
PLANT PROTECTION AND STORAGE PRODUCTS

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2022.28.8.012>

Krestonoshina K.S.¹, Kinareikina A.G.², Maslakova K.Yu.³, Yangirova L.Ya.⁴, Melnichuk A.D.⁵, Ivantsov S.S.⁶,
Esaulkova K.A.⁷, Legai I.V.⁸, Siben G.V.⁹

¹⁻⁹All-Russian Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Branch of the Tyumen Scientific Research Center Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

* Corresponding author (krutko.k.s[at]hotmail.com)

Received: 03.12.2022; Accepted: 07.12.2022; Published: 19.12.2022

CHLORFENAPYR AS A MEANS OF COMBATING RESISTANT INSECT POPULATIONS

Review

Abstract

Knowledge about the mechanisms of resistance development to widely used insecticides and their inheritance in insects is necessary for effective pest control. The article describes the effect mechanism of the pyrrole insecticide chlorfenapyr, outlines information about the effectiveness of its use against different types of insects in laboratory and field conditions. The analysis of literary data from Russian and foreign sources over the past 20 years has been carried out. The data on research of insect resistance to chlorfenapyr are presented, the successes achieved in understanding the mechanisms of resistance formation in insects are described, and the main directions in modern research are established. The prospects of using chlorfenapyr to control the number of resistant insect populations are evaluated.

Keywords: insecticidal resistance, insecticides, proinsecticides, resistance mechanisms, pests.

Крестонюшина К.С.¹, Кинарейкина А.Г.², Маслакова К.Ю.³, Янгирова Л.Я.⁴, Мельничук А.Д.⁵, Иванцов С.С.⁶,
Есаулкова К.А.⁷, Легай И.В.⁸, Сибен Г.В.⁹

¹⁻⁹Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия

* Корреспондирующий автор (krutko.k.s[at]hotmail.com)

Получена: 03.12.2022; Доработана: 07.12.2022; Опубликована: 19.12.2022

ХЛОРФЕНАПИР КАК СРЕДСТВО БОРЬБЫ С РЕЗИСТЕНТНЫМИ ПОПУЛЯЦИЯМИ НАСЕКОМЫХ

Обзор

Аннотация

Знания о механизмах развития резистентности и их наследовании у насекомых к широко применяемым инсектицидам необходимы для эффективной борьбы с насекомыми вредителями. В статье описан механизм действия пирролового инсектицида хлорфенапира, обобщены сведения об эффективности его применения против разных видов насекомых в лабораторных и полевых условиях. Проведен анализ литературных данных российских и зарубежных источников за последние 20 лет. Представлены данные по исследованиям устойчивости насекомых к хлорфенапиру, описаны успехи, достигнутые в понимании механизмов формирования резистентности у насекомых, и обозначены основные направления в современных исследованиях. Оценены перспективы использования хлорфенапира для контроля численности резистентных популяций насекомых.

Ключевые слова: инсектицидная устойчивость, инсектициды, проинсектициды, механизмы устойчивости, вредители.

1. Введение

Примерно с 1950-х годов основным методом борьбы с насекомыми вредителями является контроль их численности с помощью химических средств [21], [39]. За последние несколько десятилетий при постоянном росте мирового производства продовольствия использование пестицидов в сельском хозяйстве увеличилось [12], [20]. Например, в Бразилии рынок пестицидов значительно расширился за последнее десятилетие (190%) [16]; по оценкам BusinessStat, в 2017-2021 гг производство пестицидов в России увеличилось в 1,7 раза: с 86,8 тыс т до 148,9 тыс т, доля инсектицидов к 2021 г составляла 12,5% [7]. Несмотря на важность применения инсектицидов в сельском хозяйстве с

точки зрения повышения урожайности сельскохозяйственных культур, их интенсивное использование (длительное применение одних и тех же препаратов, дополнительные опрыскивания, увеличение применяемых доз) приводит к выработке устойчивости (резистентности) к инсектицидам у насекомых природных популяций [24], [40]. Кроме того, пестициды способны распространяться в окружающей среде на расстояние от нескольких метров до нескольких сотен километров [12], что приводит к их накоплению в почве, воде и воздухе [22]. Таким образом, увеличение антропогенного рассеивания пестицидов в последующем приводит к значительным рискам загрязнения окружающей среды и к потенциально опасным последствиям для здоровья людей, животных [20], [34], нецелевых видов насекомых (например, медоносных пчел) [12], [22], [25], [42].

