

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ В СУБСТРАТАХ, СОДЕРЖАЩИХ АНТИБИОТИКИ

✉ Мечтаева Е.В., Громоздова К., Дзюбенко В.В., Кулишова К.Е.,
Сорокоумов П.Н., Рябухин Д.С., Журавлева А.З., Ситнов В.Ю.

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук
Санкт-Петербург, Россия

✉ e-mail: mechtaeva.lisa@gmail.com

Использование антибиотиков в сельском хозяйстве для лечения и профилактики инфекционных заболеваний, а также для стимуляции роста приводит к тому, что антибиотики накапливаются в тканях и отходах животных. Дальнейшее использование таких отходов животноводства вызывает рост количества бактерий, обладающих антибиотикорезистентностью. Одним из перспективных способов переработки навоза, приводящего к снижению концентрации антибиотиков и получению полезной биомассы из органических отходов, может стать биоконверсия с помощью насекомых, в частности черной львинки (*Hermetia illucens*) (двукрылые: львинки). Важно знать, как наличие антибиотиков в кормовом субстрате влияет на насекомых и их характеристики, необходимые для их дальнейшего использования. Изучено влияние добавления антибиотиков цефтриаксона, колифлокса, левофлоксацина и их смесей в кормовые субстраты на рост личинок черной львинки. При содержании цефтриаксона, колифлокса и левофлоксацина в концентрации 1–100 мг/кг корма отмечено увеличение средней массы личинок по сравнению с контрольной группой после 5 дней культивирования. При концентрации антибиотиков 500–1000 мг/кг данный эффект компенсируется, предположительно, негативным воздействием антибиотика на микробиоту пищеварительной системы насекомых. При концентрации антибиотиков 2000 мг/кг корма рост личинок *Hermetia illucens* замедляется. Влияния антибиотиков на жирнокислотный состав, влажность и зольность насекомых не обнаружено. Результаты показывают, что использование черной львинки для переработки отходов животноводства возможно, однако следует учитывать вероятное негативное влияние на рост насекомых при больших концентрациях антибиотика.

Ключевые слова: черная львинка, антибиотик, переработка отходов животноводства, цефтриаксон, колифлокс, левофлоксацин

CULTIVATION OF BLACK SOLDIER FLY LARVAE IN SUBSTRATES CONTAINING ANTIBIOTICS

✉ Mechtaeva E.V., Gromozdova K., Dzyubenko V.V., Kulishova K.E.,
Sorokoumov P.N., Ryabukhin D.S., Zhuravleva A.Z., Sitnov V.Yu.

All-Russian Research Institute for Food Additives – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences
Saint Petersburg, Russia

✉ e-mail: mechtaeva.lisa@gmail.com

The use of antibiotics in agriculture to treat and prevent infectious diseases and to stimulate growth results in antibiotics accumulating in animal tissues and wastes. Further utilization of such animal waste causes an increase in antibiotic-resistant bacteria. One of the promising ways of manure processing leading to reduction of antibiotic concentrations and obtaining useful biomass from organic waste may be bioconversion with the help of insects, particularly black soldier flies (*Hermetia illucens*) (Diptera: Stratiomyidae). It is important to know how the presence of antibiotics in the feeding substrate affects the insects and their characteristics for further utilization. The effect of adding the antibiotics ceftriaxone, coliflox, levofloxacin and their mixtures to feed substrates on the growth of black soldier fly larvae was studied. When ceftriaxone, coliflox and levofloxacin were given at a concentration of 1–100 mg/kg feed, an increase in mean larval weight was observed compared to the control group after 5 days of culturing. At antibiotic concentrations of 500–1000 mg/kg, this effect was

compensated, presumably by the negative effect of the antibiotic on the microbiota of the insect digestive system. At antibiotic concentrations of 2000 mg/kg feed, growth of *Hermetia illucens* larvae was retarded. No effect of antibiotics on fatty acid composition, moisture and ash content of insects was found. The results indicate that the use of black soldier fly for the treatment of animal waste is feasible, but the likely negative effect on insect growth at high antibiotic concentrations should be considered.

Keywords: black soldier fly, antibiotic, manure composting, ceftriaxone, coliflox, levofloxacin

Для цитирования: Мечтаева Е.В., Громоздова К., Дзюбенко В.В., Кулишова К.Е., Сорокоумов П.Н., Рябухин Д.С., Журавлева А.З., Ситнов В.Ю. Культивирование личинок черной львинки в субстратах, содержащих антибиотики // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 10. С. 76–84. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-10-9>

For citation: Mechtaeva E.V., Gromozdova K., Dzyubenko V.V., Kulishova K.E., Sorokoumov P.N., Ryabukhin D.S., Zhuravleva A.Z., Sitnov V. Yu. Cultivation of black soldier fly larvae in substrates containing antibiotics. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 10, pp. 76–84. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-10-9>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность. Работа выполнена на средства, выделенные в рамках государственного задания № FGUS-2022-0017 и № FGUS-2022-0018.

Acknowledgements. The work was performed using the funds allocated under the state assignment No. FGUS-2022-0017 and No. FGUS-2022-0018.

