

# Информация об авторах

**Харзинова Вероника Руслановна**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста» (Российская Федерация, 142132, Московская область, г. о. Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0002-8067-0404, e-mail: veronika0784@mail.ru

**Кошкина Ольга Андреевна**, аспирант, младший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста» (Российская Федерация, 142132, Московская область, г. о. Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0003-4830-6626, e-mail: olechka1808@list.ru

**Доцев Арсен Владимирович**, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста» (Российская Федерация, 142132, Московская область, г. о. Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0003-3418-2511, e-mail: asnd@mail.ru

**Зиновьева Наталья Анатольевна**, академик РАН, доктор биологических наук, профессор, директор ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. академика Л. К. Эрнста» (Российская Федерация, 142132, Московская область, г. о. Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), orcid.org/0000-0003-4017-6863, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru

## Author's Information

**Kharzinova Veronika Ruslanovna**, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk, Dubrovitsy village, 60), orcid.org/0000-0002-8067-0404, e-mail: veronika0784@mail.ru

**Koshkina Olga Andreevna**, graduate student, junior researcher at the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk, Dubrovitsy village, 60), orcid.org/0000-0003-4830-6626, e-mail: olechka1808@list.ru

**Dotsev Arsen Vladimirovich**, Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory, Leading Researcher of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk, Dubrovitsy village, 60), orcid.org/0000-0003-3418-2511, e-mail: asnd@mail.ru

**Zinovieva Natalya Anatolyevna**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsk, Dubrovitsy village, 60), orcid.org/0000-0003-4017-6863, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-32

## EFFECT OF ANTIPARASITIC VETERINARY DRUG ON SURVIVAL AND BIOMASS RATE OF HERMETIA ILLUCENS LARVAE

**K. G. Kuznetsova<sup>1</sup>, E. V. Mechtaeva<sup>1</sup>, A. Z. Zhuravleva<sup>1</sup>, A. D. Chernov<sup>2</sup>,  
G. P. Kotova<sup>1</sup>, V. Yu. Sitnov<sup>1</sup>, D. S. Ryabukhin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*All-Russia Research Institute for Food Additives – Branch named after V. M. Gorbatov,  
Russian Academy of Sciences  
Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Northwest Testing Laboratory, Federal State-Financed Institution  
«Federal Centre for Animal Health»  
Irkutsk, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: k.kuznetsova@fncps.ru

Received 13.09.2023

Submitted 27.10.2023

*The article was published as part of the research topics No. FGUS 2022-0017 and No. FGUS 2022-0018 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS*

## Summary

This article presents the results of the effect of the antiparasitic drug ivermectin on biomass growth and survival of Black Soldier Fly larvae. The obtained results indicate that Black Soldier Fly larvae are not able to metabolise ivermectin. However, low concentrations of ivermectin in the substrate have no effect on larval development and survival and can be acceptable for rearing larvae as feed.

## Abstract

**Introduction.** Manure treatment by Black Soldier Fly larvae (*Hermetia illucens*) is a perspective technology of waste utilization with protein production, which can be used for the feed additives industry. However, livestock products from agricultural animals can be contaminated by various antimicrobial and antiparasitic drugs. One of these drugs is ivermectin (IVM), which belongs to macrocyclic lactones and can be found in high concentrations in manure. The aim of this study was to investigate the effects of several concentrations of the antiparasitic drug IVM on biomass growth, Survival Rate (SR) and Bioconversion Efficiency Rate (BER) of the Black Soldier Fly (BSF) larvae. **Object.** The object of the study was BSF larvae. **Materials and methods.** The experiment was conducted at the All-Russian Research Institute of Food Additives. The larvae were raised on a substrate composed of wheat bran with an aqueous solution of IVM in the ratio of 1:2. C0-substrate with distilled water instead of the drug solution was used as a control sample. The studied concentrations of IVM: C1–0.1 mg/kg; C2–0.5 mg/kg C3–2.5 mg/kg; C4–10 mg/kg. The larvae were fed on experimental substrates with IVM for ten days. **Results and conclusions.** The concentration of IVM >2.5 mg/kg substrate was found to significantly reduce the development of BSF larvae, with SR below 60%. In contrary, lower concentrations of IVM in the range of 0.1–0.5 mg/kg had a negligible effect on larval development, SR was 92%, IVM content in the larvae was  $0.95 \pm 0.150 \mu\text{g/kg}$  and  $4.2 \pm 0.500 \mu\text{g/kg}$  for C1 and C2, accordingly. We concluded that BSF larvae do not accumulate and do not metabolize this veterinary drug, and insect biomass obtained on substrates with low concentrations of ivermectin can be used for further production of feed products.

**Key words:** Black Soldier Fly larvae, *Hermetia illucens*, ivermectin, larval survival, insect biomass.

**Citation.** Kuznetsova K. G., Mechtaeva E. V., Zhuravleva A. Z., Chernov A. D., Kotova G. P., Sitnov V. Yu., Ryabukhin D. S. Effect of antiparasitic veterinary drug on survival and biomass rate of *Hermetia illucens* larvae. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 308-319 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-32.