Проблема инсектицидной резистентности и кросс-резистентности актуальна во всем мире в сфере защиты растений, в ветеринарии и медицине [9], [11], [18], [52]. Появление устойчивых популяций насекомых к широко применяемым инсектицидам [1], [5], [6], [9] требует использования новых действующих веществ, комбинированных средств и схем ротации препаратов, основанных на понимании механизмов действия инсектицидов [54], [2], [3]. Перспективным для борьбы с устойчивыми популяциями насекомых является хлорфенапир - представитель относительно новой для России группы инсектицидов (производных пиррола) [4]. Настоящий обзор написан с целью дать краткую характеристику хлорфенапира и описать возможности его использования для борьбы с устойчивыми популяциями насекомых.

2. Характеристика хлорфенапира

Технический хлорфенапир (4-бром-5-трифторметил-2-(4-хлорфенил)-циан-1-этоксиметилпиррол, шифр АС 303630) представляет собой порошок белого, светло-желтого или светло-коричневого цвета с характерным запахом. Эмпирическая формула $C_{15}H_{11}BrClF_3N_2O$, молярная масса 407,6, химическая структура представлена на Рис. 1. Хорошо растворим в органических растворителях (растворимость в ацетоне 114 г/100 мл, в ацетонитриле 68,4 г/100 мл). Растворимость в деионизированной воде 0,12 мг/мл. Впервые был зарегистрирован в США в 2001 году [46].

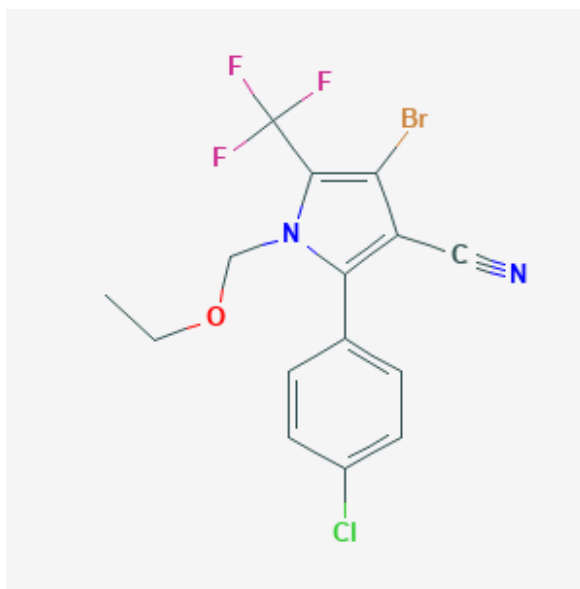


Рис. 1 – Химическая структура хлорфенапира

Примечание: источник: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

Технический хлорфенапир по результатам определения острой оральной токсичности (СД50 для крыс 626 мг/кг) относится ко II классу опасности, острой дермальной (СД50 для кроликов >2000 мг/кг) и ингаляционной (СК50 для крыс 1,9 мг/л) токсичности – к III классу опасности. По раздражающему действию на глаза и кожу (кролики) – к III и IV классу соответственно. При изучении субхронической токсичности хлорфенапира при оральном поступлении на протяжении 90 дней минимальная доза, вызывающая признаки интоксикации (уменьшение массы тела, увеличение веса печени, уменьшение уровня гемоглобина), составила для крыс 48,4 мг/кг/день, для мышей 14,8-40,0 мг/кг/день. Хлорфенапир не влиял на развитие плода у крыс и кроликов, не обладал мутагенным эффектом на клетки бактерий и млекопитающих в опытах *in vitro* и *in vivo*. У млекопитающих хлорфенапир при оральном поступлении выводится с фекалиями в неизменном виде, метаболиты экскретируются в основном с мочой, аккумуляция в тканях минимальна [46].

Хлорфенапир обладает преимущественно кишечной и некоторой контактной активностью против насекомых с сосущим и грызущим ротовым аппаратом, является нематоцидом и акарицидом широкого спектра действия, не является репеллентом [4], [46]. Эффективен против тараканов, постельных клопов, муравьев, кровососущих мух, комаров, термитов и клещей, включая популяции, устойчивые к карбаматам, ФОС, пиретроидам и ингибиторам биосинтеза хитина [4].

