study was to investigate the indices of apparent and true ileal digestibility and digestibility of the black lion grub (lat. *Hermetia illucens*) in comparative aspect with fish meal on piglets during the period of growing up.

Materials and methods. From an array of crossbred hogs (♂ Duroc x ♀ Landrace) 10 live weight 27-35 kg at the age of 97-105 days were selected during the growing-up period. For the physiological experiment three groups of piglets were formed with three heads in each group, according to the principle of pair-analogs. The animals of the control group were fed with low protein feed, the 1st experimental group was fed with similar feed with addition of 3% meal from black soldier fly (*Hermetia illucens*), in the 2nd experimental group piglets received standard low protein feed with addition of 3% fish meal. As part of the physiological experiment, the digestibility and digestibility of experimental diets were evaluated on operated piglets (implantation of a T-shaped cannula into the ileum).

Results. In establishing the parameters of apparent ileal digestibility (AID), data were obtained that the digestibility of crude protein in the control group was within 74.8% and of essential amino acids from 71.6 to 89.3%, respectively. When meal from black soldier fly (*Hermetia illucens*) was introduced, the digestibility of crude protein increased to 78.1%, which is 4.7% higher than in the standard diet, and there was also an increase in the digestibility of most amino acids: aspartate - 93.3%; glutamine - 87.8; histidine - 92.1; serine - 87.4; arginine - 93.4; glycine - 90.5; threonine - 89.1; alanine - 92.6; proline - 90.1; leucine + isoleucine - 92.4; phenylalanine - 88.5; lysine - 93.4; tryptophan - 90.2. These values are higher than similar digestibility values in the control group and when fish meal was used. True ileal digestibility of crude protein in fish meal was 89.0%, and amino acids - lysine, threonine, leucine, histidine and other essential amino acids were at a high level for high-protein supplements and ranged from 81.6 to 90.7%.

Conclusion. Thus, studies on the main indices of digestibility of a new alimentary factor as flour from meal from black soldier fly showed high protein content and availability of amino acids. The structure of protein corresponds to animal protein, which allows us to consider *Hermetia illucens* as a potential source of a complete nutritional factor for pigs.

Keywords: pigs; black soldier fly; ileal digestibility; fish meal; amino acids

For citation. Ostrenko, K. S., Nekrasov, R. V., Bogolyubova, N. V., Kutynin, I. V., Butenko, A. I., Koltsov, K. S., & Volchenkov, Y. A. (2025). Determination of ileal digestibility of *Hermetia illucens* larvae meal, fish meal and standard low-protein ration. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 28-57. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1290>

Введение

Сбалансированное кормление животных и птиц является одним из ключевых факторов интенсивной и высокорентабельной технологии получения продукции в сельском хозяйстве [5]. Баланс кормов в первую очередь должен осуществляться по протеино-жировому соотношению, и также включает в себя уровень различной (растворимой и нерастворимой) клетчатки, различных нутриенты (макро- и микроэлементы, витамины). Одним из алиментарных факторов позволяющих нормировать аминокислотный состав в рационе является белок животного происхождения [7]. Идеальным белковым компонентом корма является рыбная мука, но себестоимость качественной рыбной муки и объемы недостаточны, чтоб обеспечить такую все отрасли, в том числе свиноводства, тем более требуются особые условия хранения данного продукта. Белковые продукты растительного происхождения из-за своего особенного аминокислотного состава и ферментативного аппарата моногастричных животных не могут в полной мере обеспечивать интенсивный обмен веществ и является полноценными кормовыми факторами [12]. Одновременно с этим наблюдается нарастающий дефицит белковых кормовых ресурсов, который в Российской Федерации уже превышает 2 млн тонн в год, а в глобальном масштабе достигает более 30 млн тонн ежегодно. Частичное решение данной проблемы обеспечивается посредством производства кормовых дрожжей, выращиваемых на основе растительного сырья и спиртовой барды, а также путем вовлечения в кормовые рационы отрубей и иных побочных продуктов перерабатывающей промышленности и аграрного сектора [13]. С учетом сложившейся ситуации использование традиционных кормов не позволяет заложить основу для интенсивного роста животных и создать кормовую базу обеспечивающую продовольственную безопасность страны и высокую конкурентоспособность. Одним из перспективных нетрадиционных кормовых факторов покрытия недостатка протеина является массовое производство инсектопротеина, особенно из личинки чёрной львинки (*лат. Hermetia illucens*) как доступного кормового сырья. Изучение пищевой ценности биомассы личинок продемонстрировало высокое содержание белка и жира - 39 и 38%, соответственно, тогда как на долю золы, пищевых волокон и углеводов приходилось менее 20% [14].

Ключевым фактором в балансе протеина является оптимальное соотношение легкоусвояемого протеина и обменной энергией [16]. Помимо высокой доли общего протеина в рационе необходимо такое соотношение

аминокислот в этом белке, которое позволит использовать данные структурные компоненты для интенсивного роста и развития с минимальными потерями обменной энергией. Данное соотношение необходимо поддерживать в оптимуме, иначе может превзойти обратное отклонение – избыток энергии и отсутствие необходимых аминокислот. Избыток энергии превращается в жировую массу, что сразу негативно влияет на категориальности туши. Поэтому подбор белкового компонента в рационе играет одну из главенствующих ролей при откорме свиней.

Применение муки из личинки *чёрной львинки* (лат. *Hermetia illucens*), с высоким процентным содержанием незаменимых аминокислот, позволять регулировать основной рацион по общему белку и аминокислотному составу [18; 19]. При применении технологии «пусто-занято» в кормлении свиней нетрадиционные высокопротеиновые кормовые добавки занимают ведущие роли [7; 15].

Для определения эффективности применения новых кормовых продуктов используется особый тип физиологического исследования – исследование на животных с наложением фистул [2; 3].

Исследования показывают, что для оценки усвоения белка и всасывания аминокислот более точны илеальные показатели переваримости, а не фекальные [8]. Величины илеальной переваримости различаются не только между разными кормами, но и у одного и того же корма, что может быть связано с особенностями его подготовки и переработки [10; 11].

Термин «илеальный метод» обусловлен исследованиями физиологии питания моногастрических животных, которые показали, что переваривание кормового белка и эффективное всасывание аминокислот завершаются в дистальном отделе подвздошной кишки, непосредственно перед её переходом в слепую кишку [1]. В связи с этим наиболее объективным подходом к оценке доступности аминокислот является анализ их содержания в подвздошной кишке (СПК) на расстоянии 7–15 см от илеоцекального сфинктера. Этот метод позволяет исключить возможные искажения, обусловленные метаболической активностью микрофлоры толстого кишечника, которые могут влиять на результаты, полученные при традиционной оценке показателей переваримости при фекальном методе [1; 8].