ВВЕДЕНИЕ

Антибиотики используют в сельском хозяйстве для лечения животных, профилактики инфекционных заболеваний и стимуляции роста [1]. До 90% некоторых из них выводятся из организмов животных, не подвергаясь метаболизму, и в результате накапливаются в отходах [2]. Концентрации остаточных антибиотиков в навозе сельскохозяйственных животных могут варьироваться в широком диапазоне (0–115,5 мг/кг) [3]. Использование таких отходов животноводства в качестве удобрения приводит к загрязнению почвы и распространению устойчивости к антибиотикам у почвенных бактерий [4]. Из почвы антибиотики могут попадать в поверхностные и грунтовые воды, а также поглощаться растениями [2]. Таким образом, использование их в сельском хозяйстве приводит к росту количества бактерий, обладающих антибиотикорезистентностью [5].

Для снижения влияния ветеринарных антибиотиков на окружающую среду отходы животноводства необходимо перерабатывать перед применением или утилизацией. Пер-

спективным способом переработки отходов является биоконверсия с помощью насекомых, в частности личинок черной львинки (*Hermetia illucens*) (двукрылые: львинки) [6]. Личинки *Hermetia illucens* способны перерабатывать свиной, куриный и коровий навоз: за 18–26 дней они сокращали количество сухой массы свиного навоза на 28,8–53,4%, куриного – на 31,8–61,7, коровьего – на 34,6–57,8%¹. Авторы [6] показали, что выращивание личинок черной львинки на таких субстратах, как куриный помет, отработанное зерно и кухонные отходы, влияет на состав насекомых, однако высокое содержание белка (41% при выращивании на курином помете), кальция (3,2 г на 1 кг сухого веса личинки) и витаминов сохраняется. В работе [7] показано, что черная львинка способна перерабатывать антибиотик окситетрациклин. Причем эффективность переработки его в субстрате с личинками существенно выше, чем без них.

При рассмотрении биоконверсии отходов, содержащих антибиотики, с помощью насекомых необходимо изучить влияние данных препаратов на самих насекомых, чтобы показать возможность переработки остаточных

¹Zhou F., Tomberlin J. K., Zheng L., Yu Z., Zhang J. Developmental and Waste Reduction Plasticity of Three Black Soldier Fly Strains (Diptera: Stratiomyidae) Raised on Different Livestock Manures // *Journal of Medical Entomology*. 2013. Vol. 50 (6). P. 1224–1230. DOI: 10.1603/ME13021.

антибиотиков с помощью черной львинки с сохранением при этом ее жизнеспособности и скорости роста. Для данного исследования выбраны три антибиотика: цефтриаксон, колифлоркс и левофлоксацин. Колифлоркс и левофлоксацин являются ветеринарными препаратами и могут содержаться в навозе крупного рогатого скота, свиней и птицы. Цефтриаксон в основном используют для лечения человека, при этом он в большом количестве выводится из организма неметаболизированным [8].

Цель работы – изучить влияние антибиотиков на личинок черной львинки.

В задачи работы входило исследование влияния антибиотиков цефтриаксон, колифлоркс и левофлоксацин на рост, жирнокислотный состав, влажность и зольность личинок *Hermetia illucens*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Личинки для исследования взяты из точной колонии насекомого черная львинка, содержащейся в инсектарии Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок (Санкт-Петербург). До эксперимента личинок выращивали при температуре 25 ± 2 °C и относительной влажности воздуха $50 \pm 10\%$ на курином комбикорме ПК 1-3-58292/503 (ГОСТ 51851–2001, комбикормовый завод, г. Киров).

В светонепроницаемые емкости объемом 200 мл помещали 25 г сухого куриного комбикорма и 50 мл водного раствора цефтриаксона (добиваясь такой концентрации, чтобы содержание антибиотика в субстрате составляло 0,1; 1; 10; 500; 1000 мг/кг корма); колифлоркса (с концентрациями 100, 1000, 2000 мг/кг корма); левофлоксацина (с концентрациями 100, 1000, 2000 мг/кг корма); цефтриаксона и колифлоркса, мг/кг: 100 + 100; 100 + 1000; 1000 + 100 соответственно; цефтриаксона и левофлоксацина, мг/кг: 100 + 100; 100 + 1000; 1000 + 100; 1000 + 1000 соответственно, или 50 мл деионизованной воды (контрольная группа).

В каждый контейнер помещали по 50–100 личинок в возрасте 12–14 дней. Затем все

контейнеры закрывали марлевой тканью и помещали в термостат ТС-80М и выдерживали при температуре 29 °C в течение 5 дней. Каждые 1–2 дня контролировали прирост средней массы личинок в каждом исследованном субстрате путем взвешивания 10–20 особей на аналитических весах GR-200 (AND, Япония). Затем личинок возвращали в кормовой субстрат. В последний день исследования всех личинок пересчитывали, взвешивали, промывали дистиллированной водой, высушивали на воздухе и замораживали при температуре –80 °C в морозильной камере ULT Premium U410 (Eppendorf, Германия). Для каждой концентрации антибиотика или смеси антибиотиков проводили по три параллельных эксперимента.

