

DOI: 10.37925/0039-713X-2025-4-29-32

УДК 636.4.084.1.087.69+612.12:636.4

Биохимический статус организма поросят при использовании продуктов из личинки *Hermetia illucens* ☹

Н.В. БОГОЛЮБОВА, доктор биолог. наук, вед. научный сотрудник, зав. отделом физиологии и биохимии с.-х. животных, e-mail: bogolubova@vij.ru, Р.В. НЕКРАСОВ, доктор с.-х. наук, профессор РАН, зав. отделом кормления с.-х. животных, e-mail: nek_roman@mail.ru, Р.А. РЫКОВ, ст. научный сотрудник отдела физиологии и биохимии с.-х. животных, e-mail: brukw@bk.ru, А.И. БУТЕНКО, вед. специалист отдела кормления с.-х. животных, e-mail: hugo_st@inbox.ru, Ю.А. БОГОЛЮБОВА, студентка, e-mail: bogolyubovajulia@gmail.com, ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста

Использование продуктов из личинок *Hermetia illucens* (черной львинки) является перспективным с точки зрения расширения линейки отечественных кормовых продуктов и усиления экологической позиции утилизации различных отходов.

В статье изложены результаты изучения биохимического статуса организма свиней в период дорастивания и откорма с учетом использования в их кормлении жира и протеиновой муки из личинки *Hermetia illucens*. Установлено влияние жировой добавки на липидный и минеральный обмен в крови поросят как на дорастивании, так и в период откорма. В период дорастивания включение протеиновой муки в рацион поросят способствовало изменениям в азотистом и углеводном обмене.

Ключевые слова: поросята, личинка *Hermetia illucens*, биохимия крови, антиоксидантный статус.

Biochemical status of piglets when using feed products from the larva of *Hermetia illucens*

N. V. BOGOLUBOVA, doctor of biology sciences, leading researcher, head of the department of physiology and biochemistry, e-mail: bogolubova@vij.ru R. V. NEKRASOV, doctor of agricultural sciences, professor of the RAS, head of the department of farm animal feeding, e-mail: nek_roman@mail.ru, R. A. RYKOV, senior researcher, department of physiology and biochemistry, e-mail: brukw@bk.ru, A. I. BUTENKO, leading specialist, department of farm animal feeding, e-mail: hugo_st@inbox.ru, Yu. A. BOGOLUBOVA, student, e-mail: bogolyubovajulia@gmail.com, Federal Research Center for Animal Husbandry named after academy member L. K. Ernst

The use of products from *Hermetia illucens* larvae is promising in terms of expanding the range of domestic feed products and strengthening the ecological position of utilization of various wastes.

The article presents the results of studying the biochemical status of the pig organism during the period of rearing and fattening when using fat and protein meal from the larva of *Hermetia illucens* in their feeding. The effect of the fat supplement on lipid and mineral metabolism in the blood of piglets both during rearing and fattening was established. During the rearing period, the inclusion of protein meal in the diet of piglets contributed to changes in nitrogen and carbohydrate metabolism.

Key words: piglets, *Hermetia illucens* larva, blood biochemistry, antioxidant status.

■ Введение

Расширение спектра отечественных кормовых средств в современных реалиях позволяет не только обеспечивать организм сельскохозяйственных животных высокоценными нутриентами, но и решать проблемы экологического характера. Так, особую актуальность приобретают кормовые продукты, произ-

веденные в результате рециклинга различных отходов, в том числе посредством переработки отходов насекомыми. В последнее время интерес к продуктам из насекомых возрос многократно, что связано с интенсивным развитием технологий выработки кормовых средств и биологически активных добавок из данного сырья [3, 6].

Различные продукты из насекомых находят широкое применение в питании животных, поскольку являются источником протеина, жира и биологически активных веществ, обладающих адаптогенными, антиоксидантными, иммунными и другими свойствами [9, 13]. Насекомые способны преобразовывать отходы фруктов и овощей с низкой пищевой

ценностью в биомассу, богатую питательными веществами, которая после переработки потенциально пригодна для кормления животных, птицы, аквакультуры, особенно из-за высокого уровня белка и жира [7, 17, 19].