**Author's contribution.** All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

УДК 661.155:595.772

**ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОПАЗИТАРНОГО ВЕТЕРИНАРНОГО ПРЕПАРАТА  
НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ И ПРИРОСТ БИОМАССЫ ЛИЧИНОК  
*HERMETIA ILLUCENS***

**К. Г. Кузнецова<sup>1</sup>**, младший научный сотрудник

**Е. В. Мечтаева<sup>1</sup>**, младший научный сотрудник

**А. З. Журавлева<sup>1</sup>**, кандидат ветеринарных наук, заместитель директора

**А. Д. Чернов<sup>2</sup>**, заместитель руководителя

**Г. П. Котова<sup>1</sup>**, младший научный сотрудник

**В. Ю. Ситнов<sup>1</sup>**, директор

**Д. С. Рябухин<sup>1</sup>**, кандидат химических наук, заведующий лабораторией

<sup>1</sup>ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН

г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Северо-Западная испытательная лаборатория,  
ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных»  
г. Иркутск, Российская Федерация

*Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS 2022–0017 и № FGUS 2022–0018 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук*

**Актуальность.** Переработка навоза личинками черной львинки (*Hermetia illucens*) – перспективная технология утилизации отходов с получением протеина, который может быть использован для производства кормовых добавок. Однако продукты жизнедеятельности сельскохозяй-

ственных животных могут быть загрязнены различными антимикробными и противопаразитарными препаратами. Один из таких препаратов – ивермектин (ИВМ), который относится к макроциклическим лактонам и может содержаться в навозе в высоких концентрациях. Целью данной работы являлось изучить влияние нескольких концентраций противопаразитарного лекарственного средства ИВМ на прирост биомассы, выживаемость (Survival Rate, SR) и эффективность биоконверсии (Bioconversion Efficiency Rate, BER) черной львинки. **Объект исследования.** Объектом исследования являлись личинки мухи черная львинка. **Материалы и методы.** Эксперимент проведен на базе Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН. Личинки росли на субстрате из пшеничных отрубей с водным раствором ИВМ в соотношении 1:2. В качестве контрольного образца использовали субстрат С0 с добавлением дистиллированной воды, вместо раствора препарата. Исследуемые концентрации ИВМ: С1–0,1 мг/кг; С2–0,5 мг/кг; С3–2,5 мг/кг; С4–10 мг/кг. В течение десяти дней личинки питались экспериментальными субстратами с ИВМ. **Результаты и выводы.** Выявлено, что концентрация ИВМ >2,5 мг/кг субстрата значительно ингибирует развитие личинок черной львинки, выживаемость составила <60%. Напротив, невысокие концентрации ИВМ в диапазоне 0,1–0,5 мг/кг незначительно влияют на развитие личинок, выживаемость составила в среднем 92%, содержание ИВМ в самих личинках составило для С1 и С2 0,95±0,150 мкг/кг и 4,2±0,500 мкг/кг соответственно. Мы пришли к выводу, что личинки черной львинки не накапливают и не перерабатывают данный ветеринарный препарат, а биомассу насекомых, полученную на субстратах с невысокими концентрациями ивермектина, допустимо использовать для дальнейшего производства кормовых продуктов.

**Ключевые слова:** личинки черной львинки, *Hermetia illucens*, ивермектин, выживаемость личинок, биомасса насекомых.

**Цитирование.** Кузнецова К. Г., Мечтаева Е. В., Журавлева А. З., Чернов А. Д., Котова Г. П., Ситнов В. Ю., Рябухин Д. С. Влияние противопаразитарного ветеринарного препарата на выживаемость и прирост биомассы личинок *Hermetia illucens*. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 308-319. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-32.

**Авторский вклад.** Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Введение.** С ростом объемов производства продукции животноводства [1] все более актуальной задачей становится поиск нового эффективного способа утилизации продуктов жизнедеятельности (навоза) сельскохозяйственных животных (Российский рынок свинины – ключевые тенденции в 2020-2021 гг. <https://agrovesti.net/lib/industries/beef-cattle/rossijskij-rynok-svininy-klyuchevye-tendentsii-v-2020-2021-gg.html>). Традиционным способом утилизации навоза является компостирование с последующим внесением компоста в почву как удобрения [2]. Однако неправильное обращение с отходами животноводства способно привести к повышению выбросов парниковых газов в атмосферу и к вторичному загрязнению почвы ветеринарными препаратами.

Альтернативой компостированию является технология выращивания насекомых на биоотходах для кормовых целей, которая набирает все большую популярность во всем мире [3]. В исследовании Mertanat, A. [4] сообщалось, что выбросы парниковых газов в CO<sub>2</sub>-экв от преобразования биоотходов с использованием насекомых (например, личинок черной львинки) были в 47 раз ниже по сравнению с выбросами, производимыми установкой для компостирования.

Личинки черной львинки (*Hermetia illucens*) относятся к семейству двукрылых, способны перерабатывать низкоценные фракции органических отходов, такие как навоз и побочные продукты пищевой промышленности [5, 6], и генерировать биомассу, которую можно использовать для производства кормовых продуктов, а полученный зоогузмус может быть использован в качестве органического удобрения [7–10].

Внедрение этой технологии получения кормового белка из насекомых способствует уменьшению зависимости от импортных кормовых продуктов с высоким содержанием белка из сои и рыбной муки [11].

Однако навоз может быть загрязнен различными лекарственными препаратами, которые используются в сельскохозяйственной ветеринарии, антимикробными веществами, пестицидами и противопаразитарными лекарственными препаратами (инсектицидами) [12]. Поэтому при использовании навоза для выращивания насекомых пристальное внимание должно уделяться способности накапливать различные ветеринарные препараты личинками черной львинки. Это позволит обеспечить высокое качество и безопасность производства кормовых добавок из насекомых для сельскохозяйственных животных.

Одним из распространенных ветеринарных препаратов является ивермектин, относящийся к макроциклическим лактонам [13]. В соответствии с ГОСТ 12.1.007–76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» лекарственная форма ивермектина относится к 4 классу опасности. Ивермектин (ИВМ) применяют в сельском хозяйстве для профилактики и лечения животных от паразитических нематод, а также членистоногих, таких как клещи и вши [14].

В связи с неполным метаболизмом ивермектин может попадать в навоз сельскохозяйственных животных в высоких концентрациях [15]. Некоторые исследования подтверждают, что ИВМ, обнаруженный в навозе, может сохранять свое токсическое воздействие на живые организмы в течение четырех месяцев [16].