Цель исследования – изучить показатели кажущейся и истинной илеальной переваримости, усвояемости личинки *чёрной львинки* (лат. *Hermetia illucens*) в сравнительном аспекте с рыбной мукой на поросся-

тах в период дорастивания при имплантации т-образной канюли в подвздошную кишку.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии ВНИИФБиП - филиала ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени ак. Л.К. Эрнста». поголовье – 10 голов помесных боровков (F-1(♂ дюрюк x ♀ ландрас) в период откорма с начальной живой массой 27-35 кг в возрасте 97-105 дней, приобретенных в ООО «ЭКО ФЕРМА «Климовская»» Калужская обл., Боровский район, дер. Климовское. Для проведения физиологического опыта было сформировано три группы поросят по три головы в каждой, по принципу пар-аналогов.

Разработан общий план опыта, схема которого представлена в табл. 1.

Таблица 1.

Схема проведения физиологических исследований

Группа	Голов в группе	Характеристика кормления
Предварительный период 7 дней		
контрольная	3	Низкопротеиновый комбикорм (СР)
1-опытная	3	СР + 3% муки из личинки чёрной львинки (<i>lat. Hermetia illucens</i>)
2-опытная	3	СР + 3% рыбной муки.
Учетный период балансового опыта – 3 дней		
контрольная	3	Низкопротеиновый комбикорм (СР)
1-опытная	3	СР + 3% муки из личинки чёрной львинки (<i>lat. Hermetia illucens</i>)
2-опытная	3	СР+ 3% рыбной муки.

В контрольной группе использовали низкопротеиновый рацион.

Животным контрольной группы скармливали комбикорм с низким содержанием протеина, 1-й опытной группе задавали аналогичный комбикорм с добавлением 3% муки из личинки чёрной львинки (лат. *Hermetia illucens*), в 2-й опытной группе поросята получали стандартный низкопротеиновый комбикорм с добавлением 3% рыбной муки.

Состав и питательность опытных партий комбикормов оценены, и результаты представлены в табл. 2.

Основной рацион и условия содержания всех групп животных (температурный, влажностный световой режимы и газовый состав воздуха в помещении) были одинаковы и в пределах зоогигиенических норм.

Таблица 2.

Состав и питательность опытных партий комбикормов

Компонент, %	Рецепт комбикорма		
	№1	№2	№3
Пшеница	25,000	25,000	25,000
Отруби пшеничные	20,860	20,860	20,860
Ячмень	20,000	20,000	20,000
Кукуруза	13,000	13,000	13,000
Жмых подсолнечный	15,000	15,000	15,000
Дрожжи кормовые	3,000	3,000	3,000
Соль поваренная	0,420	0,420	0,420
Монокальцийфосфат	0,220	0,220	0,220
Известняковая мука	1,300	1,300	1,300
Премикс КС-4	1,000	1,000	1,000
Монохлоргидрат лизина	0,200	0,200	0,200
Оксид хрома(III), Cr ₂ O ₃	+	+	+
Мука из личинки чёрной львинки (<i>lat. Hermetia illucens</i>)	-	+	-
Рыбная мука	-	-	+
ИТОГО	100,0	100,0	100,0
В 1 кг содержится:			
сырого протеина, г	163,5	181,4	181,9

Дополнительно включено: +3% от рациона муки из личинки Чёрной львинки (*lat. Hermetia illucens*), +3 % от рациона рыбной муки.

В условиях лаборатории института были проведены хирургические манипуляции по имплантации Т-образной канюли в подвздошную кишку поросятах (ландрас × дюрок) в количестве 9 голов в возрасте 4,0 месяцев. Т-образные канюли были изготовлены на 3D принтер Picaso Designer XL S2 с использованием пластика для медицинского применения TPU Total Pro CF-5 черный. Т – образная канюля представлена на рис. 1.

Для обеспечения положительного исхода при хирургическом вмешательстве нарушения целостности подвздошной кишки по имплантации Т-образной канюли [1], поросят выдерживали на голодной диете с последующим введением смеси золетил 100 – 6,6 мг//кг + ксилазин 2%-ый – 1,8 мг/кг внутримышечно.

Для оценки усвояемости аминокислот в тонком кишечнике проводили физиологические опыты на оперированных поросятах. В течение семи суток животных кормили опытными комбикормами без сбора содержимого илеума, а затем в течение трех суток осуществляли его сбор. Корма слегка

увлажняли, фиксировали их потребление. Животных кормили дважды в сутки, а воду предоставляли в объеме 3 литров на голову в сутки.



Рис. 1. Т-образная канюля для имплантации в подвздошный отдел кишечника

Процесс имплантации Т-образной канюли представлены на рисунках 2.

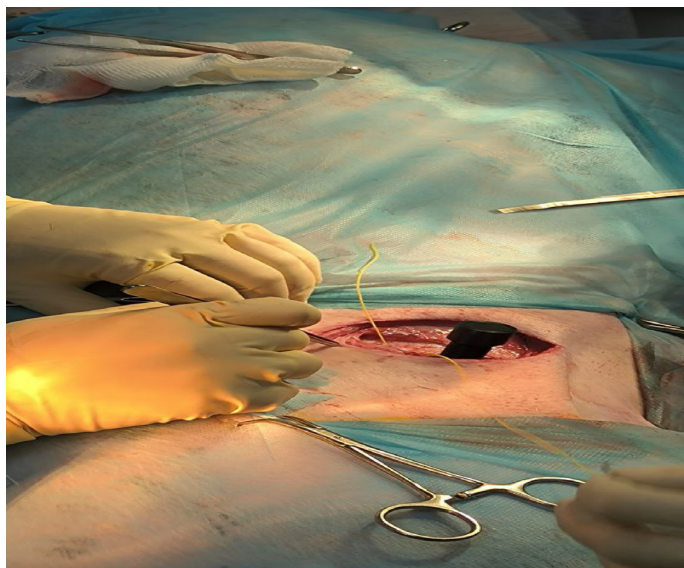


Рис. 2. Имплантация Т-образной канюли в подвздошный отдел тонкого кишечника свиньи

Илеальное содержимое отбирали в резиновые контейнеры, прикрепленные к фистуле. Содержимое илеума хранили в морозильной камере при $-15 - 20^{\circ}\text{C}$. В последующем образцы объединяли, гомогенизировали и отбирали для исследования аликвоты содержимого. В связи с тем, что переваримость сырого протеина изучалась илеальным традиционным методами (с применением инертного маркера – 0,5% (Оксид хрома (III), Cr_2O_3), входящего в состав всех опытных рационов), в учётный период проводили отбор пятипроцентных аликвот содержимого подвздошной кишки (СПК) и кала [9]. Свиньи с установленной канюлей и резиновыми мешочками для отбора химуса представлены на рисунке 3 и 4.



Рис. 3. Прооперированное животное в балансовой клетке с установленной канюлей и резиновым мешочком для сбора химуса

Для определения переваримости (доступность к всасыванию) аминокислот производили количественный учёт содержимого нижнего участка подвздошной кишки и анализ аминокислотного состава белков содержимого, а расчёт показателей кажущейся фекальной (КФП) и илеальной переваримости (КИП) (доступность к всасыванию), (без учёта эндогенных потерь) проводили по формулам [9].