Жирнокислотный состав высушенных образцов (сушку осуществляли в вакуумном сушильном шкафу (Vacuum Oven OV-12, JEIO TECH, Корея) при 40 °C) определяли методом газовой хроматографии на хроматографе Varian 450-GC с масс-спектрометрическим детектором Varian 240-MS (Varian, США), используя капиллярную колонку Varian WCOT fused silica 50M X 0.25MM ID Coating CP-WAX 58 (FFAP)-CB DF = 0.2 (Varian, США) и стандарты метиловых эфиров жирных кислот (CRM18918 F.A.M.E. Mix, C8-C24, США).

Для определения влажности навески образцов насекомых помещали на предварительно взвешенные стеклянные чашки Петри и высушивали в конвекционном сушильном шкафу (UF110plus Memmert, Германия) при 105 °C до постоянной массы. Влажность рассчитывали следующим образом: влажность = $\frac{m_{\text{образца до сушки}} - m_{\text{образца после сушки}}}{m_{\text{образца до сушки}}} \times 100\%$.

Зольность личинок оценивали путем взвешивания образцов высушенных личинок до и после сжигания в муфельной печи (SNOI 8,2/1100, Литва) в предварительно прокаленном до постоянной массы тигле. Выбран следующий режим прокаливания образцов насекомых: 60 мин при 250 °C + 6 ч при 550 °C. Расчет проводили по следующему уравнению: зольность = $\frac{m_{\text{образца после сжигания}}}{m_{\text{образца до сжигания}}} \times 100\%$.

Исследования влажности и зольности проводили для образцов насекомых из двух параллельных экспериментов, затем для каждой концентрации антибиотика рассчитывали среднее значение и доверительный интервал с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования влияния цефтриаксона на рост личинок черной львинки показали, что антибиотик в наименьшей концентрации (0,1 мг/кг) не оказывает влияния на среднюю массу одной личинки (см. рис. 1). При концентрации 1 и 10 мг/кг отмечено небольшое увеличение массы личинок. Ускорение набора массы насекомыми при добавлении антибиотика может быть вызвано подавлением неблагоприятной микрофлоры [9]. При относительно высоком содержании цефтриаксона (500 и 1000 мг/кг) увеличение средней массы насекомых по сравнению с контрольными группами отмечено в первые 2 дня эксперимента, однако в дальнейшем рост замедлялся. В конце эксперимента личинки имели массу, приблизительно равную массе насекомых в контрольной группе. Об-

щее для всех групп личинок замедление прироста биомассы, начиная с третьего дня эксперимента, связано с переходом насекомых в стадию предкуколки [10]. В дополнительном эксперименте показано, что добавление в кормовой субстрат черной львинки цефтриаксона в концентрации до 100 мг/кг не оказывает влияния на выживаемость насекомых (данные не представлены).

Влияние добавления антибиотиков в корм на состав насекомых на данный момент мало изучено. В нашей работе показано, что жирнокислотный состав личинок черной львинки не зависел от содержания цефтриаксона в субстрате при культивировании в течение 5 дней (см. табл. 1). Содержание жирных кислот в табл. 1 указано в процентах от общего количества жира, экстрагированного из личинки в ходе анализа. В дальнейшем следует провести исследования, в которых личинки будут подвергаться воздействию антибиотика в течение более длительного времени.

Представлены результаты исследования изменения массы личинки в ходе культивирования в субстратах, содержащих колифлоркс (см. рис. 2, а) и левофлоксацин (см. рис. 2, б). Аналогично результатам эксперимента с цефтриаксоном при концентрации антибиотиков 100 мг/кг отмечено небольшое увеличение средней массы одной личинки, при концентрации 1000 мг/кг – значения схожи с контрольным опытом, в котором корм не содержал антибиотиков, при концентрации 2000 мг/кг корма наблюдали снижение средней массы насекомого. Похожая зависимость отмечена для другого антибиотика: гентамицин в концентрации 4, 40, 400 мкг/мл не оказывал влияния на массу личинок *Phaenicia sericata*, однако при концентрации антибиотика 4000 мкг/мл масса личинок существенно снижалась².

Замедление роста насекомых при высоких концентрациях антибиотика в субстрате связано, вероятно, с подавлением микрофлоры желудочно-кишечного тракта насекомых, а также микрофлоры субстрата [7]. В под-

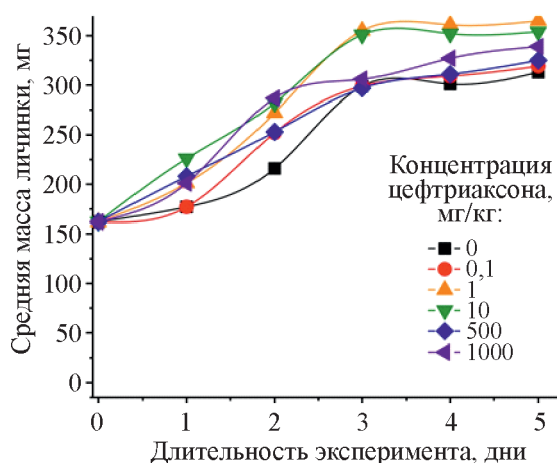


Рис. 1. Изменение средней массы одной личинки, культивируемой в корме, содержащем различные концентрации цефтриаксона

Fig. 1. Change in the average weight of one larva cultured in feed containing different concentrations of ceftriaxone

²Sherman R.A., Wyle F.A., Thrupp L. Effects of Seven Antibiotics on the Growth and Development of *Phaenicia sericata* (Diptera: Calliphoridae) Larvae // Journal of Medical Entomology. 1995. Vol. 32 (5). P. 646–649. DOI: 10.1093/jmedent/32.5.646.