В статье [17] авторы изучали чувствительность личинок разных видов мух-падальщиков к ивермектину. Авторы пришли к выводу, что разные виды мух-падальщиков имели разные летальные концентрации ИВМ (от 0,05 до 18,55 мкг/кг навоза).

В другом исследовании проводился экотоксикологический анализ влияния сублетальных концентраций ивермектина на имаго желтой навозной мухи *Scathophaga stercoraria*. Авторы установили, что концентрации ИВМ 3 мг/кг является сублетальной для личинок желтой навозной мухи [18].

Влияние ивермектина в субстрате на развитие и выживаемость личинок черной львинки проводили Hoek-van Den Hil и соавторы [19]. Авторы исследовали влияние невысоких концентрации ИВМ (0,05 и 0,5 мг/кг корма) на черную львинку, но не проводили анализ сублетальной дозы настоящего ветеринарного препарата.

Помимо навоза, личинки черной львинки также способны утилизировать и продукты мясопереработки [20–22], в которых может обнаруживаться ИВМ. Поэтому, прежде чем начинать внедрение технологии утилизации агроотходов, которые потенциально могут содержать данный противопаразитарный препарат, необходимо выявить особенности его влияния на личинок черной львинки.

Основная цель исследования состоит в проведении анализа влияния противопаразитарного средства ИВМ в концентрациях от 0,1 до 10 мг/кг корма на прирост энтомологической массы и выживаемость личинок черной львинки; оценена способность черной львинки утилизировать ИВМ из субстрата для использования зоогумуса в качестве органического удобрения, а также определена сублетальная дозировка ИВМ для личинок черной львинки.

**Материалы и методы.** Эксперимент проведен на базе лаборатории промышленных биотехнологических инноваций Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, г. Санкт-Петербург, Россия.

*Подготовка личинок к эксперименту.* Яйца личинок черной львинки инкубировали в лабораторном термостате ТС-80 (Россия) при влажности  $70 \pm 5$  % и температуре  $30 \pm 2$  °С. На третий день инкубации контейнеры с личинками были перенесены в климатическую комнату площадью  $2,25 \text{ м}^2$ , где непрерывно поддерживается температура  $26 \pm 2$  °С и влажность  $65 \pm 5$  %, фотопериод составил 12:12 часов (день : ночь).

Для эксперимента использовали шестидневных личинок, которых выращивали на исследуемых субстратах с разной концентрацией ИВМ в течение десяти дней. В первый день эксперимента в каждый контейнер поместили аликвоту личинок. Порядок расчета аликвоты: предварительно 250 особей было отсчитано вручную, затем личинок взвесили на лабораторных весах, процедуру повторяли три раза, полученное среднее значение  $\pm \text{SE}$  ( $0,715 \pm 0,029$  г) использовали для взвешивания аликвоты при постановке всего эксперимента. Личинок выращивали в контейнерах ДхШхВ 138x102x58 мм в климатической комнате.

*Приготовление экспериментальных растворов.* Исследуемые концентрации ИВМ: С1=0,1 мг/кг; С2=0,5 мг/кг; С3= 2,5 мг/кг и С4= 10 мг/кг влажного корма. В качестве источника ИВМ использовали препарат «Иверсан» (ООО "НВЦ Агроветзащита", Россия), предназначенный для поения сельскохозяйственных животных, содержащий 4 г активного вещества в 100 мл лекарственного препарата. Чтобы достичь экспериментальных концентраций ИВМ в корме, к пшеничным отрубям добавляли по 100 мл предварительно подготовленного экспериментального раствора ИВМ с определенной концентрацией: С1=0,15 мг/л, С2=0,75 мг/л; С3=3,75 мг/л; С4=15 мг/л, в контрольную группу С0 добавляли 100 мл дистиллированной воды.

*Исследуемые субстраты.* Субстраты с разной концентрацией ветеринарного препарата состояли из пшеничных отрубей (ГОСТ 7169–2017 «Отруби пшеничные. Технические условия») и водного раствора лекарственного препарата в соотношении 1:2, средняя масса влажного корма в каждом контейнере составила  $300 \pm 3$  г.

*Ход эксперимента.* Эксперимент проводили в трех параллелях ( $n=3$ ). В каждый субстрат с заданной концентрацией ИВМ С1=0,5; С2=1; С3=2,5 и С4=10 мг/кг поместили  $0,715 \pm 0,029$  г шестидневных личинок черной львинки. Длительность эксперимента составила десять дней. Взвешивание и визуальное наблюдение проводили ежедневно. Из каждого контейнера доставали 25–27 особей, очищали от остатков субстрата и взвешивали на аналитических весах AND GX-200 с точностью  $\pm 0,0001$  г (Япония). После проведения процедуры взвешивания личинок помещали обратно в контейнер. Субстрат взвешивали на лабораторных весах ADAM HCB-2202, с точностью  $\pm 0,01$  г (Великобритания).

*Окончание эксперимента.* К десятому дню эксперимента личинки, питавшиеся контрольным субстратом С0, начали постепенно темнеть и постепенно переходить на стадию предкуколки, это стало сигналом для прекращения эксперимента.

Все образцы личинок очищали от субстрата с помощью просеивания через сита, промывали, остатки влаги убирали с помощью фильтровальной бумаги. Просеянный зоогумус и образцы личинок замораживали в морозильной камере при температуре  $-18$  °С и хранили до проведения анализов.

*Анализы.* Определение содержания ивермектина проводили по ГОСТ 34138–17 «Метод определения остаточного содержания макроциклических лактонов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием». Концентрацию ИВМ определяли в личинках и конечном зоогумусе в конце эксперимента. Влажность личинок, начального и конечного субстрата определяли по ГОСТ Р 54951–2012 «Корма для животных. Определение содержания влаги».