3. Механизм действия хлорфенапира

Хлорфенапир является проинсектицидом, который в организме насекомых при участии ферментов оксидаз смешанной функции превращается в токсичное соединение. Согласно классификации международного комитета по резистентности IRAC, хлорфенапир отнесен к классу 13 «Разобщители окислительного фосфорилирования посредством разрыва протонного градиента» [54], [43]. Окислительное удаление N-этоксиметильной группы хлорфенапира монооксигеназами цитохром P450 приводит к образованию токсической формы молекулы, идентифицированной как CL 303268 (4 - бром - 2 - (p-хлорфенил) - 5 - (трифторметил) - 1Н - пиррол - 3 - карбонитрил) [23]. Действует как протонофор, нарушая протонный градиент в митохондриях, что приводит к перебоям в синтезе АТФ, энергетическому голоданию клеток и в итоге к гибели организма [54], [23].

Согласно литературным данным, токсичность хлорфенапира ночью увеличивается, поскольку некоторые цитохромы P450, участвующие в окислительном метаболизме, находятся под циркадианным контролем и сильнее экспрессируются в ночное время [30]. Также токсическое действие инсектицида изменяется в зависимости от температуры. При высоких температурах, предположительно, из-за повышения интенсивности метаболизма и клеточного дыхания смертность возрастает [35].

4. Сведения об эффективности применения хлорфенапира

Как большинство других инсектоакарицидов, хлорфенапир впервые начал использоваться для защиты растений от вредителей, затем стали проводиться работы по изучению его эффективности против насекомых и клещей, имеющих медицинское значение. Так, СК50 хлорфенапира против личинок комара *Aedes aegypti* составила 16 нг/мл, против взрослых комаров 92 нг/см² [10]. В опытах в Бенине хлорфенапир при опрыскивании помещений вызывал более высокую гибель (более 79,5%) москитов, чем препараты на основе пиретроидов (61,7%) на протяжении нескольких недель [31]. Высокая энтомологическая эффективность против москитов *Aedes aegypti* (80–97% на протяжении 5 месяцев) и продолжительное остаточное действие (до 7 месяцев) были показаны в полевых исследованиях в Мексике [13]. Остаточное действие хлорфенапира против баклажанной блошки (гибель 50% или более насекомых) при обработке листьев растения (СК50 0,00025%) сохранялось минимум 6 дней [29]. В Аргентине была изучена эффективность ушных бирок, содержащих 30% хлорфенапира (вес бирки 13 г) против жигалок *Haematobia irritans* L. для защиты крупного рогатого скота. Защитный эффект хлорфенапира на уровне 90% в группе телок с бирками длился 9 недель по сравнению с контрольной группой, находившейся рядом с опытной, и 12 недель по сравнению с контрольной группой, удаленной от опытной на 700 м. Авторы пришли к заключению, что ушные бирки с хлорфенапиром являются полезной альтернативой пиретроидам и органофосфатам для защиты животных от жигалок [19].

В лабораторных опытах хлорфенапир (в форме аэрозоля) был одинаково эффективен против чувствительных и устойчивых к пиретроидам культур постельного клопа, при этом остаточное инсектицидное действие его сохранялось в течение 4 месяцев и не приводило к появлению избегающего поведения насекомых [41]. Перекрестной резистентности к хлорфенапиру, как было обнаружено в работах N'Guessan R. et al., у устойчивых к пиретроидам и ФОСам малярийных комаров не возникает, однако хлорфенапир по сравнению с нейротоксическими инсектицидами проявлял свою активность медленнее, между 24 и 72 ч [32].

В настоящее время хлорфенапир широко используется как нерепеллентный инсектицид в Америке, Европе, Африке, Тихо-Океанском регионе и Среднем Востоке [4], [14]. Оценив чувствительность природных популяций хлопковой совки *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) к 11 инсектицидам, Wang с соавт. (2021) пришли к выводу, что хлорфенапир может быть эффективен для контроля численности данного вида вредителей [49]. В странах, где препараты на основе хлорфенапира применяют для защиты растений длительное время, отмечают появление устойчивых к нему популяций вредителей [37], [45]. Например, при оценке уровня чувствительности природных популяций цветочного трипса *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) в Китае к широко применяемым инсектицидам из 14 исследованных только три популяции обладали высокой чувствительностью к хлорфенапиру, остальные проявили снижение чувствительности к инсектициду [53].