Табл. 1. Жирнокислотный состав личинок черной львинки после кормления в течение 5 дней субстратом, содержащем цефтриаксон

Table 1. Content of fatty acids in the black soldier fly larvae cultivated for 5 days in substrates containing ceftriaxone

Образец	Контроль	Содержание цефтриаксона, мг/кг				
		0,1	1	10	500	1000
C 5 : 0	1,3 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,5 ± 0,2	1,5 ± 0,2	0,4 ± 0,1	1,1 ± 0,2
C 6 : 2	3,7 ± 0,6	4,3 ± 0,6	3,8 ± 0,6	3,0 ± 0,5	1,5 ± 0,2	2,5 ± 0,4
C 8 : 0	6,6 ± 1,0	6,0 ± 0,9	2,2 ± 0,3	1,1 ± 0,2	3,5 ± 0,5	4,0 ± 0,6
C 9 : 0	1,5 ± 0,2	1,6 ± 0,2	1,7 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1
C 10 : 0	2,3 ± 0,3	2,3 ± 0,3	1,8 ± 0,3	2,2 ± 0,3	2,6 ± 0,4	3,0 ± 0,4
C 11 : 0	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0
C 11 : 1	0,5 ± 0,1	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,3 ± 0,0
C 14 : 1	2,9 ± 0,4	3,4 ± 0,5	1,6 ± 0,2	4,9 ± 0,7	3,9 ± 0,6	4,7 ± 0,7
C 15 : 0	4,7 ± 0,7	3,4 ± 0,5	4,7 ± 0,7	3,8 ± 0,6	4,7 ± 0,7	3,3 ± 0,5
C 16 : 1	7,4 ± 1,1	7,6 ± 1,1	5,4 ± 0,8	13,0 ± 1,9	3,8 ± 0,6	5,9 ± 0,9
C 16 : 2	3,0 ± 0,5	5,7 ± 0,9	4,9 ± 0,7	6,4 ± 1,0	7,4 ± 1,1	4,8 ± 0,7
C 17 : 0	8,6 ± 1,3	6,9 ± 1,0	12,2 ± 1,8	6,0 ± 0,9	8,4 ± 1,3	6,6 ± 1,0
C 17 : 1	4,7 ± 0,7	5,8 ± 0,9	10,2 ± 1,5	4,1 ± 0,6	4,2 ± 0,6	3,1 ± 0,5
C 18 : 1	2,2 ± 0,3	7,3 ± 1,1	0,6 ± 0,1	6,6 ± 1,0	4,6 ± 0,7	9,7 ± 1,5
C 18 : 2	7,0 ± 1,1	6,6 ± 1,0	5,1 ± 0,8	7,2 ± 1,1	3,4 ± 0,5	8,9 ± 1,3
C 18 : 3	12,3 ± 1,8	18,9 ± 2,8	12,3 ± 1,8	19,7 ± 3,0	19,5 ± 2,9	21,1 ± 3,2
C20 : 0	6,6 ± 1,0	6,0 ± 0,9	8,1 ± 1,2	4,6 ± 0,7	6,7 ± 1,0	5,1 ± 0,8
C 20 : 1	7,9 ± 1,2	1,9 ± 0,3	9,1 ± 1,4	4,8 ± 0,7	7,3 ± 1,1	4,8 ± 0,7
C 20 : 2	5,2 ± 0,8	1,9 ± 0,3	2,1 ± 0,3	3,0 ± 0,4	4,1 ± 0,6	1,4 ± 0,2
C 21:0	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,2
C 22:0	4,3 ± 0,6	3,1 ± 0,5	4,6 ± 0,7	2,9 ± 0,4	4,0 ± 0,6	3,3 ± 0,5
C 23 : 0	5,4 ± 0,8	2,9 ± 0,4	4,3 ± 0,7	2,8 ± 0,4	6,8 ± 1,0	2,8 ± 0,4
C 24 : 0	1,2 ± 0,2	1,9 ± 0,3	2,5 ± 0,4	1,0 ± 0,1	1,8 ± 0,3	2,5 ± 0,4
Σ SFA, %	43,1 ± 6,5	36,2 ± 5,4	44,9 ± 6,7	27,2 ± 4,1	40,2 ± 6,0	32,8 ± 4,9
Σ MUFA, %	25,6 ± 3,8	26,3 ± 3,9	27,0 ± 4,0	33,5 ± 5,0	23,9 ± 3,6	28,5 ± 4,3
Σ PUFA, %	31,2 ± 4,7	37,5 ± 5,6	28,2 ± 4,2	39,2 ± 5,9	35,9 ± 5,4	38,8 ± 5,8

Примечание. Суммарное количество: Σ SFA – насыщенных жирных кислот; Σ MUFA – мононенасыщенных жирных кислот; Σ PUFA – полиненасыщенных жирных кислот.