Рис. 4. Прооперированное животное в загоне в предбалансовый период

Кажущуюся фекальную (КФП) и илеальную переваримость (КИП) определяли путем вычитания из общего количества аминокислоты, попавшей в организм с кормом, того количества аминокислоты, которое было обнаружено в содержимом подвздошной кишки: по формуле:

$$\text{КФП} = [(АК - АПК)/АК] \times 100$$

и

$$\text{КИП} = [(АК - АПК)/АК] \times 100,$$

где КФП – кажущаяся переваримость аминокислоты в %; АК – количество аминокислоты в потреблённом корме; АПК – количество аминокислоты в кале или СПК,

с инертным метчиком:

$$X = 100 - [100 \times (A \times C) / (B \times D)],$$

где X – кажущаяся переваримость аминокислоты в %; A – концентрация инертного метчика в корме; B – концентрация инертного метчика в СПК или кале; C – концентрация исследуемой аминокислоты в СПК или кале; D – концентрация исследуемой аминокислоты в корме.

Истинная илеальная переваримость (ИИП) показывает, какая часть аминокислот корма усвоилась в желудочно-кишечном тракте, при этом учитываются и эндогенные потери аминокислот. Расчёт истинной илеальной переваримости (доступности) осуществляли по формуле:

$$\text{ИИП} = АК - (АПК - АОБ)/АК \times 100,$$

где ИИП – истинная илеальная переваримость аминокислоты в %; АК – количество аминокислоты в потреблённом корме; АПК – количество аминокислоты в СПК; АОБ – количество эндогенной (обменной) аминокислоты, выделенной в СПК на низкобелковом рационе [9].

В кормах, химусе и кале определяли содержание сухого вещества, сырого протеина по азоту – по Къельдалю на приборе Къельтек (Velp, Италия), общие аминокислоты – методом капиллярного электрофореза на приборе Капель 105 М (Люмикс, Россия), в соответствии с методикой для определения свободных аминокислот в кормах.

По завершении периода скармливания проведен балансовый опыт по изучению переваримости (доступность к всасыванию) питательных веществ комбикорма, использования азота, фосфора и протеина по общепринятой методике.

Для определения влияния вариантов испытываемой кормовой добавки на поедаемость кормов проводился ежедневный индивидуальный учет задаваемых кормов и их остатков на протяжении всего учетного периода. После окончания опыта средние пробы кормов, кала и мочи были подвергнуты химическому анализу в лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии ВНИИФБиП по общепринятым методикам.

Высушиванием образцов при температуре 60–70°C до постоянной массы определяли первоначальную влагу, высушиванием при температуре 100–105°C – гигроскопическую.

В пробах образцов в воздушно-сухом состоянии определяли содержание:

- сырой золы – сжиганием навески в муфельной печи при температуре 600-700°C;
- общего азота – методом Къельдаля;
- содержание сырого протеина – путем умножения процентного содержания азота на коэффициент 6,25;

Полученные экспериментальные данные обрабатывали биометрически с использованием одно- и двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в программе STATISTICA 13 («StatSoft, Inc.», США). Вычисляли среднеарифметические значения (M), ошибку средней (m), среднеквадратическую ошибку (\pm SEM) и уровень значимости (p).

Результаты исследования

Прием корма стимулирует работу пищеварительных желез через нервные, гормональные, химические и механические механизмы. В процессе переваривания в желудочно-кишечный тракт выделяются раз-

личные азотсодержащие соединения, включая аминокислоты, пептиды и белки.

Исследование *in vitro* показали, что содержание сырого протеина в муке из личинки чёрной львинки находилось на уровне 58,6%. В рыбной муке данный показатель находился на уровне 60,3%. Данные по аминокислотному составу проценту сырого протеина представлены в таблице 3. Содержание общих незаменимых аминокислот в муке из личинки чёрной львинки (*лат. Hermetia illucens*) и рыбной муке, колеблется в пределах: лизина – 1,3–4,8, треонина – 1,05–2,4, метионина – 0,53–2,0, лейцина – 0,34–6,6, валина – 1,50–2,9, гистидина – 1,1–9,7, фенилаланина – 0,75–2,3 и аргинина – 2,3–3,3%.

Таблица 3.

**Массовая доля сырого протеина и общих аминокислот
в белковых продуктах (%)**

Показатели	Мука из личинки чёрной львинки (<i>лат. Hermetia illucens</i>)	Рыбная мука
Сырой протеин	58,6	60,3
Аспарагиновая кислота	3,54	4,7
Глутаминовая кислота + глутамин	5,28	8,2
Гистидин	9,70	1,1
Серин	0,66	2,9
Аргинин	2,33	3,3
Глицин	1,22	5,2
Треонин	1,05	2,4
Аланин	1,45	3,8
Тирозин	1,12	1,8
Валин	1,50	2,9
Пролин	1,29	3,3
Лейцин + Изолейцин	0,34	6,6
Фенилаланин	0,75	2,3
Лизин	1,30	4,8
Метионин	0,53	2,0
Цистин + Цистеин	0,43	0,6
Триптофан	4,23	0,6

При определении кажущейся илеальной переваримости (КИП) было установлено, что переваримость сырого протеина низкопротеиновом рационе в контрольной группе составляла 74,8%, а переваримость аминокислот варьировала от 71,6% до 89,3% (табл. 4).

При вводе муки из личинки чёрной львинки (*Hermetia illucens*) переваримость сырого протеина повысилась до 78,1%, что превышает показатели по стандартному рациону на 4,7%, также наблюдалось повышение переваримости большинства аминокислот от 87,8 до 94,1%. В тонком кишечнике всасывание лизина, треонина, метионина+цистина, лейцина, валина и гистидина было значительно выше при использовании муки из личинок чёрной львинки по сравнению рационом в контрольной группе.

Добавление в рацион рыбной муки также способствовало повышению доступности и всасывания аминокислот. При этом показатели кажущейся илеальной переваримости (КИП) сырого протеина достигали 89,0 %, а аминокислот — 81,6 – 90,7 % по сравнению с соответствующими показателями в контрольной группе.

Таблица 4.

