

Нетрадиционные кормовые продукты

УДК 636.4:636.087.69

doi: 10.15389/agrobiology.2019.2.316rus

**ПИТАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЛИЧИНОК *Hermetia illucens* L. —
НОВОГО КОРМОВОГО ПРОДУКТА ДЛЯ МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ
(*Sus scrofa domestica* Erxleben)*****Р.В. НЕКРАСОВ¹, М.Г. ЧАБАЕВ¹, А.А. ЗЕЛЕНЧЕНКОВА¹, А.И. БАСТРАКОВ²,
Н.А. УШАКОВА²**

Выращивание личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens* L.) — экономичный способ превращения органических остатков в ценный источник биомолекул (белков, липидов и хитина). Доказана перспективность промышленного разведения личинок черной львинки на различных органических субстратах, в связи с чем целесообразно изучить их питательные свойства и эффективность применения в кормлении сельскохозяйственных животных. Целью нашей работы была оценка питательных характеристик личинок *H. illucens*, выращенных на различных кормовых субстратах, и изучение возможности введения их в рацион сельскохозяйственных животных на примере молодняка свиней. Личинок получали в лабораторных условиях (ИПЭЭ РАН) при использовании различных кормовых субстратов: послеспиртовой барды, фуражного зерна пшеницы, пшеничных отрубей, дробленой кукурузы, фруктово-зерново-овощных смесей, птичьей пометной подстилки. Физиологический опыт на гибридных боровках (F₁ крупная белая × ландрас, 6 гол.) проводили в условиях физиологического двора Федерального научного центра животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста. По принципу аналогов (происхождение, возраст, живая масса) были сформированы две группы животных по 3 гол. в каждой. Животным I группы (контроль) скармливали полнорационный стартовый комбикорм (СК-4) с содержанием 5 % отрубей и добавлением 5,0 % рыбной муки. Аналогам из II группы давали СК-4 с 7,0 % сухих личинок *H. illucens*, выращенных на дробленой кукурузе, и 3 % пшеничных отрубей. Опыт проводили в двух повторностях. Биоконверсия субстратов личинками составляла от 41 % (птичья пометная подстилка) до 77 % (дробленая кукуруза). Биомасса личинок варьировала от 54 г/кг (птичья пометная подстилка) до 240 г/кг (зерново-фруктово-овощные смеси). Наиболее предпочтительными субстратами для выращивания биомассы личинок оказались зерновые и зерново-фруктово-овощные смеси. Питательная ценность личинок мухи менялась в зависимости от субстрата. Количество обменной энергии находится в пределах 15,32-21,41 МДж/кг, количество белка колеблется в пределах 35,5-48,3 %, жира — 20,6-45,5 %. Протеин личинок содержит полный набор аминокислот, характерный для белка животного происхождения, и по составу также зависит от используемого субстрата. Существенное влияние на биохимический состав личинок оказывал их возраст. У личинок последнего возраста (предкуколки) повышалось количество протеина и уменьшалась массовая доля жира: в сухих личинках, выращенных на фуражном зерне пшеницы, содержалось 37,6 % протеина и 38,3 % жира, в то время как в предкуколках эти показатели составляли соответственно 42,8 и 31,9 %. Замена рыбной муки сухими личинками мухи *H. illucens* способствовала лучшему использованию и отложению азота и, как следствие, более высокому приросту живой массы у поросят из опытной группы (504,95±17,94 против 475,92±22,93 г, $p > 0,05$). Включение в рацион личинок черной львинки не оказывало статистически значимого отрицательного воздействия на использование животными кальция и фосфора. Таким образом, личинки мухи *Hermetia illucens* можно рассматривать в качестве рациональной альтернативы традиционным высокопротеиновым кормам, удовлетворяющим потребности интенсивно растущего молодняка свиней в питательных веществах.

Ключевые слова: личинки, *Hermetia illucens*, корма, молодняк свиней, переваримость, продуктивность.

Разработка новых компонентов комбинированных кормов для сельскохозяйственных животных — одно из актуальных направлений современной комбикормовой индустрии. Кормовая база, определяющая наибольшую статью расходов, представлена разнообразными ингредиентами растительного и животного происхождения, а также кормами, полученными посредством микробиологического синтеза. При этом ведется поиск новых нетрадиционных компонентов с высокой концентрацией белка, способных стать достойной альтернативой сое и рыбной муке. Высокобелковые ком-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема ГЗ АААА-А18-118021590136-7 и тема АААА-А18-118042490053-3).

поненты необходимы для обеспечения потребности животных в протеине, а значит, для полноценного развития организма и получения наиболее высокой продуктивности с меньшими затратами кормов (1). В отечественной комбикормовой промышленности снижаются объемы производства кормов животного происхождения, повышается их цена при ухудшении качества, на рынке появляются фальсификаты. Зерновая группа (ячмень, овес, пшеница, кукуруза, горох) служит сырьем для производства не только кормов, но и продуктов питания, что вызывает конкуренцию за эти источники белка, для обеспечения животноводства такими кормами отвлекаются большие площади пахотной земли, которая могла бы использоваться для производства продовольствия. Новые альтернативные белковые компоненты могут снизить напряженность этих проблем, что определяет актуальность выполненных нами экспериментов (2).

