

УДК 595.772:631.95:636.087:638.4

## ВЛИЯНИЕ АНТИБИОТИКА ЦЕФТРИАКСОН НА РАЗВИТИЕ ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ (*Hermetia illucens*)

© 2024 г. Е. В. Мечтаева<sup>1</sup> \*, А. В. Зеров<sup>1</sup>, В. В. Дзюбенко<sup>1</sup>, П. Н. Сорокоумов<sup>1</sup>, О. В. Астафьева<sup>1</sup>,  
М. В. Новикова<sup>1</sup>, А. З. Журавлёва<sup>1</sup>, В. Ю. Ситнов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Санкт-Петербург, 191014 Россия

\*e-mail: mechtaeva.lisa@gmail.com

Поступила в редакцию 01.03.2024 г.

После доработки 30.04.2024 г.

Принята к публикации 06.05.2024 г.

При выращивании сельскохозяйственных животных активно используются антибиотики, которые могут оставаться в продуктах жизнедеятельности животных, мясе, молоке, попадать в почву и грунтовые воды. Съедобные насекомые способны эффективно перерабатывать сельскохозяйственные отходы, снижая концентрацию лекарственных препаратов. Кроме того, эти насекомые являются одним из потенциальных источников альтернативного кормового белка и обладают высокой питательной ценностью. Это делает актуальным вопрос об изучении способности насекомых перерабатывать отходы, содержащие антибактериальные препараты, с сохранением жизнеспособности. В данной работе исследовано влияние антибиотика цефтриаксон на насекомое черная львинка. Согласно полученным результатам, антибиотик в концентрации 0.1–100 мг/кг корма не оказывает влияния на массу, выживаемость, продуктивность, зольность, жирнокислотный и аминокислотный состав черной львинки. При максимальной концентрации антибиотика отмечено увеличение влажности личинок. Следовательно, черная львинка способна потреблять корма и перерабатывать отходы, содержащие 0.1–100 мг/кг цефтриаксона, сохраняя при этом жизнеспособность и основные характеристики, необходимые для ее дальнейшего использования.

**Ключевые слова:** черная львинка, *Hermetia illucens*, антибиотик, цефтриаксон

**DOI:** 10.56304/S0234275824030128

Повсеместное использование в животноводстве значительного количества антибиотиков на данный момент является необходимой мерой для предотвращения распространения инфекционных заболеваний среди сельскохозяйственных животных. Тем не менее, это приводит к ряду негативных последствий. Во-первых, антибиотики могут накапливаться в основных продуктах животноводства: мясе и молоке [1, 2]. Во-вторых, поскольку значительная часть (до 90%) антибактериальных препаратов выводятся из организма в неизменном виде [3], они накапливаются в экскрементах [4]. Дальнейшее использование такого навоза в качестве удобрений или простая утилизация без переработки приводят к попаданию антибиотиков в почву и грунтовые воды. Все это вызывает рост количества и разнообразия антибиотикорезистентных бактерий и снижает эффективность антибиотиков в борьбе с инфекционными заболеваниями.

Из этого следует, что для снижения негативного воздействия отходов животноводства, в том

числе некондиционных продуктов, на окружающую среду, перед дальнейшим применением или утилизацией их необходимо перерабатывать. Одним из перспективных способов переработки органических отходов является биоконверсия с помощью личинок насекомых, в частности черной львинки (*Hermetia illucens*) (Двукрылые: Львинки) [5]. Личинки этих насекомых используются в качестве кормовой добавки в птицеводстве, свиноводстве и аквакультуре [6]. Среди преимуществ этого насекомого: высокое содержание белка (порядка 40%) и жиров (около 30%, включая ненасыщенные жирные кислоты), простота выращивания [7–9]. В качестве корма для черной львинки можно использовать отходы растениеводства и животноводства, в том числе навоз, фекалии, кухонные отходы [8]. Личинки этих насекомых способны перерабатывать свиной, куриный и коровий навоз, сохраняя при этом жизнеспособность и высокое содержание белка, витаминов и кальция [5]. *H. illucens* снижает количество вредных бактерий и популяцию комнатных мух, которые могут

быть переносчиками болезней, в то время как мухи самой черной львинки не являются ни вредителями, ни переносчиками болезней [7, 8, 10]. Таким образом, черная львинка способна перерабатывать органические отходы в ценную биомассу [9].

На данный момент не так много публикаций, показывающих влияние индивидуальных веществ, в частности антибиотиков, на рост, развитие и состав насекомых. Большинство исследований посвящено изучению влияния антибиотиков группы тетрациклинов, сульфаниламидов и хинолонов, тогда как информация об антибиотиках цефалоспоринового ряда ограничена. Для исследования воздействия антибиотика на насекомых в данной работе был выбран цефтриаксон. Это антибиотик цефалоспоринового ряда третьего поколения [2]. Цефтриаксон на данный момент не используется в качестве добавки в корма для животных, что гарантирует его отсутствие в кормовом субстрате, используемом в данном исследовании, и позволяет точно контролировать концентрацию антибиотика. Цефтриаксон эффективен для лечения человека и различных сельскохозяйственных животных [2, 11–15], по этому направлению ведутся исследования, поэтому отходы животноводства могут содержать этот антибиотик и его метаболиты.