Согласно новейшим исследованиям в области изучения химического состава, личинки *Hermetia illucens* содержат от 32% до 48% сырого протеина в расчете на сухое вещество [18], что значительно выше по сравнению с куколками (27%) [12]. При этом жир, содержание которого варьирует от 12% до 42%, богат лауриновой кислотой и другими среднецепочечными кислотами [5].

В исследованиях подчеркивается, что протеин, полученный из личинок черной львинки, не только обладает богатым аминокислотным составом [10], но и характеризуется антиоксидантными свойствами, усиливая активность антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы и глутатионпероксидазы), одновременно снижая уровни малонового диальдегида в сыворотке и тканях печени при окислительном стрессе у лабораторных животных [8].

Несмотря на относительную изученность вопроса использования продуктов из личинок в кормлении животных, необходимы дальнейшие исследования, направленные на комплексную оценку применения продуктов из насекомых как устойчивой альтернативы корма в животноводстве, а также в качестве генератора улучшенных методов ведения сельского хозяйства [11].

Цель исследования состояла в изучении биохимического статуса организма свиней в период дорастивания и откорма при использовании в кормлении различных кормовых продуктов из личинки *Hermetia illucens*.

■ **Материалы и методы**

Личинки были выращены в условиях физиологического двора ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста на зерновых отходах. Мука (СП – 58,6%, лизин – 1,30%) и жир (ЖК – 99,9%, лауриновая кислота – не менее 59,8%) были получены в отделе кормления сельскохозяйственных животных путем прямого отжима жира из сухих личинок.

Исследования проведены в условиях физиологического двора ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста в 2024

Таблица 1. Схема проведения исследований в условиях физиологического двора ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста

Группа	Голов	Характеристика кормления
Контрольная (С)	10	Свиной комбикорм (СК)
1-я опытная (Е1)	10	СК + 2,0%, 1,0%, 0,5% жира личинки черной львинки согласно периоду откорма
2-я опытная (Е2)	10	СК + 5,0%, 3,0%, 1,0% протеиновой муки из личинки черной львинки согласно периоду откорма

Таблица 2. Биохимические, клинические показатели крови подопытных животных в конце периода дорастивания (M±m; n=3)

Показатель	Группа			P-value
	контрольная (С)	1-я опытная (Е1)	2-я опытная (Е2)	
Общий белок, г/л	46,50±0,53	48,23±1,45	50,40±1,35*	0,14
Альбумин, г/л	23,23±0,73	24,10±0,45	27,60±1,21*	0,02
Глобулин, г/л	23,27±0,99	24,13±1,04	22,80±0,25	0,56
А/Г-соотношение	1,00±0,07	1,00±0,03	1,21±0,05†	0,05
Креатинин, мкмоль/л	91,88±3,20	91,54±3,23	90,54±5,03	0,97
Общий билирубин, мкмоль/л	0,64±0,08	0,91±0,09†	0,83±0,11	0,20
Мочевина, ммоль/л	4,34±0,30	3,82±0,33	3,86±0,92	0,80
Общий холестерин, ммоль/л	2,61±0,10	2,23±0,10*	3,02±0,31	0,08
АЛТ, МЕ/л	61,37±7,03	66,23±7,41	59,93±1,29	0,75
АСТ, МЕ/л	31,30±2,32	38,40±5,32	38,97±6,35	0,52
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	408,00±35,50	279,00±19,5*	290,00±46,29	0,08
Глюкоза, ммоль/л	6,47±0,45	6,80±0,43	5,44±0,19†	0,10
Триглицериды, ммоль/л	0,29±0,05	0,36±0,07	0,38±0,09	0,65
Кальций, ммоль/л	2,99±0,09	2,78±0,07	2,98±0,13	0,33
Фосфор, ммоль/л	3,12±0,27	3,08±0,13	3,10±0,10	0,99
Са/Р-соотношение	1,39±0,14	1,47±0,08	1,39±0,09	0,81
Магний, ммоль/л	0,83±0,07	0,81±0,08	0,91±0,09	0,66
Хлориды, ммоль/л	94,97±0,33	92,07±3,24	93,90±1,16	0,61
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	17,60±3,25	16,93±1,30	16,97±2,11	0,98
Эритроциты, 10 ¹² /л	6,67±0,18	6,30±0,22	7,12±0,09†	0,04
Гемоглобин, г/л	122,67±2,85	120,00±4,36	131,33±4,67	0,20
Гематокрит, %	31,17±1,39	30,27±0,97	33,90±1,03	0,14

