

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-975

УДК 591.111.1



Научная статья

ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО БИОИНСЕКТИЦИДА НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СТАТУС ГЕМОЦИТОВ *BLAPTICA DUBIA*

Е.А. Гребцова, А.А. Присный

Цель исследования. Проанализировать изменения клеточного состава гемолимфы и показателей фагоцитарной активности у *Blaptica dubia* при обработке инсектицидом на основе *Bacillus thuringiensis*, var. *thuringiensis*.

Материалы и методы. Проведены количественные исследования нативных гемоцитов имаго *Blaptica dubia* с применением световой микроскопии. Для оценки эффективности поглощения инородных объектов определены фагоцитарный индекс и фагоцитарное число в условиях бактериальной нагрузки. В качестве инсектицида выбран препарат «Битоксикациллин», содержащий *Bacillus thuringiensis*, var. *thuringiensis*.

Результаты. Проанализировано влияние бактериального инсектицида на популяционную структуру гемоцитов имаго *Blaptica dubia*. В работе исследована гемолимфа десяти особей. У имаго идентифицированы 7 гемоцитарных типов: прогемоциты, плазмоциты, гранулоциты, вермициты, сферулоциты, коагулоциты и серповидные клетки. На третьи сутки после обработки препаратом отмечен рост молодых форм плазматоцитов и резкое сокращение числа прогемоцитов и сферулоцитов. В данной контрольной точке у всех особей отсутствовали вермициты. Фагоцитарный индекс равен 53,2%, а среднее количество поглощенных бактерий одним фагоцитом составило 14,6 у.е. К десятому дню зафиксировано дальнейшее снижение числа прогемоцитов и достижение плазматоцитами размеров, свойственных зрелым клеткам. Значения фагоцитарного индекса и фагоцитарного числа достоверно снизились до 41% и 8 у.е. соответственно.

Ключевые слова: гемоциты насекомых; инсектициды; гемолимфа; фагоцитарный индекс; фагоцитарное число

Для цитирования. Гребцова Е.А., Присный А.А. Влияние бактериального биоинсектицида на морфо-функциональный статус гемоцитов *Blaptica dubia*

// Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. T. 16, №4. C. 32-43.
DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-975

Original article

THE EFFECT OF BACTERIAL BIOINSECTICIDE ON THE MORPHOFUNCTIONAL STATUS OF HEMOCYTES BLAPTICA DUBIA

E.A. Grebtsova, A.A. Prisnyi

The purpose of the research is to analyze changes in the total hemocyte count and structure of their population, to assess the indicators of phagocytic activity in *Blaptica dubia* treated with an insecticide based on *Bacillus thuringiensis*, var. *thuringiensis*.

Materials and methods. Quantitative studies of native hemocytes of adult *Blaptica dubia* using light microscopy were carried out. We determined phagocytic index and phagocytic number under conditions of bacterial load to evaluate the efficiency of foreign object absorption. The preparation Bitoxibacillin containing *Bacillus thuringiensis*, var. *thuringiensis* was selected as an insecticide.

Results. We analyzed the effect of bacterial insecticide on the population structure of adult *Blaptica dubia* hemocytes. The hemolymph of ten insect specimens was studied. Seven hemocytic types were identified in adults: prohemocytes, plasmatocytes, granulocytes, vermicytes, spherulocytes, coagulocytes and crescent cells. On the third day after treatment with the insecticide, an increase in young forms of plasmatocytes and a sharp decrease in the number of prohemocytes and spherulocytes were noted. In this day, vermicytes were absent in all specimens. The phagocytic index reached 53,2%, and the average number of bacteria absorbed by one phagocyte was 14,6 s.u. By the tenth day, a further decrease in the number of prohemocytes were recorded and plasmatocytes reached the size typical of mature cells. The values of phagocytic index and phagocytic number significantly decreased to 41% and 8 s.u., respectively.

Keywords: insect hemocytes; insecticides; hemolymph; phagocytic index; phagocytic number

For citation. Grebtsova E.A., Prisnyi A.A. The Effect of Bacterial Bioinsecticide on the Morphofunctional Status of Hemocytes *Blaptica dubia*. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 32-43. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-975

Введение

Биоинсектициды на основе *B. thuringiensis* являются наиболее широко используемыми – на их долю приходится 80% биоинсектицидов, продаваемых во всем мире [4]. Белки этих бактерий Cry и Vip активны в отношении широкого спектра насекомых отрядов Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Homoptera, Neuroptera, Orthoptera и Mallophaga, а также в отношении других беспозвоночных, таких как нематоды, клещи и простейшие [12]. Действие белков Cry и Cyt начинается с приема внутрь кристаллов, которые растворятся в средней кишке [3; 5; 7]. Для достижения правильного растворения кристалла должны быть соблюдены особые химические условия, которые зависят от типа белка, состава кристалла, состава содержимого кишечника и его pH [9; 10].