тверждение этому в ряде исследований показано, что предварительная стерилизация кормового субстрата приводит к замедлению роста насекомых. Например, в работе [12] отмечено уменьшение скорости роста личинок черной львинки при стерилизации субстрата электронным пучком. Кроме этого, авторы [13] показали, что стерилизация корма привела к уменьшению массы и размера личинок шелкопряда *Bombyx mori*.

В отходах животноводства могут содержаться смеси антибиотиков с различными механизмами действия, поэтому рассмотрено влияние данной смеси на рост личинок

Hermetia illucens. В ходе экспериментов получены закономерности, аналогичные описанным выше (см. рис. 3, а). Однако следует отметить, что левофлоксацин и цефтриаксон по отдельности (см. рис. 1 и 2, б) и их смесь с концентрацией 1000 мг/кг каждого не оказали влияния на среднюю массу одной личинки после 5 дней кормления (см. рис. 3, б). В работе [14] показана другая зависимость: смесь цефтриаксона и левофлоксацина замедляла рост личинок *Calliphora vomitoria*, тогда как по отдельности антибиотики в таких же концентрациях не оказывали влияния. Кроме этого, левофлоксацин с концентрацией

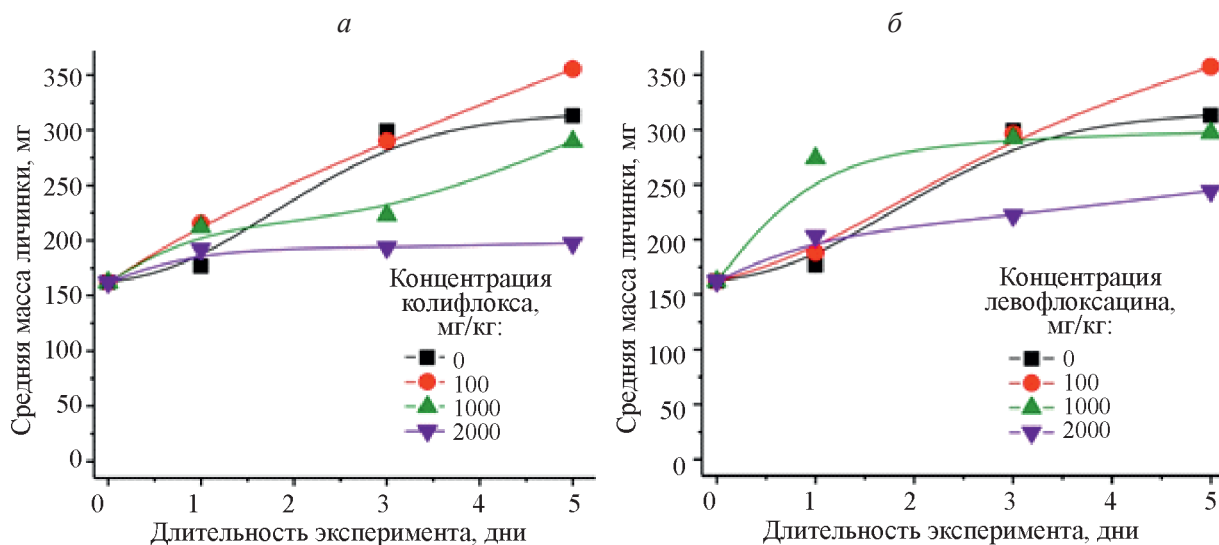


Рис. 2. Изменение средней массы одной личинки, культивируемой в корме, содержащем различные концентрации колифлокса (а) и левофлоксацина (б).

Fig. 2. Changes of the average weight of one larva cultivated in substrates containing various concentrations of coliflox (а) and levofloxacin (б)