Здесь и далее: * – достоверно к контролю при P<0,05, тенденция † – P<0,10.

году на поголовье свиней (*Sus scrofa domestica*) F2 (крупная белая х ландрас) х дюрок) по схеме, представленной в **таблице 1**.

В течение периода дорастивания и откорма животные группы Е1 и Е2 получали СК + 2,0% (СК-4), 1,0% (СК-5), 0,5% (СК-6) жира и СК + 5,0% (СК-4), 3,0% (СК-5), 1,0% (СК-6) муки из личинки *Hermetia illucens* согласно каждому периоду откорма. Рацион для животных был сбалансирован согласно установленным нормам [1]. В конце периода дорастивания и откорма (перед убоем) у животных были отобраны образцы крови из яремной вены (n=3). Были проведены исследования сыворотки и цельной крови.

Определение показателей биохимического статуса организма осуществлялось посредством автоматического биохимического анализатора Erba XL-640 (Erba Lachema, Чехия), клинических показателей крови – с

помощью гематологического анализатора MicroCC-20Plus (НТИ, США). В обоих случаях были использованы системные реагенты.

Математическую и статистическую обработку результатов проводили с применением программных пакетов Microsoft Office Excel 2003, STATISTICA 10 (Statistica 13RU, Stat Soft, США) с использованием методов описательной статистики, однофакторного дисперсионного анализа (MANOVA). Рассчитывали средние значения (M), стандартные ошибки средних (±SEM), t-критерий Стьюдента. Отличия являлись статистически достоверными при P<0,05, высокодостоверными – при P<0,01, P<0,001.

■ **Результаты исследований**

В **таблице 2** представлены биохимические и клинические показатели крови подопытных животных в конце периода дорастивания.

Анализ **таблицы 2** показывает, что использование в кормлении свиней в период доращивания жира из личинки черной львинки привело к изменениям липидного обмена в организме. Так, в группе Е1 наблюдалось снижение концентрации холестерина в сыворотке крови на 14,6% ($P<0,05$) при тенденции к увеличению общего билирубина ($P<0,10$).

Другие исследователи, напротив, отмечали увеличение уровня липидных фракций в крови при замене в рационе масел на жир личинок черной львинки, объясняя это тем, что содержание лауриновой кислоты в рационе приводило к усилению секреции аполипопротеина А1, это коррелировало с ростом концентрации липопротеидов высокой плотности [15].

Изменение в крови другого метаболита липидного обмена – триглицеридов, в наших исследованиях имело тенденцию к повышению их концентрации в крови при скармливании жира насекомых ($P=0,65$). Это согласуется с результатами, полученными при скармливании муки из черной львинки бройлерам взамен рыбной муки [2].

Включение дополнительного источника жира в рацион свиней привело к некоторым изменениям минерального обмена в период доращивания, что проявилось в снижении активности щелочной фосфатазы на 31,6% ($P<0,05$) у животных группы Е1. Этот вопрос требует более детального изучения, в том числе и в рамках применения различных субстратов для выращивания личинок. Например, использование сточных вод как субстрата для личинок при последующем их скармливании птице показало повышение некоторых метаболитов минерального обмена в крови [14].