База нетрадиционных кормов с каждым годом расширяется. В работах отечественных исследователей установлена высокая эффективность использования личинок синатропных мух (*Musca domestica*) в питании сельскохозяйственных животных (3, 4). Необходимо проводить эксперименты и с другими биологическими объектами, изучать возможности их применения в качестве кормовых ингредиентов, выявлять наиболее перспективные с экономической точки зрения. Такие объекты должны обладать высокими питательными свойствами (в первую очередь по содержанию белка и жира), обеспечивать быстрое накопление биомассы, служить источниками биологически активных веществ и быть безопасными с точки зрения ветеринарии и экологии. Этим требованиям удовлетворяет муха черная львинка (*Hermetia illucens* L.), личинки, которой многие авторы предлагают использовать в кормах для животных (5-7). Биомассу *H. illucens* производят многие компании: «Hermetia Varuth GmbH» (Германия), «AgriProtein Technologies» (Южная Африка), «Enterra Feed Corporation» (Канада), «Protix» (Нидерланды), «Bühler Insect Technology Solutions» (Швейцария). Большинство компаний, которые предлагают продукты из черной львинки *H. illucens*, расположены в Европе (8).

Кормовым субстратом для личинок этого вида насекомых служат разнообразные источники: навоз, некондиционное зерно и продукты переработки сельскохозяйственной и пищевой индустрии, пищевые отходы (9). Ежедневно в качестве пищевых отходов выбрасывается до трети объема произведенных продуктов, большая часть которых растительного происхождения (остатки фруктов и овощей, что связано со сложностью их хранения и транспортировки). Продукты быстро разлагаются и становятся непригодными для дальнейшего использования. Биоконверсия отходов при выращивании на них личинок частично решает проблему утилизации и позволяет получать высококачественный белковый кормовой продукт (10).

Личинки черной львинки представляют собой экономичный способ превращения остаточных органических биомасс в ценный источник биомолекул — белков, липидов и хитина (11). Считается, что к 2050 году белок насекомых может составить 15 % от общего объема производимого в мире белка (12). Появление на рынке личинок черной львинки вызывает необходимость оценки биологической эффективности этого кормового продукта. В частности, имеются работы, указывающие на перспективность использования личинок *H. illucens* в рационе рыб, свиней и птиц (13-15), в питании телят (16), а также вместо соевой муки в рационе коров (17).

Однако информации об эффективности использования личинок *H. illucens* в питании животных, в частности интенсивно растущего молодняка свиней, пока недостаточно, причем в России подобные исследования

ранее не проводились. В представленной работе мы установили, что скормливание молодняку свиней личинок черной львинки в составе сбалансированных полнорационных комбикормов (7,0 %, или 70 кг/т комбикорма) положительно влияет на физиологические процессы в организме животных, их продуктивность и снижает затраты кормов. При этом следует учитывать, что в наших опытах в зависимости от использованных субстратов питательная ценность полученной добавки различалась почти 2-кратно.

Целью исследования была оценка питательных характеристик личинок *Hermetia illucens*, выращенных на различных органических остатках, а также оказываемого ими эффекта при введении в рацион сельскохозяйственных животных (на примере молодняка свиней).

Методика. В работе, проведенной в 2016–2017 годах, использовали личинок и предкукол (личинки последней личиночной стадии) черной львинки *Hermetia illucens* L., выращенных в лабораторных условиях (Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН) на после-спиртовой барде, фуражном зерне пшеницы, пшеничных отрубях, дробленой кукурузе, фруктово-зерново-овощной смеси (яблоки, мандарины, пшеница, отруби, картофель, морковь в равных количествах) или птичьей пометной подстилке. Температура воздуха при выращивании личинок составляла 20–21 °С, влажность субстратов во всех вариантах поддерживалась в пределах 70±5 %. Температуру контролировали ртутным термометром, влажность кормовой массы — прибором Элекс-7 (ГК «Элекс», Россия). Субстраты заселяли личинками 6-суточного возраста (по 5 личинок на 1 см²). Все опыты проводили в 3 повторностях. Сырую биомассу высушивали при 70 °С до постоянной массы на полочной сушильной установке SNOL («AB UMEGA», Литва). Образцы взвешивали с точностью 0,005 г (весы CAS XE-300, «CAS», Южная Корея). Общее потребление субстрата (конверсию) оценивали как отношение разницы между начальной массой сухого субстрата и конечного сухого остатка (расход вещества) к начальной сухой массе.

Химический состав и питательную ценность высушенных личинок черной львинки анализировали по общепринятым методикам, описанным в ГОСТ 54951-2012, 31640-2012, 32044.1-2012, 32905-2014, 31675-2012, 26176-91, 32904-2014, ГОСТ Р 51420-99, ГОСТ 13496-17-95, ГОСТ 13496.12-98 (ФНЦ ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста), обменную энергию (ОЭ) определяли расчетным методом (16). Аминокислотный состав оценивали в высушенной биомассе личинок, выращенных на дробленой кукурузе, используя жидкостный хроматограф LC-20 Prominence («Shimadzu», Япония). Результаты повторных измерений получали в условиях сходимости (доверительная вероятность $P = 0,95$) (18).