Количество проведенных на сегодняшний день исследований, связанных с восприимчивостью тараканов к *Bacillus thuringiensis*, очень мало. Также существует несоответствие в результатах, многие из них противоречивы, а с другой стороны, в некоторых работах не указана информация об используемых штаммах и условиях обработки и содержания насекомых [16]. По данным исследования Zukowski (1993) обработка представителей вида *Blattella germanica* препаратом Дипель (титр *B. thuringiensis* 25 млрд спор/г, концентрация 1%) привела к гибели 76,4% особей в течение 9 дней. При использовании более низких концентраций (0,5%; 0,25%; 0,125%) время гибели удлинялось и составило 22 дня для самой низкой концентрации [14; 15].

Ни один из белков в работе Galán Rodellar (2021), ни в качестве протоксина, ни в качестве токсина не оказывал летального действия на *Blaptica dubia* и *B. germanica* даже в сверхвысоких концентрациях [4].

В статье Pan и Zhang (2020) утверждается, что на сегодняшний день не обнаружено ни одного бактериального белка, который вызывал бы гибель *B. germanica*. В качестве возможных причин рассматривают 1) кислую среду в кишечнике с pH около 5,7, что препятствует растворению белка или 2) отсутствие специфических рецепторов в столбчатых клетках кишечника [13].

Другое исследование показало, что серотипы colmeri, yunnanensis, huazhangensis, roskildensis и sooncheon вызывают смертность до 30% через 7 дней при концентрации 1×10^{10} клеток/мл [6].

Существует как минимум три механизма возникновения устойчивости насекомых к токсическим бактериальным белкам: 1) нарушение протеолитического воздействия на протоксины из-за отсутствия специфических протеаз у конкретного вида насекомого, что приводит к плохой активации

белков; 2) мутации в специфических сайтах связывания, выражающийся в снижении сродства между токсином и сайтом связывания вплоть до полного отсутствия взаимодействия; 3) быстрая регенерация пораженных столбчатых клеток до того, как повреждение станет необратимым.

Для оценки чувствительности насекомых к патогену необходимо не только оценить количество погибших особей, но и зафиксировать возможные изменения в иммунной системе. В связи с этим цель данного исследования проанализировать изменения клеточного состава гемолимфы и показателей фагоцитарной активности у *Blaptica dubia* при обработке инсектицидом на основе *Bacillus thuringiensis*, var. *thuringiensis*.

Материалы и методы

Исследована динамика популяционной структуры форменных элементов гемолимфы и их фагоцитарная активность у вида *Blaptica dubia*. В эксперименте использовали 10 имаго. Насекомые подвергались действию «Битоксибациллина» с титром 20 млрд спор/г в концентрации 1%, согласно инструкции к препарату. Эксперимент проведен по следующей схеме:

- 1) Анализ клеточного состава гемолимфы насекомых до обработки препаратом.
- 2) Однократное предоставление насекомым корма и питьевой воды, которые содержали указанную концентрацию инсектицида.
- 3) Анализ клеточного состава гемолимфы и определение показателей фагоцитарной активности на третьи и десятые сутки после обработки насекомых.

Наблюдения проводили с помощью инвертированного микроскопа Nikon Digital Eclipse Ti-E. Фиксировали изменение численности каждого гемоцитарного типа, а также определяли показатели фагоцитарной активности. Рассчитывали: фагоцитарный индекс (ФИ) – процент фагоцитов, поглотивших инородные объекты, из числа сосчитанных фагоцитов; фагоцитарное число (ФЧ) – среднее число бактерий, поглощенное одним активным фагоцитом. Подсчет общего числа гемоцитов осуществляли на автоматическом счетчике клеток Countess III FL.

Выявление различий количественных результатов исследования по отношению к их исходному уровню проведены путем вычисления показателя достоверности различий (p) с использованием теста Вилкоксона для двух зависимых выборок (непараметрическое распределение). Данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения.