*Обработка данных.* Выживаемость SR (Survival Rate) рассчитывали как отношение всех личинок в начале эксперимента к количеству отобранных из зоогумуса личинок в последний день эксперимента [23]:

$$SR = \frac{N_{\text{лич.нач.}}}{N_{\text{лич.конеч.}}} * 100\%, \quad (1)$$

где  $N_{\text{лич.нач.}}$  – количество личинок в одном контейнере в начале эксперимента, шт;  $N_{\text{лич.конеч.}}$  – количество личинок, изъятых из субстрата в конце эксперимента, шт.

Эффективность биоконверсии BER (Bioconversion Efficiency Rate) каждой экспериментальной диеты рассчитана с поправкой на остаточный биогукус [24] по формуле (2):

$$BER = \frac{L_{\text{конеч}} - L_{\text{нач}}}{D_{\text{нач}} - R_{\text{конеч}}} \times 100, \quad (2)$$

где  $D_{\text{нач}}$  – начальное количество субстрата, г;  $R_{\text{конеч}}$  – конечное количество субстрата (биогукуса), г;  $L_{\text{конеч}}$  – конечная масса личинок, г;  $L_{\text{нач}}$  – начальная масса личинок, г.

Статистическую обработку данных и подготовку графических материалов проводили с применением программного компонента Microsoft Excel с надстройкой RealStatistics. Для показателей прироста биомассы, выживаемости и эффективности биоконверсии рассчитано среднее арифметическое результатов трёх параллельных экспериментов и стандартная ошибка среднего SE (Standart Error). Для выявления зависимости между концентрацией ИВМ в субстрате в начале эксперимента и концентрацией ИВМ в личинках после 10 дней кормления определяли коэффициент корреляции Пирсона.

Данные по изменению биомассы и выживаемости (SR) подвергались однофакторному дисперсионному анализу ( $P = 0,05$ ), с проведением последующего апостериорного теста Тьюки-Крамера ( $P < 0,05$ ).

**Результаты и обсуждение.** Полученные результаты о ежедневном изменении средней массы одной личинки представлены на рисунке 1. Для образцов C0 и C1 наблюдается классическая для личинок черной львинки сигмовидная кривая [25].

При выращивании на субстратах с разной концентрацией ИВМ самое высокое значение средней массы одной особи зафиксировано на девятый день эксперимента при выращивании на контрольном субстрате C0, оно составило  $114,548 \pm 5,107$  мг; аналогично, для C1 самое высокое значение средней массы личинки было достигнуто на девятый день эксперимента и составило  $101,403 \pm 6,716$  мг. Небольшое уменьшение массы в последний день кормления обусловлено постепенным переходом личинок на стадию предкуколок. У личинок C2, C3 и C4 наблюдалось угнетенное состояние и отсутствие прироста биомассы.

Для всех рационов в первые три дня эксперимента значимых различий в изменении биомассы обнаружено не было. На четвертый день эксперимента наблюдалось появление значимых различий в средних массах личинок на разных субстратах: парные сравнения при проведении апостериорного теста Тьюки-Крамера, результаты которого представлены в таблице 1, выявили статистически значимые различия для всех групп, кроме C2 и C3.

С пятого по десятый (последний) день эксперимента статистически значимые различия средней массы особи наблюдались на всех концентрациях, кроме C3 и C4.

На рисунке 1 у личинок на C3 виден небольшой рост массы одной особи, максимальное значение составило  $4,240 \pm 0,268$  мг, однако в последний день средняя масса особи находилась на уровне  $3,984 \pm 0,236$  мг. Это значение соответствует шестому-седьмому дню жизни личинок черной львинки или пятой стадии роста из семи возможных [25].

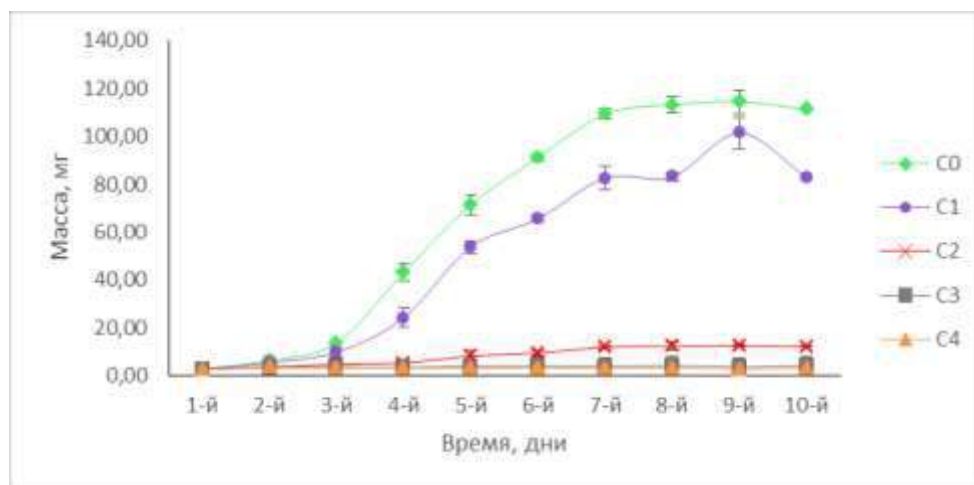


Рисунок 1 – Средняя масса одной личинки, выросшей на субстратах с разным содержанием ивермектина (значение±SE)

Figure 1 – Average mass of one larva grown on substrates with different ivermectin concentrations (Mean±SE)

Таблица – Средняя масса личинок, питавшихся экспериментальными субстратами с разной концентрацией ИВМ в мг (n=3, значение±SE)