Физиологический опыт на гибридных боровках (*Sus scrofa domestica* Erxleben) (F₁ крупная белая × ландрас, 6 гол. со средней начальной живой массой около 15 кг) проводили в условиях физиологического двора (ФНЦ ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста). По принципу аналогов (происхождение, возраст, живая масса) из животных F₁ КБ × Л сформировали две группы по 3 гол. в каждой. Продолжительность скормливания составляла 27 сут, учетный период балансового опыта — 5 сут. Животные I группы (контроль) получали полнорационный стартовый комбикорм (СК-4) с 5 % отрубей и добавлением 5,0 % рыбной муки. Аналогам из II группы давали СК-4 с 3 % пшеничных отрубей и 7,0 % сухих личинок *H. illucens*, выращенных на дробленой кукурузе. Антибиотики в составе комбикормов не применяли. По показателям энергетической и питательной ценности корм СК-4 соответствовал требованиям для указанных возрастного и весового

показателей животных (19). Опыт проводили в 2 повторностях. Основной

1. Состав и питательность опытных партий комбикормов в рационах гибридных боровков (F₁ КБ × Л) (ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2016-2017 годы)

Компонент, %	Группа	
	I	II
Личинки <i>Hermetia illucens</i>	0	7,0
Рыбная мука	5,0	0
Пшеница	41,8	41,8
Ячмень	10,0	10,0
Кукуруза	8,0	8,0
Отруби пшеничные	5,0	3,0
Шрот подсолнечный, СП 32 %	16,0	16,0
Масло подсолнечное	4,0	4,0
Дрожжи кормовые, СП 34 %	7,0	7,0
Соль поваренная	0,2	0,2
Трикальцийфосфат	2,0	2,0
Премикс, П52-3	1,0	1,0
В 1 кг содержится:		
ЭКЕ	1,32	1,33
обменной энергии, МДж	13,23	13,34
сухого вещества, кг	0,843	0,845
сырого протеина, г	180,5	179,1
переваримого протеина, г	140,9	140,4
сырой золы, г	54,0	53,5
БЭВ, г	527,7	522,0
крахмала, г	354,2	346,1
сахара, г	27,9	26,9
лизина, г	7,9	7,4
метионина + цистина, г	5,9	5,3
треонина, г	6,3	5,9
сырого жира, г	66,0	71,3
сырой клетчатки, г	54,6	52,7
кальция, г	10,0	8,2
фосфора, г	8,5	7,5
Mg, г	1,9	1,8
S, г	1,0	0,8
K, г	5,4	5,0
Na, г	1,6	1,1
NaCl, г	4,1	4,1
витамина А, тыс. МЕ/кг	20,00	20,00
витамина D ₃ , тыс. МЕ/кг	2,00	2,00
витамина Е, мг/кг	20,00	20,00
Fe, мг/кг	80,00	80,00
Cu, мг/кг	10,00	10,00
Zn, мг/кг	60,00	60,00
Mn, мг/кг	40,00	40,00
Co, мг/кг	0,30	0,30
I, мг/кг	0,60	0,60
Se, мг/кг	0,20	0,20

Примечание. СП — сырой протеин, ЭКЕ — энергетические кормовые единицы, БЭВ — безазотистые экстрактивные вещества.

рацион и условия содержания всех групп животных (температурный, влажностный световой режимы и газовый состав воздуха в помещении) были одинаковыми и находились в пределах зооигиенических норм.

По завершении скармливания проводили балансовый опыт для оценки переваримости питательных веществ комбикорма (20). На время опыта животных каждой переводили в специальные клетки, оборудованные индивидуальными кормушками и средствами для сбора кала и мочи. Продолжительность физиологических исследований составила 5 сут.

В начале, в конце опыта и еженедельно в утренние часы перед кормлением животных индивидуально взвешивали для определения абсолютного и среднесуточного прироста живой массы. Влияние вида корма на его поедаемость оценивали на основе ежедневного индивидуального учета задаваемых кормов и их остатков. После окончания опыта средние пробы кормов, кала и мочи подвергали химическому анализу по стандартным методикам (21). Мерой поедаемости и оплаты корма продукцией служил расход кормов на единицу прироста живой массы.

Рассчитывали показатель обменной энергии (ОЭ) по переваримым питательным веществам. Уравнение для полнорационных комбикормов (свины) имело следующий вид (22):

$$ОЭ = 0,01924 \times СП + 0,03597 \times СЖ - 0,01430 \times СК + 0,01494 \times СБЭВ,$$

где ОЭ — обменная энергия, МДж в 1 кг корма; СП сырой протеин, г; СЖ — сырой жир, г; СК — сырая клетчатка, г; СБЭВ — безазотистые экстрактивные вещества, г.

Полученные данные обрабатывали биометрически методом дисперсионного анализа (ANOVA) в программе STATISTICA 10 («StatSoft, Inc.», США). Вычисляли среднеарифметические значения (M), среднеквадратическую ошибку (\pm MSE) и уровень статистической значимости (p).