Результаты

Популяция форменных элементов гемолимфы имаго *B. dubia* представлена семью типами клеток: прогемоциты (Pr), плазматоциты (Pl), гранулоциты (Gr), сферулоциты (Sph), вермициты (Ver), коагулоциты (Co), серповидные клетки (Cr) [1;2;8]. Гемоцитарная формула представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Соотношение гемоцитарных типов в гемолимфе до начала эксперимента

Типы клеток	Pr	Pl	Gr	Sph	Ver	Co	Cr
Доля гемоцитов, %	9,3±2,9	23,0±3,7	26,8±4,9	19,0±4,4	5,5±2,4	6,5±2,6	9,8±3,9

При наблюдении нативных клеток в изотоническом растворе зафиксировано, что адгезия к подложке и распластывание плазматоцитов и гранулоцитов завершалось к 12-ой и 25-й минуте соответственно. Общее число гемоцитов находилось в пределах $5,03 \pm 0,29 \times 10^6/\text{мл}$.

После обработки насекомых энтомопатогенным препаратом повторный анализ гемолимфы проводили на третьи сутки. Отмечена тенденция к увеличению общего числа клеток до $5,30 \pm 0,28 \times 10^6/\text{мл}$, преимущественно за счет фагоцитов. Зафиксировано достоверное снижение доли прогемоцитов на 30%, сферулоцитов на 58,6%, коагулоцитов на 90%, серповидных клеток на 62,2% (рис. 1). Снижение числа прогемоцитов, вероятно, связано с их активной дифференцировкой в иммунные клетки.

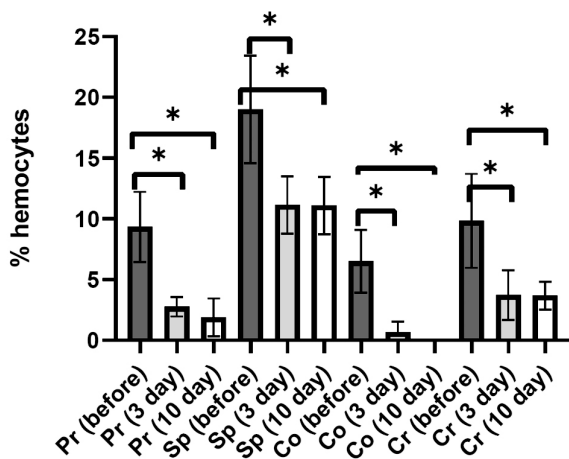


Рис. 1. Динамика численности нефагоцитирующих гемоцитов.

* – статистическая надежность различий $p < 0,05$

Противоположная ситуация характерна для гемоцитов, выполняющих фагоцитарную функцию: количество плазматоцитов возросло вдвое. Большую часть составляли молодые мелкие клетки ($D \approx 5,2$ мкм), в которые дифференцировались прогемоциты. Статистически значимого изменения числа гранулоцитов отмечено не было ни у одной особи. Содержание вермицитов упало до нуля (рис. 2).

Зрелые плазматоциты и гранулоциты активно участвовали в поглощении бактериальных клеток. Распластывание данных форменных элементов по подложке завершалось уже к пятой минуте инкубации в изотоническом растворе.

Повторный отбор гемолимфы проводили на десятые сутки. Статистически значимого увеличения общего числа гемоцитов зафиксировано не было. Как и в предыдущей контрольной точке, доля прогемоцитов редко превышала 2%. Содержание сферулоцитов, коагулоцитов и серповидных клеток также не изменилось.

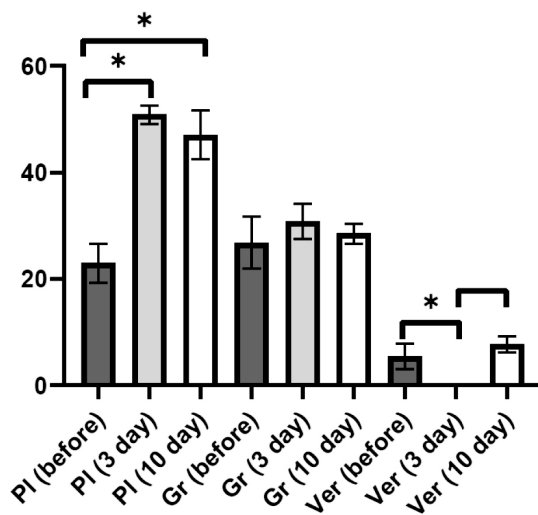


Рис. 2. Динамика численности фагоцитирующих гемоцитов.