Table – Average mass of larvae feeding on experimental substrates with different ivermectin concentrations in mg (Mean±SE)

| Дни  | C0                          | C1                          | C2                         | C3                        | C4                        |
|------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1-й  | 2,604*±0,014                | 2,628±0,031                 | 2,535±0,031                | 2,573±0,015               | 2,624±0,084               |
| 2-й  | 6,240±2,080                 | 5,383±0,325                 | 3,747±0,667                | 3,212±0,070               | 3,500±0,056               |
| 3-й  | 13,622±0,222                | 9,730±1,797                 | 4,581±0,062                | 3,498±0,414               | 3,029±0,248               |
| 4-й  | 43,106 <sup>a</sup> ±3,690  | 24,153 <sup>b</sup> ±3,701  | 5,294 <sup>c</sup> ±0,099  | 3,362 <sup>c</sup> ±0,347 | 2,959 <sup>d</sup> ±1,004 |
| 5-й  | 71,337 <sup>a</sup> ±4,126  | 53,785 <sup>b</sup> ±2,573  | 8,086 <sup>c</sup> ±2,345  | 3,789 <sup>d</sup> ±0,112 | 3,050 <sup>d</sup> ±0,412 |
| 6-й  | 91,163 <sup>a</sup> ±1,447  | 65,503 <sup>b</sup> ±1,674  | 9,413 <sup>c</sup> ±1,152  | 3,953 <sup>d</sup> ±0,303 | 3,223 <sup>d</sup> ±0,110 |
| 7-й  | 109,321 <sup>a</sup> ±2,710 | 82,544 <sup>b</sup> ±5,044  | 11,761 <sup>c</sup> ±0,882 | 3,728 <sup>d</sup> ±0,014 | 2,831 <sup>d</sup> ±0,077 |
| 8-й  | 113,331 <sup>a</sup> ±3,588 | 83,163 <sup>b</sup> ±1,914  | 12,197 <sup>c</sup> ±1,647 | 4,240 <sup>d</sup> ±0,268 | 3,201 <sup>d</sup> ±0,199 |
| 9-й  | 114,476 <sup>a</sup> ±5,068 | 101,403 <sup>b</sup> ±6,716 | 12,508 <sup>c</sup> ±2,122 | 3,494 <sup>d</sup> ±0,087 | 2,447 <sup>d</sup> ±0,106 |
| 10-й | 111,326 <sup>a</sup> ±1,980 | 82,854 <sup>b</sup> ±3,031  | 11,979 <sup>c</sup> ±2,122 | 3,984 <sup>d</sup> ±0,236 | 3,016 <sup>d</sup> ±0,107 |

\* – средние значения с разными надстрочными буквами в каждой строке значительно различаются ( $P < 0,05$ )

Для обнаружения зависимости между содержанием ИВМ в личинках в последний день эксперимента и средней массой одной особи проведен корреляционный анализ. Полученное значение ( $r = -0,69$ ) так же свидетельствует об умеренно-сильной обратной зависимости средней массы от содержания ИВМ в одной особи.

*Содержание ивермектина в субстрате и личинках черной львинки.*

Содержание ИВМ определяли в личинках и конечном субстрате (зоогумусе), результаты анализа представлены на рисунках 2 и 3.

В личинках чёрной львинки, выращенных на контрольное диете (C0), а также в полученном в этом случае зоогумусе, ИВМ не обнаружен, поэтому C0 на графике не отображается.

Средние концентрации ИВМ в личинках на десятый день эксперимента составили C1=0,950±0,150 мкг/кг; C2=4,200±0,500 мкг/кг; C3= 7,900±0,400 мкг/кг и C4= 23,950±2,850 мкг/кг по сырому весу. Содержание ИВМ в зоогумусе было значительно выше: C1=0,017 мг/кг; C2=0,241 мг/кг; C3= 1,3758 мг/кг; C4= 2,5093 мг/кг (рисунок 2).

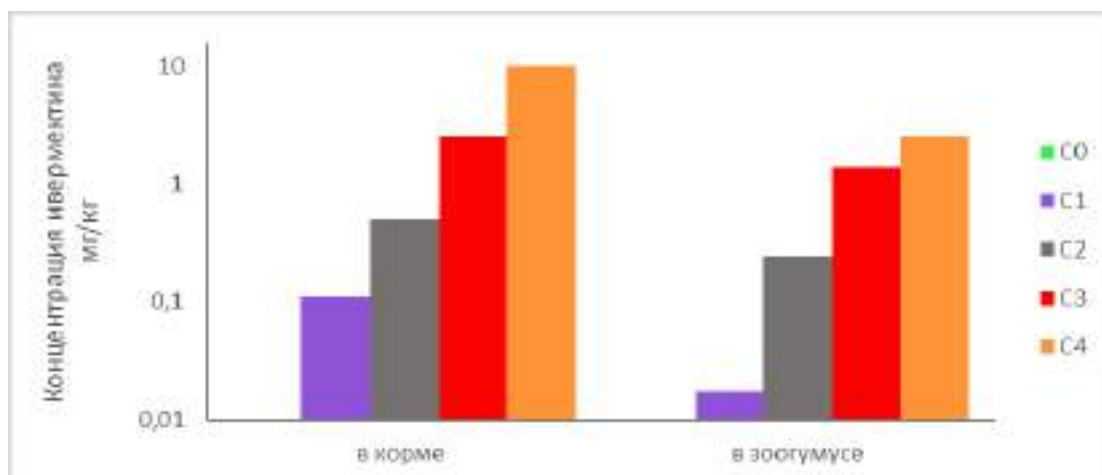


Рисунок 2 – Содержание ивермектина в корме и конечном субстрате (зоогумусе), мг/кг  
Figure 2 – Ivermectin content in feed, larvae and final substrate (zoohumus), mg/kg