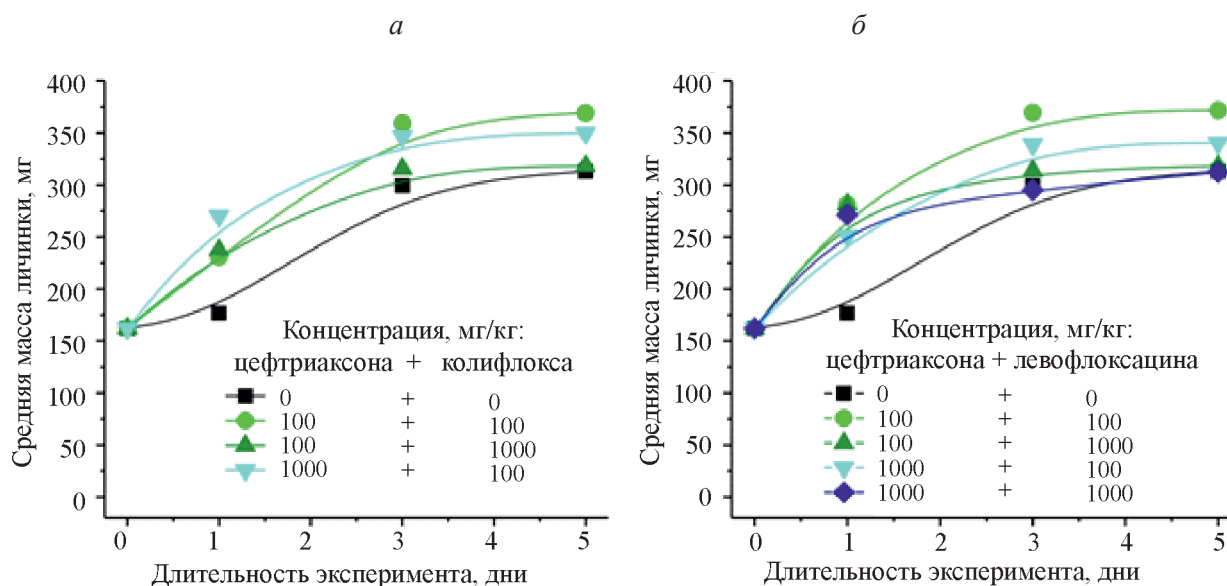


Рис. 3. Изменение средней массы одной личинки, культивируемой в корме, содержащем смеси антибиотиков:

а – колифлокс с цефтриаксоном; б – левофлоксацин с цефтриаксоном

Fig. 3. Changes of the average weight of one larva cultivated in substrates containing mixtures of antibiotics: а – coliflox and ceftriaxone; б – levofloxacin and ceftriaxone

2000 мг/кг корма способствовал снижению средней массы личинки, тогда как смесь левофлоксацин + цефтриаксон с концентрациями 1000 мг/кг каждого не влиял на массу личинок *Hermetia illucens*. Это подтверждает вывод о том, что воздействие антибиотиков на насекомых зависит как от вида насекомого, так и от типа антибиотика [11, 15].

Для образцов личинок, полученных в результате экспериментов с колифлоксом, левофлоксацином и их смесями с цефтриаксоном, определены влажность и зольность (см. табл. 2). Из таблицы видно, что добавление антибиотиков в кормовой субстрат не оказало влияния на эти параметры.

Табл. 2. Влажность и зольность личинок черной львинки после кормления в течение 5 дней субстратом, содержащим цефтриаксон, колифлокс и левофлоксацин

Table 2. Moisture and ash content of the black soldier fly larvae cultivated for 5 days in substrates containing ceftriaxone, coliflox and levofloxacin

Антибиотик	Контроль	Колифлокс			Левофлоксацин		
Концентрация, мг/кг	0	100	1000	2000	100	1000	2000
Влажность, %	69,6 ± 5,0	67,1 ± 0,8	67,7 ± 7,5	73,2 ± 2,7	66,4 ± 6,9	66,6 ± 13,4	68,7 ± 21,6
Зольность, %	14,0 ± 2,9	13,1 ± 0,6	13,9 ± 7,3	15,6 ± 14,1	11,5 ± 11,7	15,0 ± 2,3	15,5 ± 2,6
Антибиотик	Цефтриаксон + колифлокс			Цефтриаксон + левофлоксацин			
Концентрация цефтриаксона, мг/кг	100	100	1000	100	100	1000	1000
Концентрация ко- лифлокса или лево- флоксацина, мг/кг	100	1000	100	100	1000	100	1000
Влажность, %	67,0 ± 2,67	68,5 ± 9,5	66,5 ± 6,7	67,8 ± 1,7	66,8 ± 3,8	66,8 ± 2,5	68,0 ± 13,1
Зольность, %	14,3 ± 8,1	14,0 ± 8,3	15,1 ± 0,1	14,2 ± 5,2	15,4 ± 1,3	16,6 ± 9,4	13,9 ± 9,2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано влияние антибиотиков цефтриаксон, колифлокс и левофлоксацин, а также их смесей на рост личинок черной львинки. Кормление личинок в возрасте 12–14 дней осуществляли в течение 5 дней. Показано, что цефтриаксон с концентрацией 0,1 мг/кг корма не оказывал влияния на рост насекомых. При содержании цефтриаксона, колифлокса и левофлоксацина 1–100 мг/кг отмечено увеличение средней массы личинок по сравнению с контрольным опытом. При концентрациях антибиотиков 500–1000 мг/кг скорость роста насекомых сопоставима с ростом насекомых, в рационе которых отсутствуют антибиотики. Большее содержание колифлокса и левофлоксацина (2000 мг/кг) приводило к замедлению роста личинок. При наличии в кормовом субстрате смеси двух антибиотиков отмечена аналогичная концентрационная зависимость. Показана возможность переработки отходов животноводства, содержащих антибиотики цефтриаксон, колифлокс и левофлоксацин с концентрациями меньше 2000 мг/кг корма, с помощью личинок черной львинки с сохранением важных характеристик самих насекомых: массы, влажности, зольности и жирнокислотного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zalewska M., Blaziejewska A., Czapko A., Popowska M. Antibiotics and antibiotic resistance genes in animal manure – consequences of its application in agriculture // *Frontiers in Microbiology*. 2021. Vol. 12. P. 610656. DOI: 10.3389/fmicb.2021.610656.
2. Xu Y., Li H., Shi R., Lv J., Li B., Yang F., Zheng X., Xu J. Antibiotic resistance genes in different animal manures and their derived organic fertilizer // *Environmental Sciences Europe*. 2020. Vol. 32. P. 102. DOI: 10.1186/s12302-020-00381-y.
3. Oliver J.P., Gooch C.A., Lansing S., Schueler J., Hurst J.J., Sassoubre L., Crossette E.M., Aga D.S. Fate of antibiotic residues, antibiotic-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes in US dairy manure management systems // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. N 2. DOI: 10.3168/jds.2019-16778.
4. Manyi-Loh C., Mamphweli S., Meyer E., Okoh A. Antibiotic use in agriculture and its consequential resistance in environmental sources: potential public health implications // *Molecules*. 2018. Vol. 23. P. 795. DOI: 10.3390/molecules23040795.
5. Marutescu L.G., Jaga M., Postolache C., Barbuceanu F., Milita N.M., Romascu L.M., Schmitt H., de Roda Husman A.M., Sefeedpari P., Glaeser S., Kämpfer P., Boerlin P., Topp E., Gradisteanu Pircalabioru G., Chifiriuc M.C., Popa M. Insights into the impact of manure on the environmental antibiotic residues and resistance