Считается, что благодаря особому механизму действия, хлорфенапир обладает низким риском развития кросс-резистентности к традиционным нейротоксичным инсектицидам [15], [23], [33], [38]. Например, отрицательная перекрестная резистентность (повышенная восприимчивость) к хлорфенапиру, наблюдалась у линий с P450-опосредованной резистентностью к инсектицидам – роговой мухи (*Haematobia irritans*) и табачной листовёртки (*Heliothis virescens*), но этот эффект не проявлялся у малярийных комаров *Anopheles stephensi*, характеризующихся повышенной активностью P450 [33]. Однако существует предположение о высоком риске кросс-резистентности к индоксокарбу и изопрокарбу [51].

5. Механизм формирования устойчивости

Понимание механизмов, лежащих в основе инсектицидной резистентности, важно для эффективного контроля и борьбы с устойчивостью. У насекомых существует множество способов развить устойчивость к инсектицидам, и есть вероятность, что одновременно присутствует более одного механизма [17], [36].

Точный механизм формирования резистентности к хлорфенапиру полностью не установлен. Возможный механизм устойчивости к хлорфенапиру описан для паутиного клеща *Tetranychus urticae* Koch. и связан с увеличением активности монооксигеназ и эстераз, а также с уменьшением проницаемости кутикулы [48]. Развитие устойчивости к хлорфенапиру, изучавшееся на лабораторно полученной резистентной культуре паутиного клеща, сопровождалось увеличением эстеразной и P450 монооксигеназной активности и уменьшением активности

тетраметилбензидинпероксидазы [47]. Результаты токсикологических опытов с особями хлорфенапир-резистентной линии *Oxycarenus hyalinipennis* Costa свидетельствуют о возможном вовлечении эстераз в формирование резистентности к хлорфенапиру [45]. Было показано повышение активности и уровня экспрессии отдельных изоформ глутатион-S-трансферазы у личинок *Glyphodes pyloalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) через 12, 24, 36 и 48 ч после воздействия хлорфенапиром [28]. В опытах на мультирезистентной линии скошеннополосой листовёртки *Choristoneura rosaceana* Hag. диэтилмалеат (DEM, ингибитор глутатион-S-трансфераз) проявлял синергетический эффект с хлорфенапиром, что указывает на участие глутатионтрансфераз в детоксикации хлорфенапира [8]. Вместе с тем, авторы исследований резистентных популяций капустной моли *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) пришли к выводу, что указанные выше ферменты не участвуют в формировании устойчивости к хлорфенапиру [50].

В нескольких независимых исследованиях, изучающих резистентность к хлорфенапиру на различных видах насекомых, пришли к выводу, что генетический механизм устойчивости, вероятно, носит аутосомный характер и не связан с полом. А значение доминантности во многом зависит от концентрации инсектицида: при более высокой концентрации устойчивость была полностью рецессивной, а при самой низкой концентрации неполностью доминантной [45]. Также результаты отдельных исследований не согласуются с моногенной моделью, возможно из-за влияния аддитивных генетических эффектов, что может указывать на то, что устойчивость является полигенной [26], [27], [48]. Однако, у вида *T. urticae*, в основе резистентности лежал полностью доминантный и моногенный механизм наследования [44]. Различия в генетике механизмов устойчивости могут быть связаны с различной историей селекции, географическим происхождением видов, механизмами детоксикации и конкретными изучаемыми видами, а также концентрацией инсектицида [17]. Основываясь на литературных данных и результатах собственных исследований Ullah et al. высказали предположение о том, что механизм формирования резистентности к хлорфенапиру у насекомых и клещей может быть видоспецифичным [45].

6. Заключение

Приведенные литературные данные свидетельствуют о возможности использования хлорфенапира для контроля численности насекомых-вредителей. Хлорфенапир отличается по механизму действия от широко распространенных инсектицидов (пиретроидов, неоникотиноидов, ФОС), что является важным аргументом в пользу перспективности его применения против резистентных популяций насекомых. Однако необходимы исследования для выяснения механизмов формирования устойчивости к нему у насекомых и оценки вероятности развития кросс-резистентности с инсектицидами других химических групп.

Funding

This work was supported by the Ministry of Science and Education of the Russian Federation, scientific topic 1022062400021-2-1.6.14 "Study of molecular biology, biochemistry and genetics of insecticidal resistance" (FWRZ-2022-0022).