Таким образом, целью данной работы было исследование влияния антибиотика цефтриаксон в кормовом субстрате на рост, развитие и размножение насекомого черная львинка.

## УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

### *Насекомые*

Личинки черной львинки были взяты для исследований из маточных колоний насекомых, содержащихся в инсектарии Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок (Санкт-Петербург, Россия). До эксперимента насекомые выращивались при температуре  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $50 \pm 10\%$ . Черная львинка выращивалась на курином комбикорме ПК 1-3-58292/503 (ГОСТ 51851-2001, Комбикормовый завод Кирова, Россия). Состав корма: отруби пшеничные, пшеница, известковая мука, кукуруза, зернопродукт 1 кат., жмых подсолнечный, корм. зернопродукт 4 кат. (гран), дробина пивная, овес, меласса (патока), барда кормовая, ростки солодовые, ячмень, П1-2(0.5%)1, соль экстра с добавлением воды в соотношении 1 : 2 (масса корма : масса воды).

### *Приготовление корма, содержащего антибиотик*

Для получения корма с определенным содержанием антибиотика, непосредственно перед выдачей корма насекомым, готовили растворы цефтриаксона в воде с необходимой концентрацией и при перемешивании добавляли к куриному ком-

бикорму в соотношении 2 : 1. Для исследования выбраны следующие концентрации антибиотика: 0, 0,1, 1, 10 и 100 мг/кг сухой массы корма

### *Выращивание насекомых в субстратах с антибиотиком*

Для исследования влияния антибиотика цефтриаксон на рост, развитие и яйценоскость черной львинки был проведен эксперимент, включающий в себя два этапа.

На первом этапе личинок *H. illucens* возрастом 4–6 дней в количестве 100 шт. помещали в светонепроницаемые контейнеры объемом 200 мл, содержащие 25 г куриного комбикорма и 50 мл воды или раствора антибиотика, закрывали марлевой тканью (чтобы избежать побега насекомых) и культивировали в термостате при  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  и влажности порядка  $90 \pm 5\%$  в течение двух недель. Для каждой концентрации антибиотика проводилось по три параллельных эксперимента. После 7 дней эксперимента визуально корм был полностью съеден, поэтому в контейнеры добавляли еще 25 г куриного корма и 50 мл воды или раствора антибиотика. После первой недели эксперимента, личинок вынимали из субстрата, пересчитывали (для определения смертности) и взвешивали. Случайным образом отбирали 15 насекомых, которых замораживали при  $-20^\circ\text{C}$  для проведения дальнейших анализов, остальных личинок возвращали в контейнеры. По прошествии двух недель процедуру повторяли: личинок вынимали из субстрата, пересчитывали и взвешивали, для дальнейшего культивирования оставляли по 50 особей, добавляли им новую порцию корма, остальных личинок замораживали.

На втором этапе эксперимента личинок черной львинки, оставленных после первого этапа, культивировали еще 1 нед. в термостате при  $30^\circ\text{C}$  и влажности порядка 90%, затем контейнеры вынимали и выдерживали при температуре около  $30^\circ\text{C}$  и влажности порядка 50% в течение 1 нед. На этом этапе контейнеры открывали и наблюдали как личинки в стадии предкуколки покидают влажный кормовой субстрат и окукливаются. Затем отбирали по 40 куколок, полученных из личинок, питавшихся кормом с определенной концентрацией антибиотика, и помещали в прозрачные боксы из оргстекла, объемом  $15 \times 30 \times 30$  см, в которые также помещали поилки, контейнеры с кормом (приманка) и ловушками для яиц. Для каждой концентрации цефтриаксона проводили по 2 параллельных эксперимента. Эксперимент проводили в течение 6 недель, до момента пока в боксах не оставалось ни одной живой мухи. Количество откладываемых яиц оценивали каждые 1–3 дня взвешиванием.

*Влажность, зольность*

Образцы взвешивали, затем высушивали до постоянной массы в вакуумном сушильном шкафу Vacuum Oven OV-12 “JEIO TECH” (Корея) при 40°C. Влажность рассчитывали по следующей формуле (1):

$$\text{Влажность} = \frac{m_{\text{образца до сушки}} - m_{\text{образца после сушки}}}{m_{\text{образца до сушки}}} \times 100\%. \quad (1)$$

Для определения зольности, высушенные образцы сжигали в муфельной печи SNOX 8,2/1100 (Литва) с использованием следующего режима прокаливания: 60 мин при 250°C + 6 ч при 550°C. Зольность рассчитывали по следующей формуле (2):

$$\text{Зольность} = \frac{m_{\text{образца после сжигания}}}{m_{\text{образца до сжигания}}} \times 100\%. \quad (2)$$

После одной и двух недель культивирования личинок черной львинки определение влажности проводили для трех параллельных экспериментов, в случае определения зольности двух.