* – статистическая надежность различий $p < 0,05$

Доля плазматоцитов сохранилась прежней, однако клетки уже успели достичь своих обычных размеров ($D=15$ мкм). Скорость оседания и адгезии оставалась по-прежнему высокой. Единичных клеток практически не было, в основном они формировали конгломераты и распластывались как единое целое.

При определении показателей фагоцитарной активности учитывали три типа клеток, способных захватывать инородные объекты: гранулоциты, плазматоциты и вермициты. На третий сутки ФИ составил 53,2%, причем основная роль в поглощении бактерий принадлежала молодым плазматоцитам. Несмотря на достаточно низкие значения ФИ, эффективность работы плазматоцитов высока: фагоцитарное число в единичных случаях доходило до 28 бактериальных клеток. На десятые сутки величина ФИ достоверно снизилась до 41%, однако это связано с увеличением числа вермицитов, которые не проявили в эксперименте фагоцитарной активности. В предыдущей контрольной точке вермициты отсутствовали и не вносили вклад в общее число фагоцитов. Уменьшение параметра ФЧ практически вдвое также носит статистически значимый характер (рис. 3).

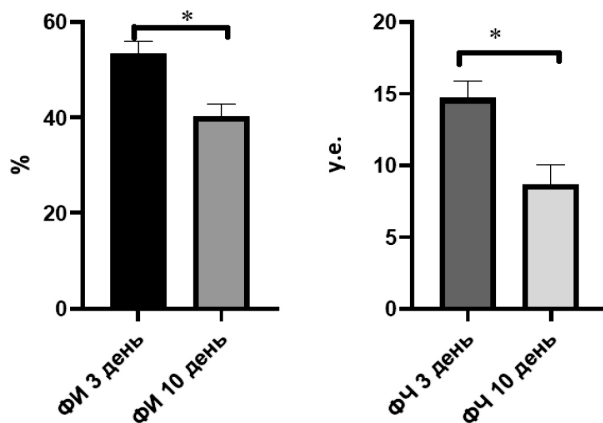


Рис. 3. Показатели фагоцитарной активности на третий и десятый день после обработки. * – статистическая надежность различий $p < 0,05$

Дальнейшее наблюдение за насекомыми проводили еще в течение двух недель – за весь срок эксперимента ни одна особь не погибла. Это говорит об устойчивости данного вида к *B. thuringiensis* в концентрации, которая, согласно инструкции к препарату, является летальной.

Поскольку бактериальные клетки были обнаружены в гемолимфе насекомых, то связывание белков с мембранными рецепторами столбчатых клеток кишечника произошло, что привело к формированию пор в микроворсинках и споры бактерий проникли в гемоцель. Однако ни одна особь не погибла. Этот факт исключает первый механизм возникновения резистентности. Кроме того, тараканы способны длительное время обходить-

ся без еды и воды, и в этот срок пораженные зоны кишечника способны регенерировать, а активная работа иммунных клеток способствует борьбе с бактериальной инфекцией.

Заключение

Согласно результатам исследования идентифицировано 7 гемоцитарных типов *B. dubia*, соотношение которых менялось в течение десяти суток после обработки энтомопатогенным бактериальным препаратом. На третьи сутки отмечена тенденция к увеличению общего количества гемоцитов, что связано с ростом числа молодых плазматоцитов. Снижение уровня прогемоцитов вызвано их усиленной дифференцировкой в иммунные клетки. Вермициты к этому времени полностью исчезают, однако их число восстанавливается в заключительной контрольной точке. Основная роль в фагоцитозе бактерий принадлежит плазматоцитам. Несмотря на небольшое значение фагоцитарного индекса, эффективность поглощения *B. thuringiensis* высока и достигает до 28 клеток. Бактериальный препарат «Битоксибациллин» не оказывает инсектицидного эффекта в отношении *B. dubia* при применении в дозировке, указанной в инструкции. Ни одна особь за период эксперимента не погибла, в течение последующих четырнадцати дней летальных исходов также не зафиксировано.