Финансирование

Данная работа была поддержана Министерством науки и образования РФ, научная тема 1022062400021-2-1.6.14 "Изучение молекулярной биологии, биохимии и генетики инсектицидной резистентности" (FWRZ-2022-0022).

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

References

1. Беньковская Г. В. Распространение резистентности к инсектицидам в сибирских популяциях колорадского жука в связи с территориальной экспансией вредителя / Г. В. Беньковская, И. М. Дубовский // Вестник защиты растений. – 2020. – Т. 103. – № 1. – С. 37–39.
2. Давлианидзе Т. А. Санитарно-эпидемиологическое значение и резистентность к инсектицидам комнатных мух *Musca domestica* (аналитический обзор литературы 2000-2021 гг.) / Т. А. Давлианидзе, О. Ю. Еремина // Вестник защиты растений. – 2021. – Т. 104 – № 2. – С. 72–86.
3. Давлианидзе Т. А. Проинсектициды / Т. А. Давлианидзе, О. Ю. Еремина // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. – 2021. – № 1. – С. 54–63.
4. Еремина О. Ю. Хлорфенапир – перспективный инсектицид из группы пирролов для борьбы с резистентными синантропными насекомыми / О. Ю. Еремина // Пест-Менеджмент. – 2017. – № 1 (101). – С. 41–49.
5. Леонтьева Т. Л. Развитие устойчивости к инсектицидам у колорадского жука на территории республики Башкортостан / Т. Л. Леонтьева, Л. А. Сыртланова, Г. В. Беньковская // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (38). – С. 11–14.
6. Сухорученко Г. И. Резистентность к инсектицидам вредителей семенного картофеля в России / Г. И. Сухорученко, Г. П. Иванова, Т. И. Васильева и др. // Тезисы докладов: XVI Съезд русского энтомологического общества. – М. : ООО «Товарищество научных изданий КМК», 2022. – С. 122.
7. BusinesStat [сайт]. – URL:<https://businesstat.ru/news/pesticides/> (дата обращения: 20.11.2022).