Показатели кажущейся илеальной переваримости (КИП) сырого протеина и аминокислот в кормах, г/кг корма и % (M±m, n=3)

Аминокислоты	контрольная группа			1 опытная группа			2 опытная группа		
	г/кг	%	КИП**	г/кг	%	КИП**	г/кг	%	КИП**
Сырой протеин	163,08	74,8	122,2±13,1	181,4	90,1	163,4±18,7**	181,9	89,0	161,9±19,4*
Аспарагиновая кислота	4,6	71,6	3,3±0,5	5,7	93,3	5,3±0,4*	6,0	85,2	5,1±0,6*
Глутаминовая кислота + Глутамин	3,7	76,7	2,8±0,7	5,3	87,8	4,7±0,7*	6,2	82,2	5,1±0,5*
Гистидин	11,6	75,2	8,7±0,9	14,5	92,1	13,4±0,7*	11,9	86,7	10,3±0,9
Серин	2,1	73,1	1,5±0,1	2,3	87,4	2,0±0,2	3,0	81,6	2,4±0,2*
Аргинин	23,1	79,2	18,3±1,4	23,8	93,4	22,2±2,1*	24,1	88,1	21,2±2,5*
Глицин	4,2	80,5	3,4±0,3	4,6	90,5	4,2±0,7	5,8	87	5,0±0,5*
Треонин	5,1	77,5	4,0±0,6	5,4	89,1	4,8±0,5	5,8	85,4	5,0±0,5
Аланин	2,6	78,5	2,0±0,1	3,0	92,6	2,8±0,1*	3,7	87,4	3,2±0,5*
Тирозин	1,4	80,1	1,1±0,5	1,7	87,2	1,5±0,3	1,9	88,5	1,7±0,6
Валин	8,0	80,6	6,4±0,4	8,5	92,1	7,8±0,6	8,9	90,0	8,0±0,8
Пролин	5,4	79,2	4,3±0,3	5,8	90,1	5,2±0,4	6,4	88,4	5,7±1,0
Лейцин + Изолейцин	14,1	84,1	11,9±0,2	14,2	92,4	13,1±0,8	16,1	90,2	14,5±0,6
Фенилаланин	13,9	76,8	10,7±0,2	14,1	88,5	12,5±0,4*	14,6	88,1	12,9±0,6*
Лизин	8,7	84,2	7,3±0,9	9,1	93,4	8,5±0,4	10,2	90,7	9,3±0,8
Метионин	2,7	89,3	2,4±0,1	2,9	94,1	2,7±0,1	3,3	89,4	3,0±0,1*
Цистин + Цистеин	3,3	85,7	2,8±0,1	3,4	92,3	3,1±0,2	3,5	89,2	3,1±0,1
Триптофан	23,4	83,1	19,4±1,9	24,7	90,2	22,3±1,6	23,6	86,4	20,4±0,9

Различия достоверны: * - $p < 0,05$ соответственно, по сравнению с контролем, **содержание доступных аминокислот, г/кг корма

По результатам исследования были получены данные определяющие содержание экзогенных аминокислот в подвздошном отделе тонкого кишечника, что позволило нам определить показатели истинной илиальной переваримости исследуемых алиментарных факторов. Данные представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Показатели истинной илеальной переваримости (ИИП) сырого протеина и аминокислот в рационах на основе муки черной львинки и рыбной муки г/кг корма и % (M±m, n=3)

Аминокислоты	1 опытная группа			2 опытная группа		
	г/кг	%	ИИП*	г/кг	%	ИИП*
Сырой протеин	586	90,3	529,2±27,3	603	89	536,7±56,1
Аспарагиновая кислота	35,4	93,3	33,0±4,2	47	85,2	40,0±6,2
Глутаминовая кислота + Глутамин	52,8	87,8	46,4±8,4	82	82,2	67,4±12,1
Гистидин	9,7	92,1	8,9±2,3	11	86,7	9,5±1,9
Серин	6,6	87,4	5,8±0,8	9,2	81,6	7,5±1,6
Аргинин	23,3	93,7	21,8±6,4	33,1	88,1	29,2±7,3
Глицин	12,2	90,5	11,0±1,6	52,1	87,0	45,3±6,2
Треонин	10,5	90,8	9,5±3,4	24,1	85,4	20,6±1,5
Аланин	14,5	92,6	13,4±3,1	38,3	87,4	33,5±3,6
Тирозин	11,2	87,2	9,8±2,6	18	88,5	15,9±3,1
Валин	15	87,9	13,2±3,5	29,6	90	26,6±6,2
Пролин	12,9	90,1	11,6±2,9	33	88,4	29,2±3,9
Лейцин + Изолеицин	3,4	95,1	3,2±0,7	66,1	90,2	59,6±9,3
Фенилаланин	7,5	89,0	6,7±0,5	23,2	88,1	20,4±0,9
Лизин	13	92,7	12,1±0,7	48,7	90,7	44,2±8,7
Метионин	5,3	89,0	4,7±0,7	20,1	89,4	18,0±2,4
Цистин + Цистеин	4,3	83,7	3,6±0,5	6,4	89,2	5,7±0,6
Триптофан	42,3	90,2	38,2±3,5	6,2	86,4	5,4±0,9

*содержание доступных аминокислот, г /кг корма

Истинная илеальная доступность белка и аминокислот муки из личинки чёрной львинки составила (%): для сырого протеина – 90,3; аспаргата – 93,3%; глутамин – 87,8; гистидина – 92,1; серин – 87,4; аргинина – 93,7; глицина – 90,5; треонина – 90,8; аланина – 92,6; пролина – 90,1; лейцин + изолеицин – 95,1; фенилаланина – 89,0; лизина – 92,7; триптофан – 90,2. Данные показатели превышают аналогичные показатели переваримости

в контрольной группе и при использовании рыбной муки. Истинная или-альная переваримости сырого протеина в рыбной муке составляла 89,7%, а аминокислот – лизина, треонина, лейцина, гистидина и других незаменимых аминокислот находилась на высоком уровне для высокопротеиновых добавок и составляла от 80 до 91%.

Результаты исследования по определению косвенной (кажущейся) фекальной переваримости (КФП) муки из личинки *чёрной львинки* и рыбной муки показал, обе высокопротеиновые добавки содержат основную пул незаменимых аминокислот, принимающих непосредственное участие в метаболизме растущих свиней, но также было зафиксирован отличительный состав по аминокислотному составу. Данные представлены в таблице 6. Кажущаяся переваримость в опытной и контрольной группе существенно отличалась. В опытных группах, переваримость была выше, но наибольшая переваримость была в группе где применялась кормовая добавка в виде муки из черной львинки на 5,7% по сырому протеину и аналогично по всему пулу определяемых аминокислот. Аналогичная тенденция наблюдалась и в группе где применялась рыбная мука, но в переваримость по сырому протеину была выше в 1 опытной группе на 1,2% относительно второй опытной группы. Представленные данные позволяют комплексно оценить высокую кормовую и энергетическую значимость муки из личинок черной львинки.

Таблица 6.