Результаты. Состав кормов в рационах приведен в таблице 1. Отличительная особенность мухи черная львинка *Hermetia illucens* —

способность существовать в контролируемых искусственных условиях. При этом личинки могут использовать различные органические субстраты в качестве корма, что позволяет решать проблемы частичной биоутилизации органических отходов и получать белковую биомассу личинок. Однако не все типы субстратов использовались личинками одинаково (табл. 2), что отмечается и в литературе (23).

2. Биоконверсия экспериментальных субстратов личинками *Hermetia illucens* L. (в расчете на сухое вещество, $M \pm MSE$, ИПЭЭ РАН, 2016-2017 годы)

Тип субстрата	Конверсия, %	Выход биомассы личинок, кг	
		с 1 кг субстрата	с 1 м ²
Птичья пометная подстилка	41,0±1,6	0,054±0,017	0,6±0,2
Послеспиртовая барда	53,0±1,3	0,084±0,001	0,7±0,4
Дробленая кукуруза	77,4±0,9	0,180±0,008	3,4±0,4
Фуражное зерно пшеницы	74,5±1,7	0,155±0,002	3,1±0,4
Отруби пшеничные	72,2±0,6	0,137±0,001	1,7±0,3
Фруктово-зерново-овощная смесь	65,3±0,8	0,240±0,009	3,3±0,5

Конверсия представленных субстратов составляла от 41 (птичья пометная подстилка) до 77 % (дробленая кукуруза). Также на разных субстратах получили неодинаковый выход сухой биомассы личинок: от 54 (птичья пометная подстилка) до 240 г/кг (зерново-фруктово-овощная смесь). Наиболее предпочтительными субстратами для выращивания биомассы личинок оказались зерновые и зерново-фруктово-овощные смеси. В работе не использовали высокобелковые кормовые смеси с животным протеином в соответствии с рекомендациями Постоянного комитета Евросоюза по растениям, животным, пищевым продуктам и кормам (EU Standing Committee on Plants, Animals, Food and Feed, SCoPAFF): протеин из насекомых законодательно допущен к использованию на территории ЕС в кормах (на примере аквакультуры) при условии выращивания личинок на растительном субстрате (24). Хотя лимитирующим фактором для накопления биомассы личинок служит повышенное содержание клетчатки в использованных кормах (25), введение пшеничных отрубей повышало выход биомассы и общую конверсию субстрата, по-видимому, за счет улучшения структуры субстрата, его влагоемкости и аэрируемости.

3. Биохимический состав высушенных личинок *Hermetia illucens* L., выращенных на разных кормовых субстратах ($M \pm MSE$, ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2016-2017 годы)

Показатель	Кормовой субстрат						
	1	2	3	4	5	6	7
Общая влага, %	6,28	7,45	8,19	2,78	0,88	2,18	7,68
Абсолютно сухое вещество, %	93,72	92,55	91,81	97,22	99,12	97,82	92,32
Протеин, г/кг	482,9	375,7	427,87	452, 2	365,2	355,38	403,82
Жир, г/кг	205,6	382,9	318,70	194,5	455,4	261,38	221,14
Клетчатка (хитин), г/кг	81,4	51,9	64,60	70,2	88,8	79,63	36,48
БЭВ, г/кг	98,6	140,8	46,20	157,0	25,7	172,95	159,12
Зола, г/кг	67,7	36,2	60,7	71,2	38,5	67,40	102,6
Валовая энергия, МДж/кг	18,85	н/о	24,39	18,70	25,19	20,47	21,53
Обменная энергия, МДж/кг	16,45	н/о	18,39	15,32	21,41	15,44	14,63
Энергетические кормовые единицы	1,6	н/о	1,83	1,53	2,14	1,54	1,46
Переваримый протеин, г/кг	385,6	н/о	385,01	407,0	328,0	301,70	382,8
Кальций, г/кг	6,69	4,1	4,40	8,44	4,69	11,08	15,1
Фосфор, г/кг	7,35	3,2	2,64	7,72	3,87	6,98	8,9

Примечание. 1 — сухая послеспиртовая барда, 2 — фуражное зерно пшеницы (личинки), 3 — фуражное зерно пшеницы (предкуколки), 4 — отруби пшеничные, 5 — кукуруза, 6 — фруктово-зерново-овощная смесь, 7 — птичья пометная подстилка. Расчет обменной энергии дан для свиней; н/о — не определяли. Результаты повторных измерений получены в условиях сходимости (предел повторяемости 5 %, доверительная вероятность $P = 0,95$).

Типы субстратов, на которых выращивали личинок, существенно влияли на их биохимический состав. Содержание протеина в высушенных

личинках колебалось от 35,5 % (фруктово-зерново-овощные смесь) до 48,3 % (послеспиртовая барда) (табл. 3). Переваримый протеин составлял 80 % при выращивании личинок на барде, 85 % — на фруктово-зерново-овощной смеси, 90 % — на зерне, отрубях. Содержание жира колебалось от 20,6 % (послеспиртовая барда) до 45,5 % (дробленая кукуруза). Углеводы в наибольшем количестве присутствовали в личинках, выращенных на зерновых субстратах. Крахмал кукурузы способствовал накоплению в теле личинок липидов. Следует также отметить значительный разброс в содержании кальция и фосфора в сухих личинках в зависимости от типа субстрата. Существенное влияние на биохимический состав личинок также оказывал их возраст. У личинок последнего возраста (предкуколок) повышалось количество протеина и уменьшалась массовая доля жира: в сухих личинках, выращенных на фуражном зерне пшеницы, содержалось 37,6 % протеина и 38,3 % жира, в то время как в предкуколках эти показатели составляли соответственно 42,8 и 31,9 %. Это связано с тем фактом, что на стадии предкуколки личинки теряют воду, жир и углеводы, поэтому доля протеина повышается (26).