8. Ahmad M. Synergism of insecticides provides evidence of metabolic mechanisms of resistance in the obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) / M. Ahmad, R.M. Hollingworth // *Pest Management Science*. – 2004. – V.60(5). – P.465–473. – DOI: 10.1002/ps.829
9. Ahmadi E. Dichlorvos Resistance in the House Fly Populations, *Musca domestica*, of Iranian Cattle Farms / E. Ahmadi, J. Khajehali // *Journal of arthropod-borne diseases*. – 2020. – V. 14(4). – P. 344–352.
10. Ayesa P. Evaluation of Novel Insecticides for Control of Dengue Vector *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) / P. Ayesa, L. C. Harrington, G. J. Scott // *Journal of Medical Entomology*. – 2006. – V. 43. – Is. 1. – P. 55–60.
11. Bass C. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides / C. Bass, I. Denholm, M. S. Williamson et al. // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. – 2015. – V. 121. – P. 78–87.
12. Casu V. Soluble esterases as biomarkers of neurotoxic compounds in the widespread serpulid *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel, 1923) / V. Casu, F. Tardelli, L. De Marchi et al. // *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. – 2019. – V.54(11). – P. 883–891. – DOI: 10.1080/03601234.2019.1640028.
13. Che-Mendoza A. Efficacy of targeted indoor residual spraying with the pyrrole insecticide chlorfenapyr against pyrethroid-resistant *Aedes aegypti* / A. Che-Mendoza, G. González-Olvera, A. Medina-Barreiro et al. // *PLOS Neglected Tropical Diseases*. – 2021. – V.15(10). – e0009822. –DOI: 10.1371/journal.pntd.0009822
14. Chien S-C. A fatal case of chlorfenapyr poisoning and a review of the literature / S-C. Chien, Y-J. Su // *Journal of International Medical Research*. – 2022. – M.50(9). 3000605221121965. – DOI: 10.1177/03000605221121965
15. Corine N. Chlorfenapyr (A Pyrrole Insecticide) Applied Alone or as a Mixture With Alpha-Cypermethrin for Indoor Residual Spraying Against Pyrethroid Resistant *Anopheles gambiae* SI: An Experimental Hut Study in Cove, Benin / N. Corine, C. Ngufor, J. Critchley et al. // *PLoS One*. – 2016. – V. 11:9. – P. 1–14.
16. Freitas A.P. Evaluation of a Brain Ace-tylcholinesterase Extraction Method and Kinetic Constants after Methyl-Paraoxon Inhibition in Three Brazilian Fish Species / A.P. Freitas, C.R. Santos, P.N. Sarcinelli et al. // *PLoS One*. – 2016. – V.11(9) – e0163317. – DOI: 10.1371/journal.pone.0163317
17. Georghiou G. P. Management of resistance in arthropods / G. P. Georghiou // *Pest resistance to pesticides*. – Springer, Boston, MA, 1983. – P. 769–792.
18. Gonzalez-Morales M. A. Resistance to Fipronil in the Common Bed Bug (Hemiptera: Cimicidae) / M. A. Gonzalez-Morales, Z. DeVries, A. Sierras et al. // *Journal of Medical Entomology*. – 2021. – V. 58(4). – P. 1798–1807.
19. Guglielmo A. A. Chlorfenapyr ear tags to control *Haematobia irritans* (L.) (Diptera: Muscidae) on cattle / A. A. Guglielmo, M. M. Volpogni, N. Scherling et al // *Veterinary Parasitology*. – 2000. – V. 93. – P. 77–82.
20. Indira Devi P. Agrochemicals, Environment, and Human Health / P. Indira Devi, M. Manjula, R. V. Bhavani // *Annual Review of Environment and Resources*. – 2022. – V. 47(1) – P. 399–421.
21. Kakani E. G. Detection and geographical distribution of the organophosphate resistance-associated Delta 3Q ace mutation in the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) / E. G. Kakani, E. Sagri, M. Omirou et al. // *Pest management science*. – 2014. – V. 70(5). – P. 743–750.
22. Karmaz E. New Nanospheres to Use in the Determination of ImidanPhosmet and Vantex Pesticides / E. Karmaz, E. H. Ozkan, N. K. Yetim et al. // *Journal of inorganic and organometallic polymers and materials*. – 2021. – V. 31(7). – P. 2915–2924.
23. Kouassi B. L. Susceptibility of *Anopheles gambiae* from Cote d'Ivoire to insecticides used on insecticide-treated nets: evaluating the additional entomological impact of piperonyl butoxide and chlorfenapyr / B. L. Kouassi, E. Constant, E. Tia et al. // *Malaria journal*. – 2020. – Vol. 19. – V. 1. – № 454. – P. 1–11.
24. Kristensen M. Selection and reversion of azamethiphos-resistance in a field population of the housefly *Musca domestica* (Diptera :Muscidae), and the underlying biochemical mechanisms / M. Kristensen, M. Knorr, A. G. Spencer et al. // *Journal of economic entomology*. – 2000. – V. 93(6). – P. 1788–1795.
25. Lang G. J. Can Acetylcholinesterase Serve as a Target for Developing More Selective Insecticides? / G. J. Lang, K. Y. Zhu, C. X. Zhang // *Current drug targets*. – 2012. – V. 13(4). – P. 495–501
26. Lima Neto J. E. Inheritance and fitness of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to chlorfenapyr / J. E. Lima Neto, L. M. da Solidade Ribeiro, H. A. A. de Siqueira // *Journal of Economic Entomology*. – 2021. – V. 114. – №. 2. – P. 875–884.
27. Lima Neto J. E. Selection of *Plutella xylostella* (L.)(Lepidoptera: Plutellidae) to chlorfenapyr resistance: heritability and the number of genes involved / J. E. Lima Neto, H. A. A. de Siqueira // *Revista Caatinga*. – 2017. –V. 30. – P. 1067–1072.
28. Liu Z.X. The role of Glutathione-S-transferases in phoxim and chlorfenapyr tolerance in a major mulberry pest, *Glyphodes pyloalis walker* (Lepidoptera: Pyralidae) / Z.X. Liu, X.R. Xing, X.H. Liang et al. // *Pestic Biochem Physiol*. – 2022. – V.181. – 105004. – DOI: 10.1016/j.pestbp.2021.
29. McLeod P. Toxicity, persistence, and efficacy of spinosad, chlorfenapyr, and thiamethoxam on eggplant when applied against the eggplant flea beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) / P. McLeod, F. J. Diaz, D. T. Johnson // *J Econ Entomol*. – 2002. – V. 95(2). – P.331–335.
30. Mosha F. W. Experimental Hut Evaluation of the Pyrrole Insecticide Chlorfenapyr on Bed Nets for the Control of *Anopheles Arabiensis* and *Culex Quinquefasciatus* / F. W. Mosha, I. N. Lyimo, R. M. Oxborough et al. // *Wiley Online Library*. – 2008. – V. 13(5). – P. 644–652.
31. N'Guessan R. Control of pyrethroid-resistant *Anopheles gambiae* and *Culex quinquefasciatus* mosquitoes with chlorfenapyr in Benin / R. N'Guessan, P. Boko, A. Odjo et al // *Tropical Medicine & International Health*. – 2009. – V. 14. – Is. 4. – P. 389–395.
32. N'Guessan R. Chlorfenapyr: a pyrrole insecticide for the control of pyrethroid or DDT resistant *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) mosquitoes / R. N'Guessan, P. Boko, A. Odjo et al // *Acta Trop*. – 2007. – V. 102(1). – P. 69–78.