Кажущаяся фекальная переваримость сырого протеина и аминокислот в кормах, г/кг корма и %, (M±m, n=3)

Аминокислоты	контрольная группа			1 опытная группа			2 опытная группа		
	г/кг	%	КФП**	г/кг	%	КФП*	г/кг	%	КФП**
Сырой протеин	163,1	77,5	126,4±11,3	181,4	83,2	150,9±6,8	181,9	82,0	149,2±8,1*
Аспарагиновая кислота	4,6	75,2	3,5±0,5	5,7	85,7	4,9±0,3*	6,0	83,1	5,0±0,4*
Глутаминовая кислота + Глутамин	3,7	78,2	2,9±0,3	5,3	84,7	4,5±0,8	6,2	78,1	4,8±0,6*
Гистидин	11,6	79,2	9,2±0,8	14,5	83,2	12,1±0,5*	11,9	83,1	9,9±0,9
Серин	2,1	76,5	1,6±0,3	2,3	81,7	1,9±0,6	3,0	80,1	2,4±0,2
Аргинин	23,1	72,2	16,7±1,2	23,8	87,9	20,9±0,4*	24,1	85,5	20,6±1,3
Глицин	4,2	78,7	3,3±0,5	4,6	86,7	4,0±0,6	5,8	83,6	4,8±0,8*
Треонин	5,1	75,2	3,8±0,3	5,4	83,2	4,5±0,8	5,8	82,2	4,8±0,7

Аланин	2,6	71,6	1,9±0,2	3,0	84,6	2,5±0,5	3,7	84,0	3,1±0,4*
Тирозин	1,4	72,7	1,0±0,4	1,7	87	1,5±0,6	1,9	86,4	1,6±0,3
Валин	8,0	73,2	5,9±0,3	8,5	88,2	7,5±0,5*	8,9	86,3	7,7±0,9
Пролин	5,4	79,0	4,3±0,8	5,8	90,1	5,2±0,7	6,4	88,4	5,7±0,8
Лейцин + Изолейцин	14,1	74,1	10,4±0,4	14,2	92,4	13,1±0,6*	16,1	90,2	14,5±0,7*
Фенилаланин	13,9	76,8	10,7±0,6	14,1	88,5	12,5±1,2	14,6	88,1	12,9±1,2
Лизин	8,7	74,2	6,5±0,5	9,1	93,4	8,5±0,3*	10,2	90,7	9,3±1,0*
Метионин	2,7	79,3	2,1±0,3	2,9	94,1	2,7±0,6	3,3	89,4	3,0±0,6
Цистин + Цистеин	3,3	75,7	2,5±0,1	3,4	92,3	3,1±0,5	3,5	89,2	3,1±0,5
Триптофан	23,4	73,1	17,1±1,2	24,7	90,2	22,3±0,9*	23,6	86,4	20,4±0,7*

Различия достоверны: * - $p < 0,05$ соответственно, по сравнению с контролем, **содержание доступных аминокислот, г /кг корма, **Содержание в г/кг доступных аминокислот

В сравнительном аспекте илеальная переваримость позволяет с более высокой долей оценить истинную способность пищеварительной системы использовать протеиновый компонент корма из личинки чёрной львинки.

Обсуждение

Интенсивное использование *Hermetia illucens* обусловлено высоким содержанием белка и доказанной кормовой ценностью его протеина [21–24]. Однако в научной литературе вопросы комплексной оценки биологической ценности белка насекомых освещены недостаточно. В то же время для формирования доказательной базы и обоснования возможности использования этого источника в качестве нового кормового компонента класса *Insecta* необходима полная и объективная информация о качестве белка, а также данные о его безопасности.

Преобладание протеина в личинках насекомых, в особенности у личинки черной львинки, позволяет отнести данный кормовой ингредиент, по соевей биологической и питательной ценностью к продуктам животного происхождения, что позволяет их использовать как нетрадиционный корм в рационах многострочных животных [25–28].

Исследования в области новых кормовых продуктов позволяют выделить ключевые этапы оценки, среди которых, наряду с токсикологическими тестами, важное значение имеют определение биологической ценности и усвояемости протеина. Оценка биологической ценности белкового источника основана на комплексном использовании химического

и биологического методов. Биологический метод предполагает изучение азотистого баланса в растущем организме, тогда как химический метод включает расчет аминокислотного сора [13].

Биологический метод основан на измерении степени ретенции азота и оценке эффективности его утилизации для поддержания азотистого баланса в эксперименте. Традиционный дизайн исследования включает два ключевых аспекта. Во-первых, используется пищевой белок животного происхождения (например, белок куриного яйца или казеин) в качестве стандарта. Во-вторых, в рационах применяется сравнительно низкий уровень белка (не более 12% по калорийности), что позволяет наиболее однозначно выявить анаболические свойства исследуемого белка [10; 11].

Применение аминокислотного спектра методом, основанным на капиллярном электрофорезе, позволяет получить полный перечень аминокислот, формирующих данный белок, что дает представление о потенциальном метаболизме изучаемого корма в комплексе или конкретного ингредиента. Аминокислотный состав является качественным показателем характеризующий белок и его питательную, энергетическую ценность и основные параметры его биодоступности для того или иного организма [10].

Методика определения аминокислотного сора, и его интерпретация за последнее время претерпели целый ряд существенных изменений: широкое распространение получили рекомендованные экспертами FAO/WHO [12; 29-32] аминокислотный сор с поправкой на усвояемость белка (Protein digestibility corrected amino acid score, PDCAAS) и аминокислотный сор с поправкой на усвояемость незаменимых аминокислот (Digestible indispensable amino acid score, DIAAS). В отличие от PDCAAS, основанном на усвояемости сырого протеина в пищеварительном тракте, DIAAS более точный, поскольку базируется на истинной илеальной (от лат. *ileum* – подвздошная кишка) усвояемости каждой из незаменимых аминокислот, являющейся в высшей степени достоверным критерием их биодоступности [13; 34; 35].

При традиционном методе оценки переваримости питательных веществ особое значение имеет толстый кишечник, где микроорганизмы участвуют в расщеплении корма, повышая его усвоение [20; 33]. Кишечная микрофлора выполняет множество важных функций: защищает организм от патогенных микроорганизмов, регулирует активность пищеварительных ферментов на финальном этапе расщепления белков, а также синтезирует полезные соединения, включая короткоцепочечные жирные кислоты и витамины [16; 30].

Анализ результатов эксперимента (см. табл. 4-6) продемонстрировал высокую биологическую ценность белка насекомых в сравнительном аспекте. Отмечено повышение косвенной илеальной и фекальной переваримости кормов, в состав которых введена мука из личинки *H. Illucens* и рыбная мука на 15,6% ($p < 0,05$), 14,4% ($p < 0,05$) и 5,7 % ($p < 0,05$), 4,5 % ($p < 0,05$), соответственно.

Основные показатели переваримости у животных опытных групп превалярировали на соответствующими показатели свиней контрольной группы. Отмечено достоверное увеличение косвенной переваримости белка и аминокислот в опытных группах (табл. 4), высокая доля истинной илеальной переваримости в организме свиней при вводе в основной рацион муки из личинки черной львинки и рыбной муки (табл. 5), свидетельствует о сравнительно высокой биологической ценности белка насекомых.

На основании полученных данных проведена сравнительная оценка биологической ценности различных белковых источников и их влияния на усвоение аминокислот (табл. 4, 6) и установлено, что мука из личинки *H. illucens* характеризуется относительно высоким содержанием глутаминовой и аспарагиновой кислоты, аргинина, глицина, а также является источником основных лимитирующих аминокислот – лизина, метионина, цистеина.

Сравнительный анализ аминокислотного состава и показателей переваримости белка муки из личинок чёрной львинки и рыбной муки подтверждает высокую биологическую ценность белка насекомых.