*Жирнокислотный состав*

Жирнокислотный состав определяли методом газовой хроматографии на хроматографе Varian 450-GC с масс-спектрометрическим детектором Varian 240-MS, “Varian” (США) и капиллярной колонкой Varian WCOT fused silica 50M X 0.25MM ID Coating CP-WAX 58 (FFAP)-CB DF = 0.2, Varian. Для анализа использовали стандарты метиловых эфиров жирных кислот CRM18918 F.A.M.E. Mix, C8-C24, (США). Пробоподготовку осуществляли следующим образом: образец массой 5–7 г высушивали в вакуумном сушильном шкафу Vacuum Oven OV-12 при 40°C до постоянной массы и измельчали, затем отбирали навеску массой 15 мг и добавляли 600 мкл 15%-ного раствора серной кислоты в метаноле и 600 мкл хлороформа; пробирку герметизировали и помещали в термостат на 1 ч при температуре 65°C; после этого пробу охлаждали, добавляли 200 мкл деионизованной воды и тщательно перемешивали; органический слой отбирали для анализа. Исследования проводили для личинок *H. illucens* после одной и двух недель культивирования из 3 параллельных экспериментов.

*Аминокислотный состав*

Аминокислотный состав определяли с помощью системы капиллярного электрофореза Капель-205 в соответствии с методикой для определения аминокислотного состава пищевой продукции М 04-94-2021 [16]. Пробоподготовку осуществляли следующим образом: образец массой 5–7 г вы-

сушивали в вакуумном сушильном шкафу Vacuum Oven OV-12 при 40°C до постоянной массы и измельчали. Навеску измельченного образца (100 ± 10 мг) вносили в вials для гидролиза, добавляли 10 мл раствора 6 М соляной кислоты. Гидролиз проводили при температуре 110°C в течение 16 ч, затем пробу фильтровали. Аликвоту 50 мкл гидролизата выпаривали и вносили 150 мкл 0.1 М раствора карбоната натрия и 300 мкл 1.6%-ного раствора фенилизотиоцианата. Выдерживали в закрытых бюксах 35 мин при комнатной температуре. Затем растворы высушивали досуха в струе теплого воздуха. Сухие остатки растворяли в 500 мкл дистиллированной воды перед анализом.

*Обработка результатов*

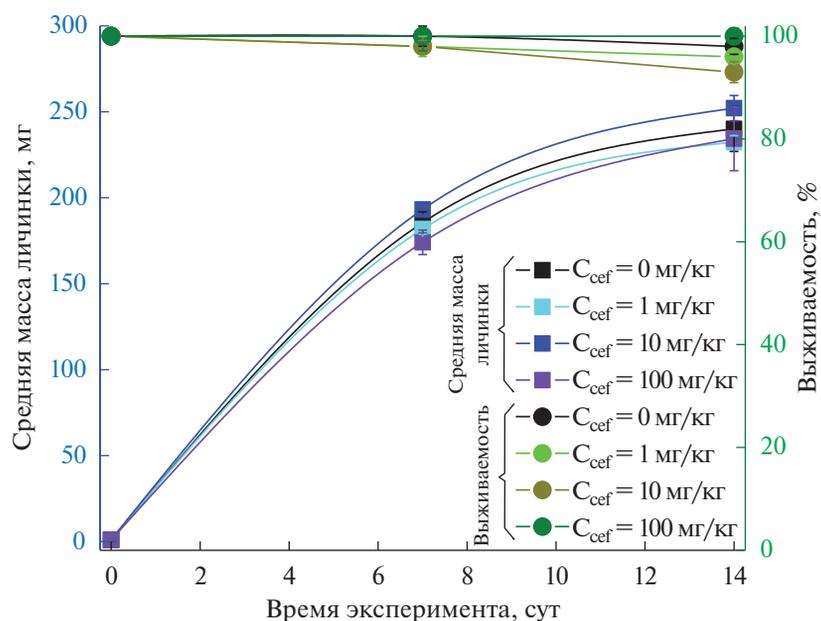
Для всех исследованных параметров, включая среднюю массу и выживаемость личинок, рассчитывали среднее значение и доверительный интервал ( $\alpha = 0.05$ ) с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2016. Статистическую значимость разницы между параметрами оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в программном обеспечении RStudio. Различия считались значимыми при  $p < 0.05$ . В этом случае также проводилось попарное сравнение разницы между средними значениями величин, полученными в каждом эксперименте, методом Тьюки (Tukey’s HSD). Результаты теста обозначены с помощью буквенных индексов (*a*, *b*) на графиках и в таблицах: если буква одинаковая – разница незначимая, если разные – значимая.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Личинки черной львинки способны перерабатывать органические отходы путем биоконверсии в питательные вещества (белки, жиры). Для эффективного использования насекомых в таком процессе, необходимо изучить влияние на них ветеринарных препаратов, которые могут содержаться в отходах.

Согласно результатам исследования изменения средней массы личинок *H. illucens* при добавлении цефтриаксона по сравнению с контрольной группой не отмечено ( $p > 0.05$ ) (рис. 1).

Уменьшение скорости набора массы между первой и второй неделями эксперимента связано с началом перехода личинок в стадию предкуколки [7]. Помимо профилактики и лечения инфекционных заболеваний, антибиотики используются в сельском хозяйстве для стимуляции роста животных [17]. Согласно литературным данным, на рост насекомых антибактериальные препараты чаще оказывают негативное влияние или оно отсутствует [18, 19]. Например, масса личинки *Zeugodacus tau* и время развития личинки и куколки не изменились при добавлении смеси анти-



**Рис. 1.** Выживаемость (зеленый) и средняя масса (синий) личинок черной львинки, культивируемых в корме, содержащем различные концентрации цефтриаксона ( $C_{cef}$ ) (в виде среднего арифметического с доверительными интервалами).