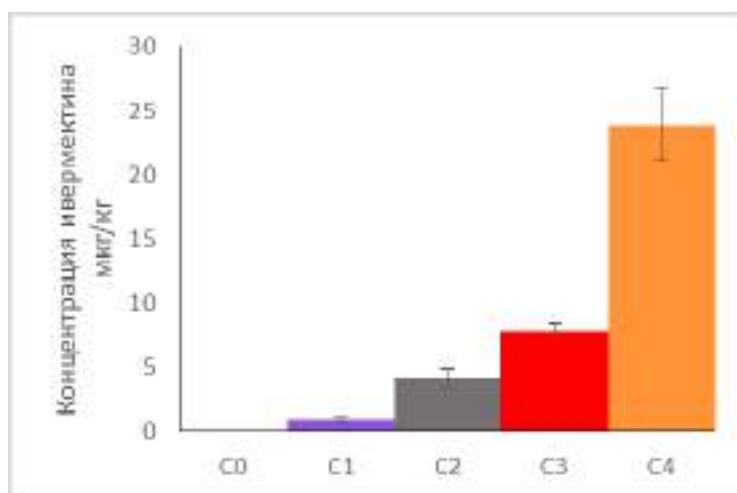


Рисунок 3 – Содержание ивермектина в личинках черной львинки, мкг/кг  
Figure 3 – Ivermectin content in BSF larvae, µg/kg

Авторы исследования [19] обнаружили, что концентрации ИВМ в личинках, выросших на субстрате с концентрациями препарата 0,05 и 0,5 мг/кг, ориентировочно составили 5 мкг/кг, влияние других концентраций ИВМ в субстрате на личинок черной львинки не рассматривали. В настоящем исследовании для личинок, питавшихся субстратом C1 с концентрацией ИВМ 0,5 мг/кг, концентрация ИВМ в личинках составила  $0,950 \pm 0,150$  мкг/кг.

*Влияние ивермектина на выживаемость личинок и конверсию корма.*

Концентрация ИВМ в субстрате влияет на уровень выживаемости. Самый высокий уровень выживаемости выявлен для контрольного образца C0 и составил  $95,954 \pm 0,950\%$ ; сравнительно высокий уровень выживаемости также наблюдался для C2 и C3 и составил  $93,965 \pm 4,446$  и  $92,924 \pm 5,041\%$  соответственно (рисунок 3).

Из результатов апостериорного теста Тьюки-Крамера можно сделать вывод, что показатели выживаемости для C0, C1, C2 различались незначительно и составили  $95,954 \pm 0,950\%$ ;  $92,757 \pm 5,272\%$  и  $92,924 \pm 5,041\%$  соответственно. Для C3 и C4 показатели выживаемости были значительно ниже и составили  $57,668 \pm 1,116\%$  и  $54,807 \pm 1,214\%$  соответственно.

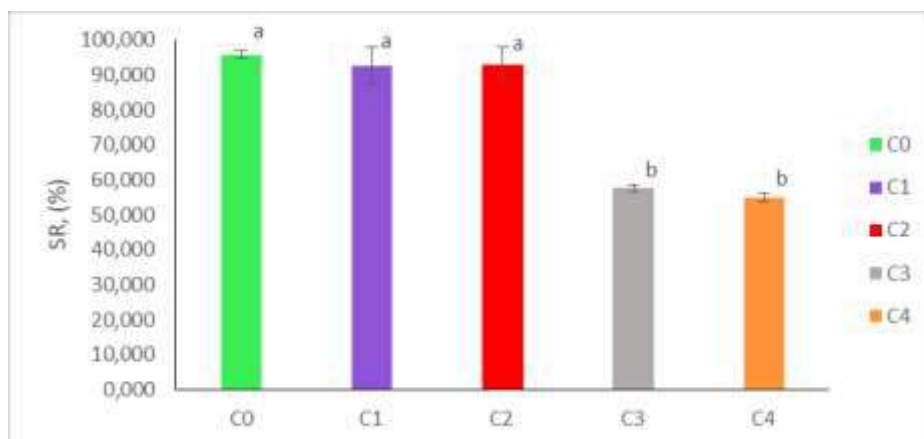


Рисунок 4 – Показатель выживаемости черной львинки (SR)  
Figure 4 – Larval Survival Rate (SR)

Замедление развития личинок повлияло на эффективность конверсии корма BER (рисунок 5). Для C4 BER составил  $-0,035 \pm 0,004\%$ , отрицательное значение обусловлено тем, что личинки черной львинки не развивались на корме с концентрацией ИВМ 10 мг/кг и показывали низкий уровень выживаемости. Коэффициенты конверсии BER составили для C0= $12,285 \pm 0,323\%$ ; C1= $10,306 \pm 0,597\%$ ; C2= $1,268 \pm 0,312\%$ ; C3= $0,116 \pm 0,036\%$ .

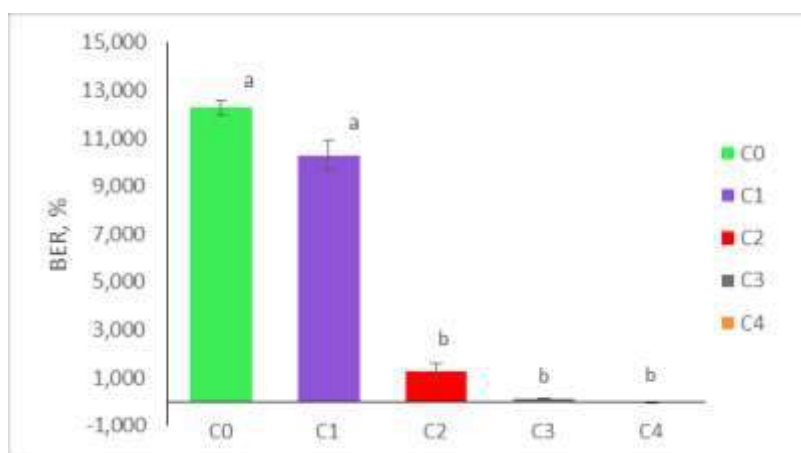


Рисунок 5 – Эффективность биоконверсии (BER)  
Figure 5 – Bioconversion Efficiency Rate (BER)

Несмотря на отсутствие изменений в приросте биомассы, личинки черной львинки, питавшиеся субстратами с концентрацией ИВМ 2,5–10 мг/кг, показали уровень выживаемости выше 54%. Можно предположить, что концентрация ИВМ  $>2,5$  мг/кг является сублетальной дозой для личинок черной львинки.