- pool // *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. P. 965132. DOI:10.3389/fmicb.2022.965132.
6. Shumo M., Osuga I.M., Khamis F.M., Tang C.M., Fiaboe K.K.M., Subramanian S., Eke-si S., van Huis A., Borgemeister C. The nutritive value of black soldier fly larvae reared on common organic waste streams in Kenya // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. P. 10110. DOI: 10.1038/s41598-019-46603-z.
 7. Liu C., Yao H., Chapman S.J., Su J., Wang C. Changes in gut bacterial communities and the incidence of antibiotic resistance genes during degradation of antibiotics by black soldier fly larvae // *Environment International*. 2020. Vol. 142. P. 105834. DOI:10.1016/j.envint.2020.105834.
 8. Purkayastha D., Sarkar S. Performance evaluation of black soldier fly larvae fed on human faeces, food waste and their mixture // *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 326 (A). P. 116727. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116727.
 9. De Smet J., Wynants E., Cos P., Van Campenhout L. Microbial community dynamics during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and impact on exploitation potential // *Applied and Environmental Microbiology*. 2018. Vol. 84 (9). P. e02722-17. DOI: 10.1128/AEM.02722-17.
 10. Gligorescu A., Toft S., Hauggaard-Nielsen H., Axelsen J.A., Nielsen S.A. Development, growth and metabolic rate of *Hermetia illucens* larvae // *Journal of Applied Entomology*. 2019. Vol. 143 (8). P. 875–881. DOI: 10.1111/jen.12653.
 11. Li T., Zhang Q., Zhang X., Wan Q., Wang S., Zhang R., Zhang Z. Transcriptome and microbiome analyses of the mechanisms underlying antibiotic-mediated inhibition of larval development of the saprophagous insect *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 223. P. 112602. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112602.
 12. Gold M., Von Allmen F., Zurbrugg C., Zhang J., Mathys A. Identification of bacteria in two food waste black soldier fly larvae rearing residues // *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. P. 582867. DOI: 10.3389/fmicb.2020.582867.
 13. Li G., Xia X., Zhao S., Shi M., Liu F., Zhu Y. The physiological and toxicological effects of antibiotics on an interspecies insect model // *Chemosphere*. 2020. Vol. 248. P. 126019. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126019.
 14. Preußner D., Bröring U., Fischer T., Juretzek T. Effects of antibiotics ceftriaxone and levofloxacin on the growth of *Calliphora vomitoria* L. (Diptera: Calliphoridae) and effects on the determination of the post-mortem interval // *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2021. Vol. 81. P. 102207. DOI: 10.1016/j.jflm.2021.102207.
 15. Deng Y., Yang S., Zhao H., Luo J., Yang W., Hou C. Antibiotics-induced changes in intestinal bacteria result in the sensitivity of honey bee to virus // *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 314. P. 120278. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120278.