33. Oliver S. V. Evaluation of the pyrrole insecticide chlorfenapyr against pyrethroid resistant and susceptible *Anopheles funestus* (Diptera: Culicidae) / S. V. Oliver, M. L. Kaiser, O. R. Wood et al. // Wiley Online Library. – 2010. – V. 15(1). – P. 127–131.
34. Omwenga I. Prediction of dose-dependent in vivo acetylcholinesterase inhibition by profenofos in rats and humans using physiologically based kinetic (PBK) modeling-facilitated reverse dosimetry / I. Omwenga, S. S. Zhao, L. Kanja et al. // Archives of toxicology. – 2021. – V. 95(4). – P. 1287–1301.
35. Oxboroug R. M. The Activity of the Pyrrole Insecticide Chlorfenapyr in Mosquito Bioassay: Towards a More Rational Testing and Screening of Non-Neurotoxic Insecticides for Malaria Vector Control / R. M. Oxboroug, R. N'Guessan, R. Jones, et al. // Part of Springer Nature. – 2015. – V. 14.:124. – P. 1–11.
36. Poupardin R. Identification of carboxylesterase genes implicated in temephos resistance in the dengue vector *Aedes aegypti* / R. Poupardin, W. Srisukontarat, C. Yunta et al. // PLOS Neglected Tropical Diseases. – 2014. – V. 8(3). – P. 1–11.
37. Qayyum M.A. Multiple Resistances Against Formulated Organophosphates, Pyrethroids, and Newer-Chemistry Insecticides in Populations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) from Pakistan / M.A. Qayyum, W. Wakil, M. J. Arif et al. // Journal of Economic Entomology. – 2015. – V.108(1). – P. 286–293. – DOI: 10.1093/jee/tou037
38. Raghavendra K. Chlorfenapyr: a new insecticide with novel mode of action can control pyrethroid resistant malaria vectors / K. Raghavendra, T.K. Barik, P. Sharma et al.// Malaria Journal. – 2011. – V. 10: 16. – DOI: 10.1186/1475-2875-10-16
39. Ranian K. Evaluation of Resistance to Some Pyrethroid and Organophosphate Insecticides and Their Underlying Impact on the Activity of Esterases and Phosphatases in House Fly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) / K. Ranian, M.K. Zahoor, M.A. Zahoor et al. // Polish Journal of Environmental Studies. – 2021. – V.30(1). – P. 327–336. – DOI: 10.15244/pjoes/96240
40. Riaz B. Frequency of Pyrethroid Insecticide Resistance *kdr* Gene and Its Associated Enzyme Modulation in Housefly, *Musca domestica* L. Populations From Jhang, Pakistan / B. Riaz, M. K. Zahoor, K. Malik et al. // Frontiers in environmental science. – 2022. – V. 9. – № 806456. – P. 1–15.
41. Romero A. Evaluation of chlorfenapyr for control of the bed bug, *Cimex lectularius* L. / A. Romero, M. F. Potter, K. F. Haynes // Pest Management Science. – 2010. – V. 66. – Issue 11. – P. 1243–1248.
42. Sami A. J. A Comparative Study of Inhibitory Properties of Saponins (derived from *Azadirachta indica*) for Acetylcholinesterase of *Tribolium castaneum* and *Apis mellifera* / A. J. Sami, S. Bilal, M. Khalid et al. // Pakistan journal of zoology. – 2018. – V. 50(2). – P. 725–733
43. Sparks T. C. Insecticide resistance management and industry: the origins and evolution of the Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) and the mode of action classification scheme / T. C. Sparks, N. Storer, A. Porter, R. Slater, R. Nauen // Pest Management Science. – 2021. – V. 77. – P. 2609–2619. – DOI: 10.1002/ps.6254
44. Uesugi R. Genetic basis of resistances to chlorfenapyr and etoxazole in the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) / R. Uesugi, K. Goka, M. H. Osakabe // Journal of economic entomology. – 2002. – V. 95. – №. 6. – P. 1267–1274.
45. Ullah S. Genetics, realized heritability and possible mechanism of chlorfenapyr resistance in *Oxycarenus hyalinipennis* (Lygaeidae: Hemiptera) / S. Ullah, R. M. Shah, S. A. Shad // Pesticide Biochemistry and Physiology. – 2016. – V. 133. – P. 91–96.
46. [US EPA] United States Environmental Protection Agency. Fact Sheets on New Active Ingredients. Pesticide Fact Sheet: Chlorfenapyr. – 2001. – URL: https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-129093_01-Jan-01.pdf (accessed: 30.11.2022).
47. van Leeuwen T. Biochemical analysis of a chlorfenapyr-selected resistant strain of *Tetranychus urticae* Koch / T. van Leeuwen, S. van Pottelberge, L. Tirry // Pest Management Science. – 2006. – V.62(5). – P.425–433.
48. van Leeuwen T. Genetic analysis and cross-resistance spectrum of a laboratory-selected chlorfenapyr resistant strain of two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) / T. van Leeuwen, V. Stillatus, L. Tirry // Experimental & applied acarology. – 2004. – V. 32. – №. 4. – P. 249–261.
49. Wang Q. Field-evolved resistance to 11 insecticides and the mechanisms involved in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) / Q. Wang, C. Rui, L. Wang, et al. // Pest Management Science. – 2021. – V.77. – P. 5086–5095. – DOI: 10.1002/ps.6548
50. Wang X. Long-term monitoring and characterization of resistance to chlorfenapyr in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from China / X. Wang, J. Wang, X. Cao et al. // Pest Management Science. – 2019. – V.75(3). – P. 591–597. – DOI: 10.1002/ps.5222
51. Wei Q. Comparison of Insecticide Susceptibilities of *Empoasca vitis* (Hemiptera: Cicadellidae) from Three Main Tea-Growing Regions in China / Q. Wei, H.-Y. Yu, C.-D. Niu, et al. // Journal of Economic Entomology. – 2015. – V.108(3). – P.1251–1259. – DOI: 10.1093/jee/tov063
52. World Health Organization. Test procedures for insecticide resistance monitoring in malaria vector mosquitoes, 2nd ed.. World Health Organization. – 2016 – <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250677> (accessed: 30.11.2022).
53. Zhang K. Susceptibility levels of field populations of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) to seven insecticides in China / K. Zhang, J. Yuan, J. Wang et al. // Crop Protection. – 2022. – V. 153. – 105886. – DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105886.
54. Irac-online [сайт]. – URL: <https://irac-online.org> (accessed: 30.11.2022).