**Заключение.** Концентрация ивермектина  $<1$  мг/кг корма незначительно влияет на прирост биомассы и уровень выживаемости личинок черной львинки. Исходя из этого черная львинка способна перерабатывать как навоз, так и продукты мясопереработки с указанной концентрацией данного лекарственного вещества, при этом личинка не накапливает ИВМ и его содержание в ней находится в диапазоне до 0,5 мкг/кг. Таким образом, субстрат с ИВМ может быть применен для кормления личинок черной львинки при условии его смешения с другими продуктами для создания многокомпонентной смеси. Получаемый в ходе процесса биоконверсии зоогумус содержит высокие концентрации ивермектина и не может быть использован в качестве органического удобрения.

Концентрации ИВМ >2,5 мг/кг корма оказывают пагубное влияние на рост, развитие и выживаемость личинок черной львинки. В ходе эксперимента мы наблюдали подавление развития личинок, они перестали потреблять корм и почти не проявляли признаков жизни. Можно предположить, что концентрация ИВМ >2,5 мг/кг являются сублетальной дозой для личинок черной львинки.

**Conclusions.** Ivermectin concentrations < 1 mg/kg feed have little effect on biomass gain and survival rate of Black Soldier Fly larvae. Based on this, the Black Soldier Fly is able to process both manure and meat processing products with the specified concentration of this drug substance, while the larva does not accumulate IVM and its content in it is in the range of up to 0.5 µg/kg. Thus, a substrate with IVM can be used to feed Black Soldier Fly larvae, provided it is mixed with other products to create a multi-component mixture. The zoohumus obtained during the bioconversion process contains high concentrations of ivermectin and cannot be used as an organic fertilizer.

IVM concentrations > 2.5 mg/kg feed have a detrimental effect on the growth, development and survival of Black Soldier Fly larvae. During the experiment, we observed suppression of the development of larvae; they stopped consuming food and showed almost no signs of life. It can be assumed that IVM concentrations > 2.5 mg/kg are a sub lethal dose for Black Soldier Fly larvae.

#### Библиографический список/References

1. Lozovaya O., Martynushkin A., Fedoskina I., Vanyushina O., Polyakov M., Anikin N. Management justification and applications of the personal approach at the enterprise of the AIC. In E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 284. P. 07010.
2. Holly M. A., Larson R. A., Powell J. M., Ruark M. D., Aguirre-Villegas H. Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2017. V. 239. Pp. 410–419.
3. Mutafela R. N. High value organic waste treatment via black soldier fly bioconversion: on-site pilot study. Master of Science Thesis. Stockholm, 2015.
4. Mertenat A., Diener S., Zurbrugg C. Black Soldier Fly biowaste treatment–Assessment of global warming potential. Waste management. 2019. V. 84. Pp. 173–181.
5. Zheng L., Hou Y., Li W., et al. Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. Energy. 2012. V. 47(1). Pp. 225–229.
6. Barragan-Fonseca K. B., Dicke M., van Loon J. J. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed—a review. Journal of Insects as Food and Feed. 2017. V. 3 (2). Pp. 105–120.
7. Moula N., Scippo M. L., Douny C., Degand G., Dawans E., Cabaraux J. F., Detilleux J. Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure. Animal Nutrition. 2018. V. 4 (1). Pp. 73–78.
8. Mohan K., Rajan D. K., Muralisankar T., Ganesan A. R., Sathishkumar P., Revathi N. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs. Aquaculture. 2022. V. 553. P. 738095.
9. Schiavone A., De Marco M., Martínez S., Dabbou S., Renna M., Madrid, J., Gasco L. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. Journal of animal science and biotechnology. 2017. No 8. Pp. 1–9.
10. Tomberlin J. K., Van Huis A. Black soldier fly from pest to ‘crown jewel’ of the insects as feed industry: an historical perspective. Journal of Insects as Food and Feed. 2020. No 6 (1). Pp. 1–4.
11. Heuel M., Sandrock C., Leiber F., Mathys A., Gold M., Zurbrugg C., Terranova M. Black soldier fly larvae meal and fat can completely replace soybean cake and oil in diets for laying hens. Poultry Science. 2021. V. 100 (4). P. 101034.
12. Meijer N., de Rijk T., van Loon J. J., Zoet L., Van der Fels-Klerx H. J. Effects of insecticides on mortality, growth, and bioaccumulation in black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. PloS one. 2021. V. 16 (4). e0249362.
13. Omura S. Ivermectin: 25 years and still going strong. International journal of antimicrobial agents. 2008. No 31 (2). Pp. 91–98.