**Fig. 1.** Survival rate (green) and average weight (blue) of black soldier fly larvae reared in feed containing ceftriaxone with various concentrations ( $C_{cef}$ ) (as arithmetic mean with confidence intervals).

биотиков — ампициллин, стрептомицин и тетрациклин [20]. Добавление рифампицина в концентрации 0.003–0.3% в кормовой субстрат замедляет рост насекомого *Eusepeles postfasciatus* и уменьшает массу личинок [21]. Тем не менее, есть данные и о положительном влиянии антибиотика на рост личинок насекомого [22].

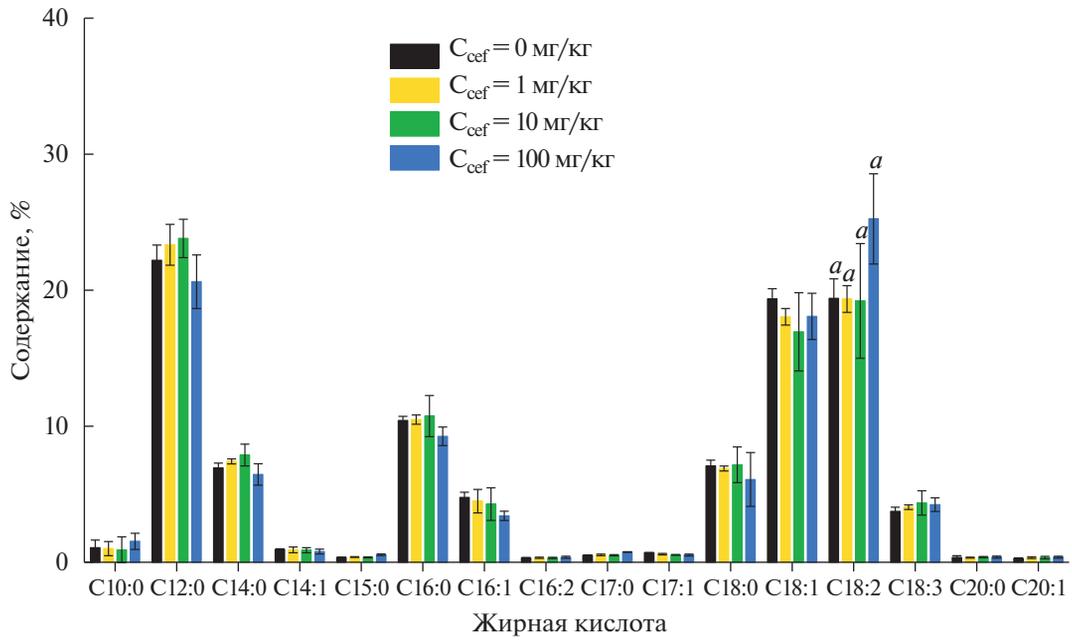
Согласно данным [23], антибиотики цефтриаксон и левофлоксацин в концентрациях 0.89–28.57 мг/кг способствуют увеличению выживаемости личинок *Calliphora vomitoria*. По мнению авторов, это может быть связано с подавлением неблагоприятной для насекомых микрофлоры. В данном исследовании зависимости между выживаемостью личинок *H. illucens* и концентрацией антибиотика не наблюдали ( $p > 0.05$ ) (рис. 1).

Антибиотик в кормовом субстрате в первую очередь оказывает влияние на микробное сообщество желудочно-кишечного тракта насекомых. Микробиота насекомых оказывает огромное влияние на их рост, размножение, конверсию корма [24]. Следовательно, антибактериальные препараты могут воздействовать и на пищевую ценность насекомых, которая играет ключевую роль для их дальнейшего применения в качестве белковой кормовой добавки. Тем не менее, данный вопрос рассматривается лишь в небольшом количестве публикаций. Например, потребление ципрофлоксацина и пиперациллина вызывало уменьшение содержания белка и жира в имаго *Anastrepha fratercu-*

*lus* и не влияло на содержание углеводов, количество гликогена при этом менялось по-разному для различных рационов питания [25]. Добавление в кормовой субстрат антибиотиков рокситромицин и триметоприм, а также пестицидов не влияло на содержание жира в личинках *H. illucens* [26]. Однако, в работе [27] показано, что стерилизация субстрата приводит к уменьшению количества белка в личинках черной львинки.