Наиболее значительные изменения в период доращивания по сравнению с контрольной группой наблюдались при использовании в рационе протеиновой добавки из личинок черной львинки. В крови свиней группы Е2 отмечались изменения, связанные с азотистым обменом, которые проявились в повышении концентрации общего белка на 8,4% ($P<0,05$) за счет фракции альбуминов ($P<0,05$) при тенденции к росту А/Г-соотношения ($P<0,10$). Усиление белкового обмена в организме поросят, получавших протеиновую добавку, стимулировало расход глюкозы, что проявилось в снижении ее концен-

Таблица 3. Биохимические, клинические показатели крови подопытных животных в конце откорма ($M\pm m$; $n=3$)

Показатель	Группа			P-value
	контрольная (С)	опытная (Е1)	опытная (Е2)	
Общий белок, г/л	62,03±2,43	59,63±1,30	64,27±1,54	0,27
Альбумин, г/л	39,60±2,36	39,73±0,52	40,03±2,40	0,99
Глобулин, г/л	22,43±1,55	19,90±1,44	24,23±3,67	0,50
А/Г-соотношение	1,78±0,17	2,02±0,16	1,76±0,36	0,73
Креатинин, мкмоль/л	96,57±5,66	94,00±7,91	102,69±8,37	0,71
Общий билирубин, мкмоль/л	3,80±1,45	2,05±0,58	5,38±2,58	0,45
Мочевина, ммоль/л	5,12±0,62	3,99±0,58	4,18±0,50	0,38
Общий холестерин, ммоль/л	3,27±0,13	2,63±0,08*	3,11±0,08	0,01
АЛТ, МЕ/л	53,37±4,62	50,50±5,42	45,30±0,20	0,56
АСТ, МЕ/л	40,80±10,04	26,67±3,37	37,83±3,69	0,33
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	191,00±13,65	160,33±24,36	150,33±14,10	0,32
Глюкоза, ммоль/л	5,45±0,45	4,90±0,53	4,30±0,40	0,29
Триглицериды, ммоль/л	0,56±0,08	0,48±0,05	0,40±0,02	0,21
Кальций, ммоль/л	2,64±0,07	2,67±0,02	2,78±0,10	0,42
Фосфор, ммоль/л	2,88±0,04	3,04±0,01*	3,20±0,29	0,45
Са/Р-соотношение	1,45±0,02	1,51±0,02†	1,53±0,08	0,54
Магний, ммоль/л	1,45±0,00	1,34±0,02*	1,57±0,13	0,19
Железо, мкмоль/л	27,31±4,51	17,02±3,47	25,64±3,21	0,20
Хлориды, ммоль/л	101,57±1,30	102,57±0,52	101,30±1,56	0,75
Лейкоциты, 10^9 /л	8,17±1,53	9,03±1,23	10,53±1,22	0,49
Эритроциты, 10^{12} /л	7,61±0,40	7,35±0,03	7,68±0,18	0,64
Гемоглобин, г/л	156,00±12,77	153,00±2,89	153,67±6,12	0,97
Гематокрит, %	37,07±2,84	36,03±0,44	37,00±1,73	0,92

трации по сравнению с контролем на 15,5% ($P<0,05$). В крови поросят группы Е2 наблюдали тенденцию к росту уровня гемоглобина на 7,1% и эритроцитов ($P<0,10$).

Несколько иная картина изменения биохимических параметров крови при использовании в кормлении свиней различных продуктов из личинки *Hermetia illucens* наблюдалась в конце откорма (**табл. 3**). В этот период не отмечалось достоверных различий в биохимических и клинических показателях между группой контроля и Е2. Можно сделать вывод, что наиболее значимые изменения в организме свиней при применении протеиновой добавки наблюдались на этапе доращивания животных. Можно предположить, что в данный период организм животных в большей степени нуждается в протеине высокого качества и богатого аминокислотного состава. Поэтому скармливание этого протеинового продукта целесообразно в период доращивания животных.

Использование же жировой добавки (группа Е1) способствовало, как и в период доращивания, снижению уровня холестерина в заключительный период откорма на 19,6% ($P<0,05$), то есть оказало влияние на процесс липидного обмена в организме. При этом концентрация три-

глицеридов также имела тенденцию к снижению при скармливании животным жира из личинок черной львинки по сравнению с контролем ($P=0,21$). Наблюдались некоторые отличия в показателях минерального обмена – повышение концентрации фосфора ($P<0,05$) и кальций-фосфорного (Са/Р) соотношения ($P<0,10$), сокращение уровня магния ($P<0,05$).