4. Аминокислотный состав высушенных личинок *Hermetia illucens* L., соевой и рыбной муки (усредненная проба, % к общему количеству белка)

Показатель	Соевая мука	Личинки мухи <i>Hermetia illucens</i>	Рыбная мука
Аспарагиновая кислота	11,82	8,25	10,17
Треонин	4,08	3,97	4,57
Серин	5,46	4,49	4,35
Глутаминовая кислота	18,22	12,85	14,35
Пролин	5,50	6,02	4,73
Глицин	4,34	5,63	6,67
Аланин	4,42	7,25	6,70
Валин	4,70	5,12	5,32
Метионин	1,26	1,85	3,13
Цистин	1,52	0,85	1,00
Изолейцин	4,56	5,58	4,38
Лейцин	7,66	12,24	7,92
Тирозин	2,56	6,32	3,65
Фенилаланин	4,90	4,35	4,27
Гистидин	2,54	4,21	3,17
Лизин	6,26	5,75	8,70
Аргинин	4,30	4,20	6,48
Сумма аминокислот	98,10	98,93	99,56

Примечание. Для соевой и рыбной муки приведены справочные данные (27). Результаты повторных измерений получены в условиях сходимости (предел повторяемости 5 %, доверительная вероятность $P = 0,95$).

5. Динамика роста подопытных гибридных боровков (F_1 КБ × Л) при добавлении в рацион сухих личинок *Hermetia illucens* L. ($N = 12$, $M \pm MSE$, ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2016-2017 годы)

Живая масса	Группа	
	I	II
В начале опыта, кг	15,72±1,08	15,63±0,95
В конце опыта, кг	28,09±1,57	28,76±1,36
Абсолютный прирост, кг	12,37±0,60	13,13±0,47
Среднесуточный прирост, г	475,92±22,93	504,95±17,94
К контролю, %	100,0	106,1

Примечание. Описание групп см. в разделе «Методика».

Независимо от использованного кормового субстрата, белок личинок мухи *H. illucens* содержал все аминокислоты, характерные для животного белка, в том числе незаменимые. В аминокислотном профиле личинок черной львинки в сравнении с рыбной мукой было меньше аспарагиновой кислоты, аргинина, лизина, метионина и цистина, больше пролина, лейцина, изолейцина, тирозина (табл. 4). В целом количество лизина у черной львинки было сравнимо с содержанием этой аминокислоты в соевой муке (27).

Свиньи — всеядные моногастричные животные, которые особенно нуждаются в животном белке. В их комбикорм в зависимости от возраста

должно входить 13-21 % сырого белка (28). Введение в рацион свиней белка личинок черной львинки, содержащего весь комплекс природных незаменимых и условно заменимых аминокислот, а также ферменты, биологически активные вещества, микро- и макроэлементы, может быть эффективным при полной или частичной замене рыбной или соевой муки. В нашем опыте динамика роста боровков при кормлении полнорационным стартовым комбикормом (СК-4) с добавлением 7 % личинок черной львинки была положительной в сравнении с контролем: среднесуточный прирост живой массы во II группе был на 6,1 % выше, чем в I группе ($p > 0,05$) (табл. 5).

6. Затраты корма при добавлении в рацион подопытных гибридных боровков (F₁ КБ × Л) сухих личинок *Hermetia illucens* L. (M±MSE, ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2016-2017 годы)

Показатель	Группа	
	I	II
Содержание ОЭ в 1 кг комбикорма, МДж	11,61	11,98
Израсходовано кормов за период, кг	28,650	28,650
Израсходовано за сутки:		
комбикорма, кг	1,08	1,08
ОЭ, МДж	12,59	13,06
Абсолютный прирост массы за период, кг	12,60±0,90	13,33±0,47
Затраты комбикорма на 1 кг прироста, кг:		
всего	2,26	2,11
к контролю, %	100,00	93,36
Затраты ОЭ на 1 кг прироста, МДж:		
всего	26,34	25,45
к контролю, %	100,00	96,62

Примечание. ОЭ — обменная энергия по переваримым питательным веществам. Описание групп см. в разделе «Методика».

сырой клетчатки — 41,85 %, безазотистых экстрактивных веществ — 84,77 %; во II группе эти показатели были соответственно 75,19; 77,14; 71,58; 38,52; 37,11 и 85,03 %. Мы не выявили достоверных различий при сравнении коэффициентов переваримости питательных веществ у животных опытной и контрольной групп ($p > 0,05$). При включении в рацион 7 % муки из личинок мух несколько хуже переваривались сырые жир и клетчатка. Возможно, это связано с несколько большим содержанием жира в опытном комбикорме (см. табл. 1) и присутствием труднопереваримого хитина личинок, определяемого в суммарном показателе содержания клетчатки в корме.