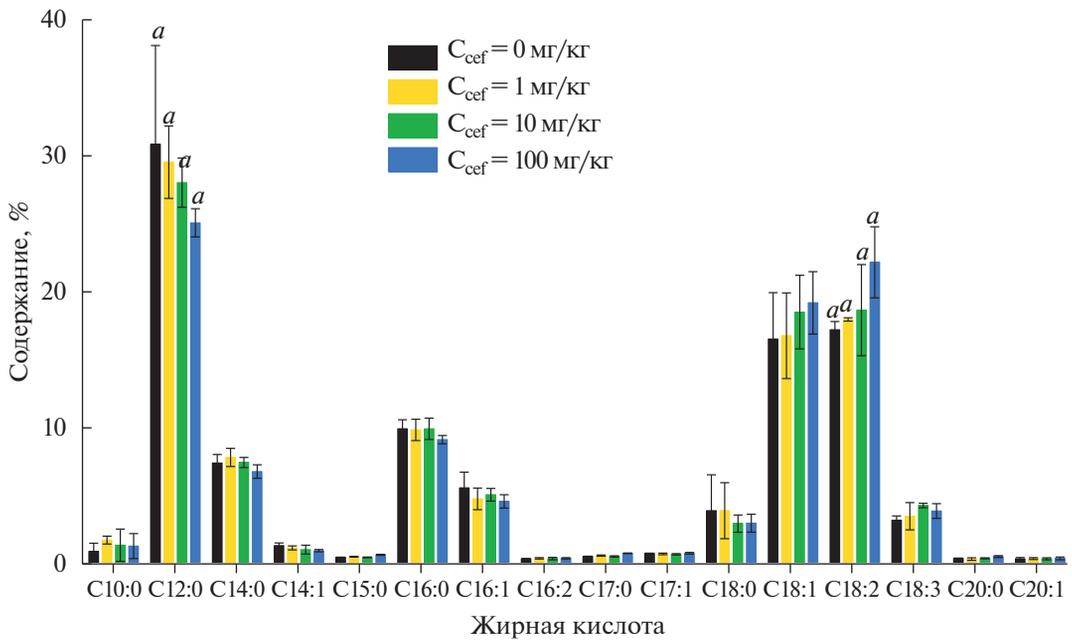
В данном исследовании рассматривали изменение жирнокислотного и аминокислотного состава личинок черной львинки под воздействием различных концентраций цефтриаксона. По полученным данным, согласно однофакторному дисперсионному анализу наблюдается значимое накопление линолевой кислоты (C18:2) при увеличении концентрации антибиотика (рис. 2 и 3).

Следует отметить, что после первой недели эксперимента изменения отмечены только для наибольшего содержания цефтриаксона — 100 мг/кг ( $p = 0.042$ ) (рис. 2), а после второй недели эксперимента — процентное содержание лауриновой кислоты (C12:0) уменьшалось ( $p = 0.046$ ), а линолевой (C18:2) — увеличивалось ( $p = 0.010$ ) с увеличением концентрации антибиотика в корме (рис. 3). Однако согласно методу Тюбки значимых различий нет. Разница между жирнокислотным составом личинок черной львинки после первой и второй недели культивирования (рис. 2 и 3) объясняется естественным изменением состава личинки в



**Рис. 2.** Жирнокислотный состав личинок черной львинки после одной недели культивирования в субстратах, содержащих различные концентрации цефтриаксона ( $C_{cef}$ ) (в виде среднего арифметического с доверительными интервалами).

**Fig. 2.** Fatty acid composition of black soldier fly larvae after one week of rearing in feed containing ceftriaxone with various concentrations ( $C_{cef}$ ) (as arithmetic mean with confidence intervals).



**Рис. 3.** Жирнокислотный состав личинок черной львинки после двух недель культивирования в субстратах, содержащих различные концентрации цефтриаксона ( $C_{cef}$ ) (в виде среднего арифметического с доверительными интервалами).

**Fig. 3.** Fatty acid composition of black soldier fly larvae after two weeks of rearing in feed containing ceftriaxone with various concentrations ( $C_{cef}$ ) (as arithmetic mean with confidence intervals).

**Таблица 1.** Аминокислотный состав личинок черной львинки, выращенных в субстратах с различным содержанием цефтриаксона ( $C_{cef}$ ) (в виде среднего арифметического с доверительными интервалами)**Table 1.** Amino acid profile of black soldier fly larvae reared in feed containing ceftriaxone with various concentrations ( $C_{cef}$ ) (as arithmetic mean with confidence intervals)

Аминокислота (АК)	Содержание АК через 1 неделю. %		Содержание АК через 2 недели. %	
	$C_{cef} = 0$ мг/кг	$C_{cef} = 100$ мг/кг	$C_{cef} = 0$ мг/кг	$C_{cef} = 100$ мг/кг
Arg	1.60 ± 0.40	1.70 ± 0.40	1.90 ± 0.40	1.60 ± 0.40
Lys	1.53 ± 0.28	1.63 ± 0.29	1.80 ± 0.30	1.90 ± 0.30
Tyr	1.22 ± 0.28	1.10 ± 0.25	1.50 ± 0.40	1.60 ± 0.40
Phe	1.10 ± 0.25	1.01 ± 0.23	1.10 ± 0.25	1.30 ± 0.30
His	0.60 ± 0.14	0.71 ± 0.16	0.65 ± 0.15	0.65 ± 0.15
Leu+Iso	3.00 ± 0.50	3.10 ± 0.60	3.70 ± 0.70	3.90 ± 0.70
Met	0.48 ± 0.11	0.52 ± 0.12	1.03 ± 0.24	0.68 ± 0.16
Val	1.62 ± 0.29	1.56 ± 0.28	1.90 ± 0.40	1.80 ± 0.30
Нур	Менее 0.05	Менее 0.05	Менее 0.05	Менее 0.05
Pro	1.8 ± 0.30	1.55 ± 0.28	1.80 ± 0.30	1.62 ± 0.29
Thr	1.17 ± 0.21	1.15 ± 0.21	1.31 ± 0.24	1.30 ± 0.23
Ser	1.36 ± 0.25	1.56 ± 0.28	1.53 ± 0.28	1.55 ± 0.28
Ala	2.50 ± 0.50	2.60 ± 0.50	2.50 ± 0.50	2.50 ± 0.40
Gly	1.53 ± 0.28	1.47 ± 0.27	1.64 ± 0.29	1.61 ± 0.29
Glu	3.40 ± 0.70	4.00 ± 0.80	3.30 ± 0.70	3.30 ± 0.70
Asp	2.00 ± 0.40	2.40 ± 0.50	2.70 ± 0.60	3.00 ± 0.60