Заключение

Проведенные исследования подтверждают высокую питательную ценность муки из личинок *Hermetia illucens* как перспективного источника кормового белка. Установлено, что данный продукт обладает высоким содержанием белка, сбалансированным аминокислотным составом и высокой биологической ценностью. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования муки из личинок чёрной львинки в качестве полноценной альтернативы традиционным источникам белка животного происхождения, таким как рыбная мука. Полученные результаты по определению аминокислотного состава белка, содержащегося в муке из черной львинки показывают высокую биологическую значимость и усвояемость, что непосредственно будет отражаться на показателях продуктивности. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию условий включения этого компонента в рационы сельскохозяйственных

животных и птицы, а также на оценку его влияния на продуктивность и метаболические процессы.

Заключение комитета по этике. «Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board).

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 24-16-00021.

Список литературы

1. Алиев, А. А. (1998). *Экспериментальная хирургия*. Москва: НИЦ Инженер. 445 с. ISBN: 5-7013-0021-8. EDN: <https://elibrary.ru/TUSMKP>
2. Головкин, Е. Н. (2009). Биодоступность аминокислот у свиней (обзор). *Проблемы питания продуктивных животных*, (2), 27–43. EDN: <https://elibrary.ru/KPOFQT>
3. Головкин, Е. Н., Омаров, М. О., & Рядчиков, В. Г. (1999). Переваримость аминокислот в кормлении свиней. В *Научные основы ведения животноводства и кормопроизводства* (с. 234–243). Краснодар: СКНИЖ.
4. Кирилов, М. П., Махаев, Е. А., Первов, Н. Г., Пузанова, В. В., & Аникин, А. С. (2008). *Методика расчёта обменной энергии в кормах на основе содержания сырых питательных веществ (для крупного рогатого скота, овец, свиней)*. Дубровицы.
5. Махаев, Е. А., Мысик, А. Т., & Стрекозов, Н. И. (2016). *Рекомендации по детализированному кормлению свиней мясного типа: справочное пособие*. Дубровицы. ISBN: 978-5-902483-42-7. EDN: <https://elibrary.ru/XGBOPZ>
6. Некрасов, Р. В., Головин, А. В., Махаев, Е. А., Аникин, А. С., Первов, Н. Г., Стрекозов, Н. И., Мысик, А. Т., Дуборезов, В. М., Чабаев, М. Г., Фомичев, Ю. П., & Гусев, И. В. (2018). *Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: монография*. Москва. ISBN: 978-5-906906-77-9. EDN: <https://elibrary.ru/XVLDML>
7. Некрасов, Р. В., Зеленченкова, А. А., Чабаев, М. Г., & Ушакова, Н. А. (2018). Меланиновая белково-энергетическая добавка из личинок *Hermetia illucens* в питании телят. *Сельскохозяйственная биология*, 53(2), 374–384. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.2.374rus>. EDN: <https://elibrary.ru/XOQUZF>

8. Ниязов, Н. С., & Пьянкова, Е. В. (2021). Истинная идеальная доступность аминокислот высокобелковых кормов у молодняка свиней. *Проблемы биологии продуктивных животных*, (2), 83–91. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.2.83-91>. EDN: <https://elibrary.ru/OMJNZX>
9. Ниязов, Н. С. (2021). Кажущаяся и истинная идеальная доступность аминокислот зерна злаковых кормов у растущих свиней. *Проблемы биологии продуктивных животных*, (1), 101–111. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.1.101-111>. EDN: <https://elibrary.ru/EFAURE>
10. Омаров, М. О. (2021). Особенности питательности и переваримости кормов, используемых в свиноводстве. *Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии*, 10(1), 181–185. <https://doi.org/10.48612/hkfl-kpzf-34ze>. EDN: <https://elibrary.ru/DOUUNH>
11. Раецкая, Ю. И., & Сухарева, В. Н. (1970). *Методика зоотехнического и биохимического анализа кормов, продуктов обмена и животноводческой продукции*. Дубровицы.
12. Садыкова, Э. О., Шумакова, А. А., Шестакова, С. И., & Тышко, Н. В. (2021). Пищевая и биологическая ценность биомассы личинок *Hermetia illucens*. *Вопросы питания*, 90(2), 73–82. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2>. EDN: <https://elibrary.ru/FIZIQH>
13. Степаненко, Е. С. (2019). Переваримость и использование питательных веществ коровами при введении различных кормовых добавок. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (1 (171)), 148–151.
14. Тышко, Н. В., Жминченко, В. М., Никитин, Н. С., Требух, М. Д., Шестакова, С. И., Пашорина, В. А., & Садыкова, Э. О. (2021). Комплексные исследования биологической ценности белка личинки *Hermetia illucens*. *Вопросы питания*, 90(5), 49–58. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-49-58>. EDN: <https://elibrary.ru/USDMIO>
15. Ушакова, Н. А., Бастраков, А. И., Карагодин, В. П., & Павлов, Д. С. (2018). Особенности биоконверсии органических отходов личинками мухи *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758). *Успехи современной биологии*, 138(2), 172–182. <https://doi.org/10.7868/S0042132418020060>. EDN: <https://elibrary.ru/XMRNTN>
16. Харитонов, Е. Л. (1998). Использование инертных индикаторов для изучения процессов пищеварения. В *Методы исследований питания сельскохозяйственных животных* (с. 47–52). Боровск: ВНИИФБиП. EDN: <https://elibrary.ru/UCSRHP>
17. Aepli, A. (2017). Industrializing the production of Black Soldier Fly larvae for animal feed. В *Proc. INSECTA Conference, September 2017, Germany, Berlin* (p. 94). Potsdam.

18. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed — a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120. <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0055>. EDN: <https://elibrary.ru/YJOWNB>
19. Caligiani, A., Marseglia, A., Leni, G., Baldassarre, S., Maistrello, L., Dosse-
na, A., & Sforza, S. (2018). Composition of black soldier fly prepupae and
systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and
chitin. *Food Research International*, 105, 812–820. [https://doi.org/10.1016/j.
foodres.2017.12.012](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.012). EDN: <https://elibrary.ru/YEFCGL>
20. Fan, M. Z., & Sauer, W. C. (2002). Determination of true ileal amino acid di-
gestibility and the endogenous amino acid outputs associated with barley sam-
ples for growing-finishing pigs by the regression analysis technique. *Journal of
Animal Science*, 80, 1593–1605. <https://doi.org/10.2527/2002.8061593x>
21. Delicato, C., Schouteten, 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. [https://doi.org/10.1016/j.
foodqual.2019.103755](https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103755). EDN: <https://elibrary.ru/MBUMNZ>
22. Diener, S., Solano, N. M. S., Gutiérrez, F. R., Zurbrügg, C., & Tockner, K.
(2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly
larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 357–363. [https://doi.org/10.1007/
s12649-011-9079-1](https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1). EDN: <https://elibrary.ru/GTUMME>
23. Gonzalez, C. M., Garzon, R., & Rosell, C. (2018). Insects as ingredients for
bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor*
flours. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018>
24. Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountouleki, E. (2015). Review on the use
of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and
Technology*, 203, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>. EDN:
<https://elibrary.ru/UUAGTT>
25. Jayanegara, A., Novandri, B., Yantina, N., & Ridla, M. (2017). Use of black sol-
dier fly larvae (*Hermetia illucens*) to substitute soybean meal in ruminant diet:
an in vitro rumen fermentation study. *Veterinary World*, 10(12), 1439–1446.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1439-1446>
26. Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Rehman, K., Li, W., Cai, M., Li, Q.,
Mazza, L., Zhang, J., Yu, Z., & Zheng, L. (2017). Dynamic changes of nutrient
composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*,
12(8), e0182601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>
27. Mlcek, J., Rop, O., Borkovcová, M., & Bednářová, M. (2014). A compre-
hensive 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>
28. Müller, A., Wolf, D., & Gutzeit, H. O. (2017). The black soldier fly, *Hermetia illucens* — a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72(9–10), 351–363. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0030>. EDN: <https://elibrary.ru/YHCLBI>
 29. Niu, Y., Zheng, D., Yao, B., Cai, Z., Zhao, Z., Wu, S., Cong, P., & Yang, D. (2017). A novel bioconversion for value-added products from food waste using *Musca domestica*. *Waste Management*, 61, 455–460. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.054>
 30. Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezzutto, D., Gai, F., Dabbou, S., Gasco, L., & Dalle Zotte, A. (2017). Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 16(1), 93–100. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1249968>
 31. Stamer, A. (2015). Insect proteins — a new source for animal feed. *EMBO Reports*, 16(6), 676–680. <https://doi.org/10.15252/embr.201540528>
 32. Stein, H. H., Seve, B., Fuller, M. F., Moughan, P. J., & De Lange, C. F. (2007). Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *Journal of Animal Science*, 85, 172–180.
 33. Tschirner, M., & Simon, A. (2015). Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 1–12. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0008>
 34. Ushakova, N. A., Brodskii, E. S., Kovalenko, A. A., Bastrakov, A. I., Kozlova, A. A., & Pavlov, D. S. (2016). Characteristics of lipid fractions of larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 468(1), 209–212. <https://doi.org/10.1134/S1607672916030145>. EDN: <https://elibrary.ru/WUHQLX>
 35. Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
 36. Veldkamp, T., & Bosch, G. (2015). Insects: a protein rich feed ingredient in pig and poultry diet. *Animal Frontiers*, 5(2), 45–50.

References

1. Aliev, A. A. (1998). *Experimental surgery*. Moscow: Research and Innovation Center “Inzher”. 445 p. ISBN: 5-7013-0021-8. EDN: <https://elibrary.ru/TUSMKP>

2. Golovko, E. N. (2009). Bioavailability of amino acids in pigs (review). *Problems of Farm Animal Nutrition*, (2), 27–43. EDN: <https://elibrary.ru/KPOFQT>
3. Golovko, E. N., Omarov, M. O., & Ryadchikov, V. G. (1999). Digestibility of amino acids in pig feeding. In *Scientific foundations of animal husbandry and feed production* (pp. 234–243). Krasnodar: North Caucasus Research Institute of Animal Husbandry.
4. Kirilov, M. P., Makhaev, E. A., Pervov, N. G., Puzanova, V. V., & Anikin, A. S. (2008). *Method for calculating metabolizable energy in feeds based on the content of crude nutrients (for cattle, sheep, and pigs)*. Dubrovitsy.
5. Makhaev, E. A., Mysik, A. T., & Strekozov, N. I. (2016). *Guidelines for detailed feeding of meat-type pigs: a reference manual*. Dubrovitsy. ISBN: 978-5-902483-42-7. EDN: <https://elibrary.ru/XGBOPZ>
6. Nekrasov, R. V., Golovin, A. V., Makhaev, E. A., Anikin, A. S., Pervov, N. G., Strekozov, N. I., Mysik, A. T., Duborezov, V. M., Chabaev, M. G., Fomichev, Yu. P., & Gusev, I. V. (2018). *Nutrient requirements of dairy cattle and pigs: a monograph*. Moscow. ISBN: 978-5-906906-77-9. EDN: <https://elibrary.ru/XVLDML>
7. Nekrasov, R. V., Zelenchenkova, A. A., Chabaev, M. G., & Ushakova, N. A. (2018). Melanine protein-energy supplement from *Hermetia illucens* larvae in calf nutrition. *Agricultural Biology*, 53(2), 374–384. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.2.374rus>. EDN: <https://elibrary.ru/XOQUZF>
8. Niyazov, N. S., & Pyankova, E. V. (2021). True ideal availability of amino acids from high-protein feeds in young pigs. *Problems of Productive Animal Biology*, (2), 83–91. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.2.83-91>. EDN: <https://elibrary.ru/OMJNZX>
9. Niyazov, N. S. (2021). Apparent and true ideal availability of amino acids from cereal grains in growing pigs. *Problems of Productive Animal Biology*, (1), 101–111. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.1.101-111>. EDN: <https://elibrary.ru/EFAURE>
10. Omarov, M. O. (2021). Features of nutrient value and digestibility of feeds used in pig farming. *Proceedings of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine*, 10(1), 181–185. <https://doi.org/10.48612/hkfl-kpzf-34ze>. EDN: <https://elibrary.ru/DOUUNH>
11. Raetskaya, Yu. I., & Sukhareva, V. N. (1970). *Methods of zootechnical and biochemical analysis of feeds, metabolic products, and animal products*. Dubrovitsy.
12. Sadykova, E. O., Shumakova, A. A., Shestakova, S. I., & Tyshko, N. V. (2021). Nutritional and biological value of *Hermetia illucens* larval biomass. *Nutrition Issues*, 90(2), 73–82. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2>. EDN: <https://elibrary.ru/FIZIQH>

13. Stepanenko, E. S. (2019). Digestibility and utilization of nutrients by cows with the introduction of various feed additives. *Bulletin of Altai State Agricultural University, (1 (171))*, 148–151.
14. Tyshko, N. V., Zhminchenko, V. M., Nikitin, N. S., Trebukh, M. D., Shestakova, S. I., Pashorina, V. A., & Sadykova, E. O. (2021). Comprehensive studies of the biological value of *Hermetia illucens* larval protein. *Nutrition Issues, 90(5)*, 49–58. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-49-58>. EDN: <https://elibrary.ru/USDMMIO>
15. Ushakova, N. A., Bastrakov, A. I., Karagodin, V. P., & Pavlov, D. S. (2018). Features of bioconversion of organic waste by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758) larvae. *Advances in Modern Biology, 138(2)*, 172–182. <https://doi.org/10.7868/S0042132418020060>. EDN: <https://elibrary.ru/XMRNTN>
16. Kharitonov, E. L. (1998). Use of inert indicators to study digestion processes. In *Methods of research in farm animal nutrition* (pp. 47–52). Borovsk: All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Farm Animals. EDN: <https://elibrary.ru/UCSRHP>
17. Aepli, A. (2017). Industrializing the production of Black Soldier Fly larvae for animal feed. B *Proc. INSECTA Conference, September 2017, Germany, Berlin* (p. 94). Potsdam.
18. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed — a review. *Journal of Insects as Food and Feed, 3(2)*, 105–120. <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0055>. EDN: <https://elibrary.ru/YJOWNB>
19. Caligiani, A., Marseglia, A., Leni, G., Baldassarre, S., Maistrello, L., Dosse-
na, A., & Sforza, S. (2018). Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food Research International, 105*, 812–820. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.012>. EDN: <https://elibrary.ru/YEFCGL>
20. Fan, M. Z., & Sauer, W. C. (2002). Determination of true ileal amino acid digestibility and the endogenous amino acid outputs associated with barley samples for growing-finishing pigs by the regression analysis technique. *Journal of Animal Science, 80*, 1593–1605. <https://doi.org/10.2527/2002.8061593x>
21. Delicato, C., Schouteten, 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*. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103755>. EDN: <https://elibrary.ru/MBUMNZ>
22. Diener, S., Solano, N. M. S., Gutiérrez, F. R., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly

- larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>. EDN: <https://elibrary.ru/GTUMME>
23. Gonzalez, C. M., Garzon, R., & Rosell, C. (2018). Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018>
24. Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountouleki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>. EDN: <https://elibrary.ru/UUAGTT>
25. Jayanegara, A., Novandri, B., Yantina, N., & Ridla, M. (2017). Use of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) to substitute soybean meal in ruminant diet: an in vitro rumen fermentation study. *Veterinary World*, 10(12), 1439–1446. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1439-1446>
26. Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Rehman, K., Li, W., Cai, M., Li, Q., Mazza, L., Zhang, J., Yu, Z., & Zheng, L. (2017). Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*, 12(8), e0182601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>
27. Mlcek, J., Rop, O., Borkovcová, M., & Bednářová, 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>
28. Müller, A., Wolf, D., & Gutzeit, H. O. (2017). The black soldier fly, *Hermetia illucens* — a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72(9–10), 351–363. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0030>. EDN: <https://elibrary.ru/YHCLBI>
29. Niu, Y., Zheng, D., Yao, B., Cai, Z., Zhao, Z., Wu, S., Cong, P., & Yang, D. (2017). A novel bioconversion for value-added products from food waste using *Musca domestica*. *Waste Management*, 61, 455–460. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.054>
30. Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezzutto, D., Gai, F., Dabbou, S., Gasco, L., & Dalle Zotte, A. (2017). Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 16(1), 93–100. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1249968>
31. Stamer, A. (2015). Insect proteins — a new source for animal feed. *EMBO Reports*, 16(6), 676–680. <https://doi.org/10.15252/embr.201540528>

32. Stein, H. H., Seve, B., Fuller, M. F., Moughan, P. J., & De Lange, C. F. (2007). Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *Journal of Animal Science*, 85, 172–180.
33. Tschirner, M., & Simon, A. (2015). Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 1–12. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0008>
34. Ushakova, N. A., Brodskii, E. S., Kovalenko, A. A., Bastrakov, A. I., Kozlova, A. A., & Pavlov, D. S. (2016). Characteristics of lipid fractions of larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 468(1), 209–212. <https://doi.org/10.1134/S1607672916030145>. EDN: <https://elibrary.ru/WUHQLX>
35. Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
36. Veldkamp, T., & Bosch, G. (2015). Insects: a protein rich feed ingredient in pig and poultry diet. *Animal Frontiers*, 5(2), 45–50.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Остренко Константин Сергеевич, доктор биологических наук, заведующий лабораторией иммунобиотехнологии и микробиологии, ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

п. Институт, г. Боровск, Боровский район, Калужская область, 249013, Российская Федерация
ostrenkos@gmail.com

Некрасов Роман Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, доцент, заведующий отделом кормления сельскохозяйственных животных, главный научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

*п. Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, Российская Федерация
nek_roman@mail.ru*

Боголюбова Надежда Владимировна, доктор биологических наук, заведующий отделом физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ведущий научный сотрудник
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»
п. Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, Российская Федерация
652202@mail.ru*

Кутын Иван Владимирович, научный сотрудник лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии
*Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»
п. Институт, г. Боровск, Боровский район, Калужская область, 249013, Российская Федерация
Kurookami@mail.ru*

Бутенко Алексей Иванович, ведущий специалист отдела кормления сельскохозяйственных животных
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»
п. Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, Российская Федерация
hugo_st@inbox.ru*

Кольцов Кирилл Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии
Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного

ственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

п. Институт, г. Боровск, Боровский район, Калужская область, 249013, Российская Федерация

kirukhai5@mail.ru

Волченков Юрий Алексеевич, младший научный сотрудник лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии

Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

п. Институт, г. Боровск, Боровский район, Калужская область, 249013, Российская Федерация

y.volchenkov@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Konstantin S. Ostrenko, Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Immunobiotechnology and Microbiology, Leading Researcher

All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Animals – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

Institute, Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russian Federation

ostrenkoks@gmail.com

SPIN-code: 6609-9581

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2235-1701>

ResearcherID: E-2898-2019

Scopus Author ID: 57201719569

Roman V. Nekrasov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of RAS, Associate Professor, Head of the Department of Feeding of Farm Animals, Chief Scientific Associate

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

60, Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian Federation

nek_roman@mail.ru

SPIN-code: 1539-8087

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

Researcher ID: P-7028-2016

Scopus Author ID: 55760119900

Nadezhda V. Bogolyubova, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Physiology and Biochemistry of Agricultural Animals, Leading Researcher

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

60, Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian Federation

652202@mail.ru

SPIN-code: 4007-2980

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>

Researcher ID: J-3771-2018

Scopus Author ID: 57191954598

Ivan V. Kutyin, Scientific Researcher at the Laboratory of Immunobiotechnology and Microbiology

All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Animals – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

Institute, Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russian Federation

Kurookami@mail.ru

SPIN-code: 8893-1346

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4605-9417>

Researcher ID: E-2898-2019

Scopus Author ID: 57217588743

Alexey I. Butenko, Leading Specialist of the Department of Feeding of Farm Animals

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

60, Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian Federation

hugo_st@inbox.ru

SPIN-code: 7239-9921

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2729-389X>

Kirill S. Koltsov, Junior Researcher at the Laboratory of Immunobiotechnology and Microbiology

All-Russian Scientific Research Institute of Physiology, Biochemistry and Animal Nutrition, a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academician L.K. Ernst

Institute, Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russian Federation

kirukhai5@mail.ru

SPIN-code: 4818-4454

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3267-7994>

Yuri A. Volchenkov, Junior Researcher at the Laboratory of Immunobiotechnology and Microbiology

All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Animals – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

Institute, Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russian Federation

y.volchenkov@mail.ru

SPIN-code: 6732-9733

Поступила 15.02.2025

После рецензирования 01.04.2025

Принята 17.04.2025

Received 15.02.2025

Revised 01.04.2025

Accepted 17.04.2025