Список литературы

1. Гребцова Е. А. Морфофункциональная характеристика и осморегуляторные реакции гемоцитов представителей отряда Dictyoptera: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.03.01 / Гребцова Елена Александровна; [Место защиты: Белгород. гос. аграр. ун-т им. В.Я. Горина]. Белгород, 2017. 184 с.
2. Присный А.А. Сравнительный анализ морфофункционального статуса клеточных элементов циркулирующих жидкостей беспозвоночных животных: дис. ... докт. биол. наук: 03.03.01 / Присный Андрей Андреевич. Белгород, 2016. 403 с.
3. Crickmore N., Zeigler D. R., Feitelson J., Schnepf E., Van Rie J., Lereclus D., Baum J., Dean D. H. Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins // *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 1998. Vol. 62(3). P. 807–813. <https://doi.org/10.1128/mmbr.62.3.807-813.1998>
4. Galán Rodellar, Juan José. Susceptibilidad De *Blattella Germanica* (L.) (Dictyoptera, Blattellidae) Y *Blaptica Dubia* (Blattodea, Blaberidae) a Proteínas De *Bacillus Thuringiensis* (Berliner) // *Trabajos Fin de Máster ETSIA - NIGMET Master Amaierako Lanak*, 2021. <https://hdl.handle.net/2454/39392>

5. Ferré J., Van Rie J., Macintosh S. C. Insecticidal genetically modified crops and insect resistance management (IRM) // In *Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops within IPM Programs*, 2008. P. 41–85. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8373-0_3
6. Fiuza L. M., Berlitz D. L., de Oliveira J. V., Knaak N. *Bacillus thuringiensis*: different targets and interactions // In *Bacillus thuringiensis and Lysinibacillus sphaericus: Characterization and use in the field of biocontrol*. 2017. P. 111–126. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56678-8_9
7. Jaquet F., Hütter R., Lüthy P. Specificity of *Bacillus thuringiensis* deltaEndotoxin // *Applied and Environmental Microbiology*. 1987. Vol. 53(3). P. 500–504. <https://doi.org/10.1128/AEM.53.3.500-504.1987>
8. Jones J. C. Forms and functions of insect hemocytes // *Invertebrate Immunity*, eds. K. Maramorosch and R. E. Shoppe. 1975. P. 119-129.
9. Lee M. K., Miles P., Chen J. S. Brush border membrane binding properties of *Bacillus thuringiensis* Vip3A toxin to *Heliothis virescens* and *Helicoverpa zea* midguts // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2006. Vol. 339(4). P. 1043-1047. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2005.11.112>
10. Li Y., Schal C., Pan X., Huang Y., Zhang F. Effects of antibiotics on the dynamic balance of bacteria and fungi in the gut of the German Cockroach // *Journal of Economic Entomology*. 2020. Vol. 113(6). P. 2666–2678. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa205>
11. Pan X. Y., Zhang F. Advances in biological control of the German cockroach, *Blattella germanica* (L.). // *Biological Control*. 2020. Vol. 142. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104104>
12. van Frankenhuyzen K. Cross-order and cross-phylum activity of *Bacillus thuringiensis* pesticidal proteins // *Journal of Invertebrate Pathology*. 2013. Vol. 114, Issue 1. P. 76–85. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2013.05.010>
13. Vinokurov K., Taranushenko Y., Krishnan N., Sehnal F. Proteinase, amylase, and proteinase-inhibitor activities in the gut of six cockroach species // *Journal of Insect Physiology*. 2007. Vol. 53. P. 794–802. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2007.02.019>
14. Zukowski K. Badania laboratoryjne przydatności biopreparatu Dipel w redukcji prusaków (*Blattella germanica* L.) // *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. 1993. Vol. 44(2-3). P. 227–230. <https://europepmc.org/article/med/8016546>
15. Zukowski K. Badania efektywności wybranych biopreparatów owadobójczych w redukcji liczebności prusaków (*Blattella germanica* L.) [Testing effectiveness of selected bio-insecticides for reducing the population of cockroaches (*Blattella germanica* L.)] // *Rocz Panstw Zakl Hig*. 1994. Vol. 45(1-2). P. 139-144.

16. Zulfiana D., Rini M. S., Wikantyo B., Krishanti N. P. R. A. Efficacy test on some entomopathogenic bacterial isolates of the *Periplaneta americana* and *Blattella germanica* Cockroaches (Orthoptera) at Laboratory scale. *Biosaintifika // Journal of Biology & Biology Education*. 2018. Vol. 10(2). P. 306–312. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v10i2.12934>