ходе взросления [28]. Увеличение, количества лауриновой кислоты (C12:0) между 1 и 2 неделями эксперимента согласуется с данными авторов [28] указывающих на увеличение содержания лауриновой кислоты (C12:0) с ростом личинки черной львинки.

Аминокислотный состав личинок черной львинки при добавлении в кормовой субстрат цефтриаксона в концентрации 100 мг/кг ( $p > 0.05$ ) (табл. 1) не изменился.

Цефтриаксон в концентрации 0.1–100 мг/кг корма не влияет на зольность насекомых (табл. 2). Для влажности личинок черной львинки наблюдается другая закономерность: после первой недели эксперимента этот показатель образцов мало отличается (согласно однофакторному дисперсионному анализу  $p = 0.005$ , однако метод Тьюки показал отсутствие значимых различий). После двух недель кормления субстратом с антибиотиком с ростом концентрации цефтриаксона до 100 мг/кг влажность увеличивается ( $p = 0.000$ ).

В соответствии с полученными данными, цефтриаксон не влиял на яйценоскость черной львинки ( $p > 0.05$ ) (табл. 2). В литературе описаны примеры негативного влияния антибиотиков на этот параметр, например, добавление в корм ципрофлоксацина и пиперацилина уменьшало количество яиц, откладываемых самками *A. fraterculus* [25]. При этом, авторы отмечают, что влияние антибиотиков на яйценоскость насекомых может

отсутствовать, если кормовой субстрат содержит все необходимые для насекомого аминокислоты [25, 29].

Согласно представленным результатам, добавление цефтриаксона в кормовой субстрат в количестве 0.1–100 мг/кг не оказывает значительного влияния на черную львинку. Исключение составила влажность насекомых при наибольшей из исследованных концентраций антибиотика, что в совокупности с результатами о сохранении зольности и массы тела личинки, говорит о небольшом снижении пищевой ценности насекомого (суммы белков, жиров и углеводов на не высушенную биомассу насекомых). В ряде исследований указывается на то, что влияние антибиотика на насекомых может начинаться проявляться только при существенно более высоких концентрациях [30–32], зачастую превышающих концентрации, обычно детектируемые в сельскохозяйственных отходах: (0.0004–1420.8 мг/кг) [3, 33]. Например, при исследовании воздействия окситетрациклина на черную львинку [31, 32] показано, что антибиотик в количестве 100, 1000 и 2000 мг/кг корма не оказывает влияния на развитие личинок, однако при концентрациях 4563.44 и 9126.88 мг/кг личинки не росли (не потребляли кормовой субстрат).

Таким образом, согласно полученным данным, цефтриаксон в исследованных концентрациях (0.1–100 мг/кг корма) не влияет на массу,

**Таблица 2.** Влажность, зольность и количество яиц черной львинки, выращенной в субстратах с различным содержанием цефтриаксона ( $C_{cef}$ ) (в виде среднего арифметического с доверительными интервалами)  
**Table 2.** Moisture, ash content and amount of eggs of black soldier fly reared in feed containing ceftriaxone with various concentrations ( $C_{cef}$ ) (as arithmetic mean with confidence intervals)

$C_{cef}$ , мг/кг	Влажность личинки через 1 неделю. %	Зольность личинки через 1 неделю. %	Влажность личинки через 2 недели. %	Зольность личинки через 2 недели. %	$m$ яиц. мг
0	$69.6 \pm 1.8^a$	$14.0 \pm 0.3$	$59.9 \pm 1.2^a$	$12.8 \pm 1.3$	$110.8 \pm 20.4$
1	$69.1 \pm 1.1^a$	$14.9 \pm 0.3$	$59.6 \pm 2.0^a$	$11.0 \pm 0.6$	116.1
10	$69.1 \pm 0.5^a$	$13.6 \pm 0.7$	$60.0 \pm 1.6^a$	$11.5 \pm 3.0$	$131.6 \pm 98.2$
100	$71.6 \pm 0.8^a$	$15.2 \pm 0.1$	$65.8 \pm 0.9^b$	$13.5 \pm 0.9$	$166.6 \pm 152.9$