Коэффициент использования того или иного питательного элемента показывает, насколько эффективно поступившие в организм животного и переваренные питательные вещества используются в обменных процессах. Для изучения белкового обмена мы рассчитали баланс и использование боровками азота в период проведения балансового опыта. При сравнении количества использованного азота относительно поступившего с кормом и переваренного прослеживается тенденция к увеличению показателей у животных из опытной группы по сравнению с аналогами из контрольной, однако эта разница незначительна и статистически не достоверна. Тем не менее показано, что добавление в комбикорма личинок мухи *H. illucens* способствовало лучшей утилизации и отложению азота и, как следствие, более высокому приросту живой массы (504,95±17,94 против 475,92±22,93 г, $p > 0,05$) (см. табл. 5). Включение в рацион II группы личинок черной львинки не оказывало отрицательного или статистически значимого воздействия на использование животными кальция и фосфора.

Полученные нами результаты в некоторой степени коррелируют с

По затратам комбикорма на получение единицы продукции показатели во II группе были ниже относительно контрольных на 0,15 кг, или на 6,6 % (табл. 6). То есть животные из опытной группы лучше использовали питательные вещества корма на прирост живой массы. В I группе коэффициенты переваримости составили для сухого вещества 75,13 %, органического вещества — 77,81 %, сырого протеина — 72,27 %, сырого жира — 41,68 %, сырой клетчатки — 41,85 %, безазотистых экстрактивных веществ — 84,77 %;

данными при введении в рацион поросят частично обезжиренной муки из личинок *H. illucens* при 75 % замене ею соевой муки без балансировки и с балансировкой аминокислотного состава посредством добавления кристаллического L-лизина, DL-метионина, L-треонина (25). Животные, получавшие рацион с личинками черной львинки и аминокислотными добавками не различались по исследованным зоотехническим параметрам с контрольными поросятами. При замене соевой муки на обезжиренную муку из черной львинки с базовым содержанием аминокислот проявилась тенденция к несколько меньшему росту поросят, потреблению корма и конверсии белка. Однако существенного отрицательного эффекта не отмечали. Авторы сделали вывод, что частично обезжиренная мука из *H. illucens* может быть перспективной альтернативой соевой муки в рационах молодняка свиней. В нашей работе зоотехнические показатели у боровков из опытной группы были аналогичны таковым у контрольных животных. Более того, наблюдалась тенденция к превышению контрольных показателей при введении в корма полноценной необезжиренной муки личинок без дополнительного обогащения синтетическими аминокислотами. По-видимому, липиды личинок играют положительную роль, повышая кормовую эффективность продукта на основе цельного насекомого, поскольку они содержат биологически активные компоненты (29).

Отметим, что биометическая обработка полученных нами данных не выявила статистически достоверных различий по анализируемым показателям, в том числе в отношении роста животных и переваримости питательных веществ их рационов. Отсутствие таких различий свидетельствует о том, что замена рыбной муки на сухую биомассу личинок не приводит к отрицательным последствиям и позволяет сохранять контрольные значения при выращивании молодняка, что следует расценивать положительно.

Таким образом, питательная ценность личинок мухи *Hermetia illucens* достаточно высока: содержание обменной энергии в 1 кг в зависимости от использованного кормового субстрата для выращивания личинок составляет 15,32–21,41 МДж, количество белка колеблется в пределах 35,5–48,3 %, жира — 20,6–45,5 %. Аминокислотный состав протеина личинок содержит полный набор аминокислот, в том числе все незаменимые аминокислоты. Скармливание молодняку свиней личинок черной львинки в составе сбалансированных полнорационных комбикормов (7,0 %, или 70 кг/т комбикорма) положительно влияет на физиологические процессы в организме животных, их продуктивность, затраты кормов. Личинки мухи *H. illucens* можно рассматривать в качестве рациональной альтернативы традиционным высокопротеиновым кормам (в том числе рыбной муке) в рационах растущего молодняка свиней в период дорастивания.

¹ФГБНУ Федеральный научный центр
животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
142132 Россия, Московская обл., г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60,
e-mail: nek_roman@mail.ru ✉, chabaev.m.g-1@mail.ru, aly4383@mail.ru;

²ФГБНУ Институт проблем экологии и эволюции
им. А.Н. Северцова РАН,
119071 Россия, г. Москва, Ленинский просп., 33,
e-mail: aibastrakov@gmail.com, naushakova@gmail.com

Поступила в редакцию
4 ноября 2018

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2019, V. 54, № 2, pp. 316–325

NUTRITIONAL PROPERTIES OF *Hermetia illucens* L., A NEW FEED PRODUCT FOR YOUNG PIGS (*Sus scrofa domestica* Erxleben)

R.V. Nekrasov¹, M.G. Chabaev¹, A.A. Zelenchenkova¹, A.I. Bastrakov², N.A. Ushakova²

¹Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, 60, pos. Dubrovitsy, Podolsk District, Moscow Province, 142132

ORCID:

Nekrasov R.V. orcid.org/0000-0003-4242-2239

Bastrakov A.I. orcid.org/0000-0003-3396-6154

Chabaev M.G. orcid.org/0000-0003-1889-6063

Ushakova N.A. orcid.org/0000-0001-7914-1508

Zelenchenkova A.A. orcid.org/0000-0001-8862-3648

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topics GZ AAAA-A18-118021590136-7 and AAAA-A18-118042490053-3)

Received November 4, 2018

doi: 10.15389/agrobiology.2019.2.316eng

Abstract

In connection with the proven possibility of industrial breeding of black lion larvae *Hermetia illucens* L. on various organic substrates, it is of interest to study their nutritional properties and the possibility of effective use as a new feed product for the Russian livestock in the diets of different farm animal species. This paper is the first report in Russia about *H. illucens* larvae effects on growth of young pigs. The aim of the work was to assess the biochemical composition and nutritional value of *H. illucens* larvae depending on the composition of the substrate on which they were grown and to estimate efficiency of these larvae as a substitution for dietary fish meal in pigs' (*Sus scrofa domestica* Erxleben) feed. The fly *H. illucens* larvae were reared in the laboratory of the Institute of Ecology and Evolution RAS on different substrates, i.e. distillers dried grains with solubles, feed wheat grain, wheat bran, crushed corn, mix of fruit and vegetable waste with grain bran, mixture of bird manure with litter. Bioconversion of substrates by larvae ranges from 41 % (bird droppings) to 77 % (crushed corn). Also, the use of different substrates leads to a different yield of dry biomass of larvae, from 54 g/kg (bird litter) to 240 g/kg (grain-fruit-vegetable mixture). The most preferable substrates for growing larval biomass are grain and grain-fruit-vegetable mixtures. The nutritional value of fly larvae varies depending on the substrate of culture. The exchange energy is within 15.32-21.41 MJ/kg, the amount of protein is in the range of 35.5-48.3 %, and fat level is 20.6-45.5 %. The larval protein contains a complete set of amino acids characteristic of animal protein, and also depends on the substrate used. The larvae age had a significant impact on their biochemical composition. Dry prepupa (last instar stage), when grown on feed wheat grain, showed higher protein content and lower body fat compared to larvae, i.e. 42.8 and 31.9 % vs. 37.6 and 38.3 %, respectively. The study of the effect of substitution of fish meal (5 %) for flour from larvae (7 %) in feed included estimates of digestibility of nutrients, balance and use of nitrogen by pigs. Physiological tests on animals ($n = 6$) were conducted during rearing pigs (F₁ Large White × Landrace) in the conditions of physiological yard (Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry). Compound feeds for animal experimental groups were balanced by nutritional and energy value, the level of minerals. The experiment was performed in two repetitions. It is shown that the replacement of fish meal with dry *H. illucens* larvae contributes to better use and deposition of nitrogen and, as a consequence, a higher bodyweight gain (504,95±17,94 vs. 475,92±22,93 g, $p > 0,05$). Dietary black soldier fly larvae had no statistically significant negative impact on the use of calcium and phosphorus by animals. Thus, the larvae of *H. illucens* fly can be considered as a rational alternative to traditional high-protein feeds that meet the nutritional needs of intensively growing young pigs.

Keywords: larvae, *Hermetia illucens*, feed, young pigs, digestibility, productivity.

REFERENCES

1. Woyengo T.A., Beltranena E., Zijlstra R.T. Nonruminant Nutrition Symposium: Controlling feed cost by including alternative ingredients into pig diets: a review. *Journal of Animal Science*, 2014, 92(4): 1293-1305 (doi: 10.2527/jas.2013-7169).
2. Manceron S., Ben-Ari T., Dumas P. Feeding proteins to livestock: Global land use and food vs. feed. *OCL*, 2014, 21(4): D408 (doi: 10.1051/ocl/2014020).
3. Bayandina G.V. Ispol'zovanie muki iz lichinok komnatnoi mukhi pri vyrashchivanii remontnykh svinok. *Sbornik nauchnikh trudov NSKH I «Pererabotka organicheskikh otkhodov zhivotnovodstva biologicheskim sposobom»* [In: Biological processing of organic animal waste]. Novosibirsk, 1980, vyp. 128: 21-24 (in Russ.).
4. Ernst L.K., Zlochevskii F.I., Fomichev Yu.P., Erastov G.M., Zinov'eva N.A., Bagirov V.A., Kaklakov V.T., Frolkina M.V. *Entomologicheskaya pererabotka organicheskikh otkhodov svinovodstva i ptitsevodstva i ispol'zovanie ee produktov v sel'skom khozyaistve* [Entomological processing of organic waste from pig and poultry farming and use of its products in agriculture]. Dubrovitsy, 2004 (in Russ.).
5. Van Huis A. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 2013, 58: 563-583 (doi: 10.1146/annurev-ento-120811-153704).
6. Stamer A. Insect proteins — a new source for animal feed. *EMBO Reports*, 2015, 16(6): 676-680 (doi: 10.15252/embr.201540528).