References

1. Grebtsova E. A. *Morphofunctional characterization and osmoregulatory reactions of hemocytes of representatives of the order Dictyoptera* [Place of Defense: Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin]. Belgorod, 2017, 184 p.
2. Prisny A.A. *Comparative analysis of the morphofunctional status of cellular elements of circulating fluids of invertebrate animals*. Belgorod, 2016, 403 p.
3. Crickmore N., Zeigler D. R., Feitelson J., Schnepf E., Van Rie J., Lereclus D., Baum J., Dean D. H. Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 1998, vol. 62(3), pp. 807–813. <https://doi.org/10.1128/membr.62.3.807-813.1998>
4. Galán Rodellar, Juan José. Susceptibilidad De *Blattella Germanica* (L.) (Dictyoptera, Blattellidae) Y *Blaptica Dubia* (Blattodea, Blaberidae) a Proteínas De *Bacillus Thuringiensis* (Berliner). Trabajos Fin de Máster ETSIA - NIGMET Master Amaierako Lanak, 2021. <https://hdl.handle.net/2454/39392>
5. Ferré J., Van Rie J., Macintosh S. C. Insecticidal genetically modified crops and insect resistance management (IRM). *Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops within IPM Programs*, 2008, pp. 41–85. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8373-0_3
6. Fiuza L. M., Berlitz D. L., de Oliveira J. V., Knaak N. *Bacillus thuringiensis*: different targets and interactions. *Bacillus thuringiensis and Lysinibacillus sphaericus: Characterization and use in the field of biocontrol*. 2017, pp. 111–126. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56678-8_9
7. Jaquet F., Hütter R., Lüthy P. Specificity of *Bacillus thuringiensis* deltaEndotoxin. *Applied and Environmental Microbiology*, 1987, vol. 53(3), pp. 500–504. <https://doi.org/10.1128/AEM.53.3.500-504.1987>
8. Jones J. C. Forms and functions of insect hemocytes. *Invertebrate Immunity*, eds. K. Maramorosch and R. E. Shoppe, 1975, pp. 119–129.
9. Lee M. K., Miles P., Chen J. S. Brush border membrane binding properties of *Bacillus thuringiensis* Vip3A toxin to *Heliothis virescens* and *Helicoverpa zea* midguts. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2006, vol. 339(4), pp. 1043–1047. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2005.11.112>

10. Li Y., Schal C., Pan X., Huang Y., Zhang F. Effects of antibiotics on the dynamic balance of bacteria and fungi in the gut of the German Cockroach. *Journal of Economic Entomology*, 2020, vol. 113(6), pp. 2666–2678. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa205>
11. Pan X. Y., Zhang F. Advances in biological control of the German cockroach, *Blattella germanica* (L.). *Biological Control*, 2020, vol. 142. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104104>
12. van Frankenhuyzen K. Cross-order and cross-phylum activity of *Bacillus thuringiensis* pesticidal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2013, vol. 114, issue 1, pp. 76–85. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2013.05.010>
13. Vinokurov K., Taranushenko Y., Krishnan N., Sehnal F. Proteinase, amylase, and proteinase-inhibitor activities in the gut of six cockroach species. *Journal of Insect Physiology*, 2007, vol. 53, pp. 794–802. <https://doi.org/10.1016/j.jinphys.2007.02.019>
14. Zukowski K. Badania laboratoryjne przydatności biopreparatu Dipel w redukcji prusaków (*Blattella germanica* L.). *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, 1993, vol. 44(2-3), pp. 227–230. <https://europepmc.org/article/med/8016546>
15. Zukowski K. Badania efektywnosci wybranych biopreparatów owadobójczych w redukcji liczebności prusaków (*Blattella germanica* L.) [Testing effectiveness of selected bio-insecticides for reducing the population of cockroaches (*Blattella germanica* L.)]. *Rocz Panstw Zakl Hig.*, 1994, vol. 45(1-2), pp. 139-144.
16. Zulfiana D., Rini M. S., Wikantyo B., Krishanti N. P. R. A. Efficacy test on some entomopathogenic bacterial isolates of the *Periplaneta americana* and *Blattella germanica* Cockroaches (Orthoptera) at Laboratory scale. Biosaintifika. *Journal of Biology & Biology Education*, 2018, vol. 10(2), pp. 306–312. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v10i2.12934>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гребцова Елена Александровна, кандидат биологических наук, ст. преподаватель кафедры биологии
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация
Grebtsova_e@bsu.edu.ru

Присный Андрей Андреевич, доктор биологических наук, директор Института фармации, химии и биологии
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация
prisnyy@bsu.edu.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Grebtsova, PhD in Biology, Senior Lecturer of Biological Department
Belgorod State National Research University
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation
Grebtsova_e@bsu.edu.ru

Andrew A. Prisnyi, PhD in Biology, Head of the Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology
Belgorod State National Research University
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation
prisnyy@bsu.edu.ru

Поступила 27.02.2024

После рецензирования 28.03.2024

Принята 01.04.2024

Received 27.02.2024

Revised 28.03.2024

Accepted 01.04.2024