выживаемость, продуктивность, жирнокислотный и аминокислотный состав и зольность черной львинки. При наибольшей концентрации антибиотика (100 мг/кг) наблюдается увеличение влажности в личинках *H. illucens*. Увеличение влажности при сохранении массы и зольности говорит о небольшом снижении суммарной массы питательных веществ (белков, жиров, углеводов) на единицу массы насекомого. Это свидетельствует о небольшом снижении эффективности биоконверсии отходов в полезные вещества. Тем не менее, полученные результаты подтверждают, что *H. illucens* способна перерабатывать отходы, в состав которых входит цефтриаксон или его метаболиты, сохраняя при этом жизнеспособность, скорость роста и способность к размножению.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена на средства, выделенные в рамках Государственных заданий № FGUS-2024-0010 и № FGUS-2022-0018.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lakew A., Megersa N., Chandravanshi B.S. Trace level enrichment and clean-up of  $\beta$ -lactam antibiotic residues in edible chicken tissues and feathers by solid phase extraction for quantitative determination utilizing liquid chromatography. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, 2022, 36(3), 503–519. <https://doi.org/10.4314/bcse.v36i3.2>
2. Ismail M.M. Pharmacokinetics, urinary and mammary excretion of ceftriaxone in lactating goats. *J. Vet. Med. Ser. A.*, 2005, 52(7), 354–358. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.2005.00744.x>
3. Kim K.-R., Owens G., Kwon S.-I., So K.-H., Lee D.-B., Ok Y.S. Occurrence and Environmental Fate of Veterinary Antibiotics in the Terrestrial Environment. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2011, 214, 163–174. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0412-2>
4. Xie W.-Y., Shen Q., Zhao F.J. Antibiotics and antibiotic resistance from animal manures to soil: a review. *Eur. J. Soil Sci.*, 2017, 69(1), 181–195. <https://doi.org/10.1111/ejss.12494>
5. Zhou 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. *J. Med. Entomol.*, 2013, 50(6), 1224–1230. <https://doi.org/10.1603/ME13021>
6. Kieronczyk B., Rawski M., Mikołajczak Z., Homska N., Jankowski J., Ognik K., Jozefiak A., Mazurkiewicz J., Jozefiak D. Available for millions of years but discovered through the last decade: Insects as a source of nutrients and energy in animal diets. *Anim. Nutr.*, 2022, 11, 60–79. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.06.015>
7. Liu X., Chen X., Wang H., Yang Q., ur 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>
8. Wang Y.-S., Shelomi M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 2017, 6(10), 91. <https://doi.org/10.3390/foods6100091>
9. Iñaki G.-B.J., Antonio P.-C.G., Efrén D., Hiram M.-R., Daniela G.-I., Damián R.-J. Black soldier fly: prospect of the inclusion of insect-based ingredients in extruded foods. *Food Chem. Advances*, 2022, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100075>
10. Dong L., Ariëns R.M.C., America A.H.P., Paul A., Veldkamp T., Mes J.J., Wichers H.J., Govers C. *Clostridium perfringens* suppressing activity in black soldier fly protein preparations. *LWT – Food Sci. Technol.*, 2021, 149, 111806. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111806>
11. Lamb H.M., Ormrod D., Scott L.J., Figgitt D.P. Ceftriaxone. An update of its use in the management of community-acquired and nosocomial infections. *Drugs*,