Известно, что состав субстрата, на котором выращены насекомые, определяет химический состав получаемых из него продуктов [16]. Можно предположить, что более высокое содержание минеральных компонентов в жире и протеиновой муке из черной львинки способствовало и более высокому их содержанию в сыворотке крови поросят группы Е1 и Е2 соответственно.

Магний играет ключевую роль почти во всех основных биохимических и метаболических процессах в клетке, включая такие критические функции, как окислительное фосфорилирование, выработка энергии, хранение и передача, гликолиз и синтез белков и нуклеиновых кислот [4]. Учитывая повышенную антиоксидантную активность продуктов из черной львинки и биологическую роль магния, можно прогнозировать повышенный расход этого элемента в связи с нейтрализацией активных

форм кислорода, образующихся в результате жизнедеятельности клеток и тканей организма.

■ Заключение

Таким образом, продукты из личинки *Hermetia illucens* могут служить перспективными источниками питательных и биологически активных веществ, обогащая рацион

животных и способствуя повышению уровня азотистого, углеводно-липидного и минерального обмена в организме. Актуальными исследованиями являются изучение антиоксидантных свойств продуктов из личинки *Hermetia illucens*.

Накопленные данные по биохимическим и клиническим параметрам крови будут использованы при

формировании современных подходов к оценке физиологического статуса интенсивно растущих свиней при скормливании продуктов из личинки черной львинки.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда по проекту 24-16-00021