7. Barragan-Fonseca K.B., Dicke M., van Loon J.J.A. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed — a review. *J. Insects Food Feed*, 2017, 3(2): 105-120 (doi: 10.3920/jiff2016.0055).
8. Müller A., Wolf D., Gutzeit H.O. The black soldier fly, *Hermetia illucens* — a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 2017, 72(9-10): 351-363 (doi: 10.1515/znc-2017-0030).
9. Diener S., Solano N.M.S., Gutiérrez F.R., Zurbrügg C., Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2011, 2(4): 357-363 (doi: 10.1007/s12649-011-9079-1).
10. Niu Y., Zheng D., Yao B., Cai Z., Zhao Z., Wu S., Cong P., Yang D. A novel bioconversion for value-added products from food waste using *Musca domestica*. *Waste Management*, 2017, 61: 455-460 (doi: 10.1016/j.wasman.2016.10.054).
11. Aepli A. Industrializing the production of Black Soldier Fly larvae for animal feed. *Proc. INSECTA Conference, September 2017, Germany, Berlin*. Potsdam, 2017: 94.
12. Henry M., Gasco L., Piccolo G., Fountouleki E. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 203: 1-22 (doi: 10.1016/j.anifeeds.2015.03.001).
13. Caligiana A., Marseglia A., Leni G., Baldassarre S., Maistrello L., Dossena A., Sforza S. Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food Research International*, 2018, 105: 812-820 (doi: 10.1016/j.foodres.2017.12.012).
14. Veldkamp T., Bosch G. Insects: a protein rich feed ingredient in pig and poultry diet. *Animal Frontiers*, 2015, 5(2): 45-50.
15. Schiavone A., Cullere M., De Marco M., Meneguz M., Biasato I., Bergagna S., Dezzutto D., Gai F., Dabbou S., Gasco L., Dalle Zotte A. 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*, 2017, 16(1): 93-100 (doi: 10.1080/1828051X.2016.1249968).
16. Nekrasov R.V., Zelenchenkova A.A., Chabaev M.G., Ushakova N.A. Melanine protein-energy additive from *Hermetia illucens* larvae in nutrition of calves. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 2018, 53(2): 374-384 (doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.374eng) (in Russ.).
17. Jayanegara A., Novdji B., Yantina N., Ridla M. Use of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) to substitute soybean meal in ruminant diet: an in vitro rumen fermentation study. *Veterinary World*, 2017, 10(12): 1439-1446 (doi: 10.14202/vetworld.2017.1439-1446).
18. Arefeva R.P. *Metrologiya v khimicheskoy analize* [Metrology in chemical analysis]. Nizhnii Novgorod, 2017 (in Russ.).
19. 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. *Normy potrebnosti molochnogo skota i svinei v pitatel'nykh veshchestvakh: monografiya* [Nutrient requirements for dairy cattle and pigs: monograph]. Moscow, 2018 (in Russ.).
20. Tomme M.F. *Metodika opredeleniya perevarimosti kormov i ratsionov* [Estimation of digestibility of feeds and rations]. Moscow, 1969: 5-23 (in Russ.).
21. Raetskaya Yu.I., Sukhareva V.N. *Metodika zootekhnicheskogo i biokhimicheskogo analiza kormov, produktov obmena i zhivotnovodcheskoi produktsii* [Zootechnical and biochemical analysis of feed, metabolic products and livestock products — methodology]. Dubrovitsy, 1970 (in Russ.).
22. Kirilov M.P., Makhaev E.A., Pervov N.G., Puzanova V.V., Anikin A.S. *Metodika rascheta obmennoi energii v kormakh na osnove sodержaniya syrykh pitatel'nykh veshchestv (dlya krupnogo rogatogo skota, ovets, svinei)* [Calculation of the feed exchange energy based on the content of raw nutrients (for cattle, sheep, pigs) — methodology]. Dubrovitsy, 2008 (in Russ.).
23. Tschirner M., Simon A. 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*, 2015, 1(4): 1-12 (doi: 10.3920/JIFF2014.0008).
24. The European Commission. Commission regulation (EU) 2017/893 of 24 May 2017. *Official Journal of the European Union*, 2017, 25(5): L 138/92-L 138/116.
25. Ushakova N.A., Bastrakov A.I., Karagodin V.P., Pavlov D.S. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2018, 138(2): 172-182 (doi: 10.7868/S0042132418020060) (in Russ.).
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. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*, 2017, 12(8): e0182601 (doi: 10.1371/journal.pone.0182601).
27. Makhaev E.A., Mysik A.T., Strekozov N.I. *Rekomendatsii po detalizirovannomu kormleniyu svinei myasnogo tipa: spravochnoe posobie* [Detailed feeding of meat-type pigs: a reference guide]. Dubrovitsy, 2016 (in Russ.).
28. Velten S., Neumann C., Dörper A., Liebert F. Response of piglets due to amino acid optimization of mixed diets with 75 % replacement of soybean-meal by partly defatted insect meal (*Hermetia illucens*). *Proc. INSECTA Conference, September 2017, Germany, Berlin*. Potsdam, 2017: 63-64.
29. Ushakova N.A., Brodskii E.S., Kovalenko A.A., Bastrakov A.I., Kozlova A.A., Pavlov D.S. Characteristics of lipid fractions of larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2016, 468(1): 209-212 (doi: 10.1134/S1607672916030145).