- 2002, 62(7), 1041–1089.  
<https://doi.org/10.2165/00003495-200262070-00005>
12. Maradiya J.J., Goriya H.V., Bhavsar S.K., Patel U.D., Thaker A.M. Pharmacokinetics of ceftriaxone in calves. *Veterinarski arhiv*, 2010, 80(1), 1–9.
  13. Dardi M.S., Sharma S.K., Srivastava A.K. Pharmacokinetics and dosage regimen of ceftriaxone in *E. coli* lipopolysaccharide induced fever in buffalo calves. *J. Vet. Sci.*, 2005, 6(2), 147–150.
  14. Ringger N.C., Pearson E.G., Gronwall R., Kohlepp S.J. Pharmacokinetics of ceftriaxone in healthy horses. *Equine Veterinary Journal*. 1996, 28(6), 476–479.  
<https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1996.tb01620.x>
  15. Goudah A., Shin H.C., Shim J.H., Abd El-Aty A.M. Characterization of the relationship between serum and milk residue disposition of ceftriaxone in lactating ewes. *J. Vet. Pharmacol., Ther.* 2006, 29(4), 307–312.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2885.2006.00749.x>
  16. М 04-94-2021 “Пищевая продукция. Методика измерений массовой доли аминокислот методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза “Капель”. ООО “Люмекс-маркетинг”. 2022, 1–59. [https://www.lumex.ru/complete\\_solutions/22aru03\\_12\\_21.php](https://www.lumex.ru/complete_solutions/22aru03_12_21.php).
  17. Aust M.-O., Godlinski F., Travis G.R., Hao X., McAllister T.A., Leinweber P., Thiele-Bruhn S. Distribution of sulfamethazine, chlortetracycline and tylosin in manure and soil of Canadian feedlots after subtherapeutic use in cattle. *Environ. Pollut.*, 2008, 156, 1243–1251.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.03.011>
  18. Sherman R.A., Wyle F.A., Thrupp L. Effects of seven antibiotics on the growth and development of *Phaenicia sericata* (Diptera: Calliphoridae) larvae. *J. Med. Entomol.*, 1995, 32(5), 646–649.  
<https://doi.org/10.1093/jmedent/32.5.646>
  19. 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). *Ecotox. Environ. Safe.*, 2021, 223, 112602.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112602>
  20. Noman M.S., Shi G., Liu L.-J., Li Z.-H. The diversity of bacteria in different life stages and their impact on the development and reproduction of *Zeugodacus tau* (Diptera: Tephritidae). *Insect Sci.*, 2021, 28(2), 363–376.  
<https://doi.org/10.1111/1744-7917.12768>
  21. Kuriwada T., Hosokawa T., Kumano N., Shiromoto K., Haraguchi D., Fukatsu T. Biological Role of *Nardonella* Endosymbiont in Its Weevil Host. *PLoS One*, 2010, 5(10), e13101.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013101>
  22. Rahmathulla V.K., Nayak P. Effect of antibiotic administration on growth and development of silk gland in mulberry silkworm (*Bombyx mori* L.). *Mun Ent. Zool.*, 2017, 12(1), 41–49.
  23. 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. *J. Forensic Leg. Med.*, 2021, 81, 102207.  
<https://doi.org/10.1016/j.jflm.2021.102207>
  24. Jordan H.R., Tomberlin J.K. Microbial influence on reproduction, conversion, and growth of mass produced insects. *Current Opin. Sci.* 2021, 48, 57–63.  
<https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.10.001>
  25. Goane L., Salgueiro J., Pereyra P.M., Arce O.E.A., Ruiz M.J., Nussenbaum A.L., Segura D.F., Vera M.T. Antibiotic treatment reduces fecundity and nutrient content in females of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) in a diet dependent way. *J. Insect Physiol.*, 2022, 139, 104396.  
<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2022.104396>
  26. Lalander C., Senecal J., Calvo M.G., Ahrens L., Josefsson S., Wiberg K., Vinnerås B. Fate of pharmaceuticals and pesticides in fly larvae composting. *Sci. Total Environ.*, 2016, 565, 279–286.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.147>
  27. Gold M., von Allmen F., Zurbrugg C., Zhang J., Mathys A. Identification of bacteria in two food waste black soldier fly larvae rearing residues. *Front. Microbiol.*, 2020, 11, 582867.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.582867>
  28. Lozica L., Starčević K., Gavrilović A., Mašek T. The influence of feeding media enriched with different oils on the fatty acid composition of the Black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Veterinarski Arhiv*, 2022, 92(3), 291–300.  
<https://doi.org/10.24099/vet.arhiv.1307>
  29. Ben-Yosef M., Aharon Y., Jurkevitch E., Yuval B. Give us the tools and we will do the job: symbiotic bacteria affect olive fly fitness in a diet-dependent fashion. *Proc. Royal Soc. London. Series B, Biol. Sci.*, 2010, 277, 1545–1552.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2009.2102>
  30. Bagger A. J., Jensen J., Krogh P. H. Effects of the antibiotics oxytetracycline and tylosin on soil fauna. *Chemosphere*, 2000, 40, 751–757.  
[https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(99\)00449-x](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(99)00449-x)
  31. 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. *Environ. Int.*, 2020, 142, 105834.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105834>
  32. Liu C., Yao H., Wang C. Black soldier fly larvae can effectively degrade oxytetracycline bacterial residue by means of the gut bacterial community. *Front. Microbiol.*, 2021, 12, 663972.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.663972>
  33. Liguoro M.D., Cibir V., Capolongo F., Halling-Sørensen B., Montesissa C. Use of oxytetracycline and tylosin in intensive calf farming: evaluation of transfer to manure and soil. *Chemosphere*, 2003, 52(1), 203–212.  
[https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(03\)00284-4](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(03)00284-4)

## The Influence of Antibiotic Ceftriaxone on the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)

E. V. Mechtaeva<sup>a, #</sup>, A. V. Zerov<sup>a</sup>, V. V. Dzyubenko<sup>a</sup>, P. N. Sorokoumov<sup>a</sup>,  
O. V. Astafyeva<sup>a</sup>, M. V. Novikova<sup>a</sup>, A. Z. Zhuravleva<sup>a</sup>, and V. Yu. Sitnov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>All-Russian Research Institute for Food Additives – Branch of V.M. Gorbatov Federal  
Research Center for Food Systems of RAS, St. Petersburg, 191014 Russia

<sup>#</sup>e-mail: mechtaeva.lisa@gmail.com

**Abstract**—Antibiotics are intensively used when raising farm animals. As a result they accumulate in livestock waste, meat, milk, and can enter the soil and groundwater. Edible insects can effectively process agricultural waste reducing the concentration of drugs. In addition, such insects are one of the potential sources of alternative feed protein and have high nutritional value. Thus studying the ability of insects to process waste containing antibacterial drugs while maintaining viability is a topical issue. In this research, the effect of the antibiotic ceftriaxone on the black soldier fly was studied. According to the obtained results, the antibiotic at a concentration of 0.1–100 mg/kg of feed has no effect on the weight, survival rate, productivity, ash content, fatty acid and amino acid composition of the black soldier fly. At a highest concentration of the antibiotic, an increase in the moisture of the larvae is observed. Consequently, the black soldier fly is able to consume feed and process waste containing 0.1–100 mg/kg ceftriaxone, while maintaining viability and the basic characteristics necessary for its further use.

*Keywords:* black soldier fly, *Hermetia illucens*, antibiotic, ceftriaxone