REFERENCES

1. Zalewska M., Błazejewska A., Czapko A., Popowska M. Antibiotics and antibiotic resistance genes in animal manure – consequences of its application in agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 2021, vol. 12, p. 610656. DOI: 10.3389/fmicb.2021.610656.
2. Xu Y., Li H., Shi R., Lv J., Li B., Yang F., Zheng X., Xu J. Antibiotic resistance genes in different animal manures and their derived organic fertilizer. *Environmental Sciences Europe*, 2020, vol. 32, p. 102. DOI:10.1186/s12302-020-00381-y.
3. Oliver J.P., Gooch C.A., Lansing S., Schueler J., Hurst J.J., Sassoubre L., Crossette E.M., Aga D.S. Fate of antibiotic residues, antibiotic-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes in US dairy manure management systems. *Journal of Dairy Science*, 2020, vol. 103, no. 2. DOI: 10.3168/jds.2019-16778.
4. Manyi-Loh C., Mamphweli S., Meyer E., Okoh A. Antibiotic use in agriculture and its consequential resistance in environmental sources: potential public health implications. *Molecules*, 2018, vol. 23, p. 795. DOI: 10.3390/molecules23040795.
5. Marutescu L.G., Jaga M., Postolache C., Barbuceanu F., Milita N.M., Romascu L.M., Schmitt H., de Roda Husman A.M., Sefeedpari P., Glaeser S., Kämpfer P., Boerlin P., Topp E., Gradisteanu Pircalabioru G., Chifiriuc M.C., Popa M. Insights into the impact of manure on the environmental antibiotic residues and resistance pool. *Frontiers in Microbiology*, 2022, vol. 13, p. 965132. DOI: 10.3389/fmicb.2022.965132.
6. Shumo M., Osuga I.M., Khamis F.M., Tang C.M., Fiaboe K.K.M., Subramanian S., Eke-si S., van Huis A., Borgemeister C. The nutritive value of black soldier fly larvae reared on com-

- mon organic waste streams in Kenya. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9, p. 10110. DOI: 10.1038/s41598-019-46603-z.
7. Liu C., Yao H., Chapman S.J., Su J., Wang C. Changes in gut bacterial communities and the incidence of antibiotic resistance genes during degradation of antibiotics by black soldier fly larvae. *Environment International*, 2020, vol. 142, p. 105834. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105834.
 8. Purkayastha D., Sarkar S. Performance evaluation of black soldier fly larvae fed on human faeces, food waste and their mixture. *Journal of Environmental Management*, 2023, vol. 326 (A), p. 116727. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116727.
 9. De Smet J., Wynants E., Cos P., Van Campenhout L. Microbial community dynamics during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and impact on exploitation potential. *Applied and Environmental Microbiology*, 2018, vol. 84 (9), p. e02722-17. DOI: 10.1128/AEM.02722-17.
 10. Gligorescu A., Toft S., Hauggaard-Nielsen H., Axelsen J.A., Nielsen S.A. Development, growth and metabolic rate of *Hermetia illucens* larvae. *Journal of Applied Entomology*, 2019, vol. 143 (8), pp. 875–881. DOI: 10.1111/jen.12653.
 11. Li T., Zhang Q., Zhang X., Wan Q., Wang S., Zhang R., Zhang Z. Transcriptome and microbiome analyses of the mechanisms underlying antibiotic-mediated inhibition of larval development of the saprophagous insect. *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, vol. 223, p. 112602. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112602.
 12. Gold M., von Allmen F., Zurbrugg C., Zhang J., Mathys A. Identification of bacteria in two food waste black soldier fly larvae rearing residues. *Frontiers in Microbiology*, 2020, vol. 11, p. 582867. DOI: 10.3389/fmicb.2020.582867.
 13. Li G., Xia X., Zhao S., Shi M., Liu F., Zhu Y. The physiological and toxicological effects of antibiotics on an interspecies insect model. *Chemosphere*, 2020, vol. 248, p. 126019. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126019.
 14. Preußner D., Bröring U., Fischer T., Juretzek T. Effects of antibiotics ceftriaxone and levofloxacin on the growth of *Calliphora vomitoria* L. (Diptera: Calliphoridae) and effects on the determination of the post-mortem interval. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 2021, vol. 81, p. 102207. DOI: 10.1016/j.jflm.2021.102207.
 15. Deng Y., Yang S., Zhao H., Luo J., Yang W., Hou C. Antibiotics-induced changes in intestinal bacteria result in the sensitivity of honey bee to virus. *Environmental Pollution*, 2022, vol. 314, p. 120278. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120278.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Мечтаева Е.В., младший научный сотрудник; адрес для переписки: Россия, 191014, Санкт-Петербург, Литейный проспект, 55; e-mail: mechtaeva.lisa@gmail.com

Громоздова К., студент

Дзюбенко В.В., лаборант

Кулишова К.Е., младший научный сотрудник

Сорокоумов П.Н., научный сотрудник

Рябухин Д.С., кандидат химических наук, заведующий лабораторией

Журавлева А.З., кандидат ветеринарных наук, заместитель директора по качеству

Ситнов В.Ю., директор

AUTHOR INFORMATION

✉ Elizaveta V. Mechtaeva, Junior Researcher; address: 55, Liteyny Avenue, Saint Petersburg, 191014, Russia; e-mail: mechtaeva.lisa@gmail.com

Karina Gromozdova, Student

Victoria V. Dzyubenko, Laboratory Assistant

Kseniya E. Kulishova, Junior Researcher

Pavel N. Sorokoumov, Researcher

Dmitry S. Ryabukhin, Candidate of Science in Chemistry, Laboratory Head

Aigul Z. Zhuravleva, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Deputy Director for Quality

Veniamin Yu. Sitnov, Director

Дата поступления статьи / Received by the editors 17.06.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 26.07.2023
Дата публикации / Published 20.11.2023