Литература

1. Р.В. Некрасов, А.В. Головин, Е.А. Махаев и др. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: Монография/Под. ред. Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева. М., 2018. 290 с.
2. Attivi K. Effect of fish meal replacement by black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on serum biochemical indices, thyroid hormone and zootechnical performance of laying chickens/ K. Attivi, K.G. Mlaga, K. Agboka, K. Tona, Y.A.E. Kouame, H. Lin. *Journal of Applied Poultry Research*, 2022. 31(3):100275. DOI: 10.1016/j.japr.2022.100275.
3. DiGiacomo K. Insect meal: A future source of protein feed for pigs?/ K. DiGiacomo, B.J. Leury. *Animal*, 2019. Vol. 13. P. 3022–3030. DOI: 10.1017/S1751731119001873.
4. Fiorentini D. Magnesium: Biochemistry, nutrition, detection, and social impact of diseases linked to its deficiency/D. Fiorentini, C. Cappadone, G. Farruggia, C. Prata. *Nutrients*, 2021. 13:1136. DOI: 10.3390/nu13041136.
5. Franco A. Lipids from *Hermetia illucens*, an innovative and sustainable source/A. Franco, C. Scieuzo, R. Salvia, A.M. Petrone, E. Tafi, A. Morretta, P. Falabella. *Sustainability*, 2021. 13:10198. DOI: 10.3390/su131810198.
6. Gasco L. Animals fed insect-based diets: State-of-the-art on digestibility, performance and product quality/L. Gasco, I. Biasato, S. Dabbou, A. Schiavone, F. Gai. *Animals*, 2019. 9:170. DOI: 10.3390/ani9040170.
7. Gasco L. Effect of dietary supplementation with insect fats on growth performance, digestive efficiency and health of rabbits/L. Gasco, S. Dabbou, A. Trocino, G. Xiccato, M.T. Capucchio, I. Biasato, D. Dezzutto, M. Birollo, M. Meneguz, A. Schiavone, G.J. Francesco. *Anim. Sci. Biotechnol.*, 2019. 10:4. DOI: 10.1186/s40104-018-0309-2.
8. Huang W. Physicochemical, functional, and antioxidant properties of black soldier fly larvae protein/W. Huang, C. Wang, Q. Chen, F. Chen, H. Hu, J. Li, Q. He, X. Yu. *Journal of Food Science*, 2024. Vol. 89(1). P. 259–275. DOI: 10.1111/1750-3841.16846.
9. Li X. Growth and fatty acid composition of black soldier fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae are influenced by dietary fat sources and levels/X. Li, Y. Dong, Q. Sun, X. Tan, C. You, Y. Huang, M. Zhou. *Animals*, 2022. 12(4):486. DOI: 10.3390/ani12040486.
10. Lier I.S. Comparison of microwave and vacuum oven drying on the amino acid composition and antioxidant properties of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae/I.S. Lier, M.K. Ong, S.Y. Leong, C.Y. Teoh. *LWT*, 2024. 196:115870. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.115870.
11. Mannaa M. Insect-based agri-food waste valorization: Agricultural applications and roles of insect gut microbiota/M. Mannaa, A. Mansour, I. Park, D.W. Lee, Y.S. Seo. *Environ. Sci. Ecotechnol.*, 2023. 17:100287. DOI: 10.1016/j.ese.2023.100287.
12. Matsakidou A. Compositional, volatile, and structural features of *Hermetia illucens* (black soldier fly) flours: The effect of population and life stages/A. Matsakidou, S.I. Sarivasilou, M.A. Pissia, C.I. Rumbos, C.G. Athanassiou, A. Paraskevopoulou. *Future Foods*, 2024. 9:100320. DOI: 10.1016/j.fufo.2024.100320.
13. Nekrasov R.V. Effect of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) fat on health and productivity performance of dairy cows/R.V. Nekrasov, G.A. Ivanov, M.G. Chabaev, A.A. Zelenchenkova, N.V. Bogolyubova, D.A. Nikanova, A.A. Sermiyagin, S.O. Bibikov, S.O. Shapovalov. *Animals*, 2022. Vol. 12(16). P. 2118. DOI: 10.3390/ani12162118.
14. Seyedalmoosavi M.M. Nutrient uptake, growth performance, blood metabolites and bone properties in broilers consuming feed with mineral-enriched whole black soldier fly larvae/M.M. Seyedalmoosavi, G. Daş, M. Mielenz, S. Maak, P. Wolf, C.C. Metges. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2024, Vol. 1. P. 1–13.
15. Shokrollahi B. Effects of dietary medium-chain fatty acids on performance, carcass characteristics, and some serum parameters of broiler chickens/B. Shokrollahi, Z. Yavari, A.H. Kordestani. *Br. Poult. Sci.*, 2014. Vol. 55. P. 662–667.
16. Siddiqui S.A. Manipulation of the black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*; Diptera: Stratiomyidae) fatty acid profile through the substrate/S.A. Siddiqui, E.R. Snoeck, A. Tello, M.C. Alles, I. Fernando, Y.R. Saraswati, T. Rahayu, R. Grover, M. Ullah, B. Ristow, A.A. Nagdalian. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2022. Vol. 8(8). P. 837–855. DOI: 10.3920/JIFF2021.0162.
17. Sorjonen J.M. The plant-based by-product diets for the mass-rearing of *Acheta domesticus* and *Gryllus bimaculatus*/J.M. Sorjonen, A. Valtonen, E. Hirvisalo, M. Karhapää, V.J. Lehtovaara, J. Lindgren, P. Marnila, P. Mooney, M. Mäki, H. Siljander-Rasi, M. Tappio, M. Tuiskula-Haavisto, H. Roininen. *PLoS ONE*, 2019. 14:e0218830. DOI: 10.1371/journal.pone.0218830.
18. Sukmak R. Uncovering nutrients and energy related gene functions of black soldier fly *Hermetia illucens* strain KUP/R. Sukmak, C. Suttinun, U. Kovitvadhi, A. Kovitvadhi, W. Vongsangnak. *Gene*, 2024. 896:148045. DOI: 10.1016/j.gene.2023.148045.
19. Van Huis A. Prospects of insects as food and feed/A. Van Huis. *Org. Agric*, 2021. Vol. 11(287). P. 301–308. DOI: 10.1007/s13165-020-00290-7. ☼