14. Floate K. D. Off-target effects of ivermectin on insects and on dung degradation in southern Alberta, Canada. *Bulletin of Entomological Research*. 1998. V. 88 (1). Pp. 25–35.
15. Herd R. P., Sams R. A., Ashcraft S. M. Persistence of ivermectin in plasma and faeces following treatment of cows with ivermectin sustained-release, pour-on or injectable formulations. *International journal for parasitology*. 1996. No 26 (10). Pp. 1087–1093.
16. Sands B., Noll M. Toxicity of ivermectin residues in aged farmyard manure to terrestrial and freshwater invertebrates. *Insect Conservation and Diversity*. 2022. V. 15 (1). Pp. 9–18.
17. Blanckenhorn W. U., Puniamoorthy N., Schäfer M. A., Scheffczyk A., Römbke J. Standardized laboratory tests with 21 species of temperate and tropical sepsid flies confirm their suitability as bioassays of pharmaceutical residues (ivermectin) in cattle dung. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2013. No 89. Pp. 21–28.
18. Van Koppenhagen N., Gourgoulianni N., Rohner P. T., Roy J., Wegmann A., Blanckenhorn W. U. Sublethal effects of the parasiticide ivermectin on male and female reproductive and behavioural traits in the yellow dung fly. *Chemosphere*. 2020. V. 242. 125240.
19. Hoek-van Den Hil E. F., Van De Schans M. G. M., Bor G., Van Der Fels-klerx H. J. Effects of veterinary drugs on rearing and safety of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2022. No 8 (10). Pp. 1097–1106.
20. Kawasaki K., Ohkawa M., Zhao J., Yano K. Effect of dietary meat content on weight gain, mortality, and pre-pupal rate in black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Insects*. 2022. No 13 (3). P. 229.
21. Luperdi A. P., Flores-Calla S. S., Barriga X. J., Rivera V., Salazar I., Manrique P. L., Reátegui J. E. Bioprocessing of organic wastes from poultry and bovine slaughterhouses as food substrate for *Hermetia illucens* larval development. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2023. No 9 (1). Pp. 31–42.
22. Nguyen T. T., Tomberlin J. K., Vanlaerhoven S. Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental entomology*. 2015. No 44 (2). Pp. 406–410.
23. Dzepe D., Nana P., Kuietche H. M., Kimpara J. M., Magatsing O., Tchuinkam T., Djouaka R. Feeding strategies for small-scale rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as organic waste recycler. *SN Applied Sciences*. 2021. No 3. Pp. 1–9.
24. Bosch G., Oonincx D. G. A. B., Jordan H. R., et al. Standardisation of quantitative resource conversion studies with black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020. No 6 (2). Pp. 95–109.
25. 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. No 143(8). Pp. 875–881.

#### Информация об авторах

**Кузнецова Ксения Геннадьевна**, младший научный сотрудник, ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55), ORCID: 0000-0001-5427-8532, e-mail: k.kuznetsova@fncps.ru

**Мечтаева Елизавета Владимировна**, младший научный сотрудник, ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55), ORCID: 0000-0001-7879-7994, e-mail: mechtaeva.lisa@gmail.com

**Журавлева Айгуль Зарифовна**, кандидат ветеринарных наук, заместитель директора по качеству, ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55), ORCID: 0009-0003-2683-269X, e-mail: aigul-zhuravleva@mail.ru

**Чернов Александр Дмитриевич**, заместитель руководителя Северо-Западной испытательной лаборатории, ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ») (Российская Федерация, 196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 15), e-mail: 4ern@inbox.ru

**Котова Галина Петровна**, младший научный сотрудник ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д.55), ORCID: 0009-0002-2920-7059, e-mail: info@vniipd.ru

**Ситнов Вениамин Юрьевич**, директор ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55), ORCID: 0000-0003-1927-1997, e-mail: v.sitnov@fncps.ru  
**Рябухин Дмитрий Сергеевич**, кандидат химических наук, заведующий лабораторией промышленных биотехнологических инноваций ВНИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Российская Федерация, 191014, г. Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55), ORCID: 0000-0001-5345-0038, e-mail: d.ryabukhin@fncps.ru

#### Author's Information

**Kuznetsova Kseniia Genndyevna**, Junior Researcher, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato" RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55) ORCID: 0000-0001-5427-8532, e-mail: k.kuznetsova@fncps.ru

**Mechtaeva Elizaveta Vladimirovna**, Junior Researcher, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato" RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55), ORCID: 0000-0001-7879-7994, e-mail: mechtaeva.lisa@gmail.com

**Zhuravleva Aigul Zarifovna**, PhD in veterinary science, Candidate of Veterinary Sciences, Deputy Director for Quality, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato" RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55), e-mail: aigul-zhuravleva@mail.ru

**Chernov Aleksandr Dmitrievich**, Deputy Head of the North-West Testing Laboratory, Federal Center for Animal Health (Russian Federation, 196158, St. Petersburg, Moskovskoe shosse, 15), ORCID: 0009-0003-2683-269X, e-mail: 4ern@inbox.ru

**Kotova Galina Petrovna**, Junior Researcher of the All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato" RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55), e-mail: info@vniipd.ru

**Sitnov Veniamin Yurevich**, the director of the All-Russian Research Institute of nutritional supplements – FGBNU branch "Federal scientific center of food systems of V. M. Gorbato" of RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55), ORCID: 0000-0003-1927-1997, e-mail: v.sitnov@fncps.ru

**Ryabukhin Dmitry Sergeevich**, Candidate of Sciences in Chemistry, Head of the Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations of the All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Food Systems named after V. M. Gorbato" RAS (Russian Federation, 191014, St. Petersburg, Liteyny Prospekt, 55), ORCID: 0000-0001-5345-0038, e-mail: d.ryabukhin@fncps.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-33

### USE OF THE RUMIMIKS-3 PREMIX AS PART OF FEED MIXTURE FOR NON-MILKING COWS

**K. Yu. Tarasova<sup>1</sup>, N. N. Shvetsov<sup>1</sup>, S. V. Chekhranova<sup>2</sup>, S. I. Nikolaev<sup>2</sup>, N. G. Chamurliiev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin  
Belgorod, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Volgograd State Agrarian University  
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 12.09.2023

Submitted 30.11.2023

#### Summary

This article presents the results of studying the effectiveness of the use of the premix "RumiMix-3" as part of a feed mixture for dry cows. The experiment was conducted in the conditions of LLC "Borisov farms", Borisovsky district, Belgorod region. Studies have established the positive effect of the studied feed additive on the productive indicators and reproductive ability of cows.