References in English

1. Ben'kovskaya G. V. Rasprostranenie rezistentnosti k insektitsidam v sibirskih populyatsiyah koloradskogo zhuka v svyazi s territorial'noj ekspansiej vreditelya [The spread of insecticide resistance in Siberian populations of the Colorado potato beetle in connection with the territorial expansion of pests] / G. V. Ben'kovskaya, I. M. Dubovskij // Vestnik zashchity rastenij [Bulletin of Plant Protection]. – 2020. – V. 103. № 1. – P. 37–39. [in Russian]

2. Davlianidze T. A. Sanitarno-epidemiologicheskoe znachenie i rezistentnost' k insekticidam komnatnyh muh *Musca domestica* (analiticheskij obzor literatury 2000-2021 gg.) [Sanitary and epidemiological significance and insecticide resistance of houseflies *Musca domestica* (analytical literature review 2000-2021)] / T. A. Davlianidze, O. YU. Eremina // Vestnik zashchity rastenij [Bulletin of Plant Protection]. – 2021. – V. 104, № 2. – P. 72–86. [in Russian]
3. Davlianidze T. A. Proinsekticydy [Proinsecticides] / T. A. Davlianidze, O. YU. Eremina // Medicinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni [Medical parasitology and parasitic diseases]. – 2021. – № 1. – P. 54–63. [in Russian]
4. Eremina O. YU. Hlorfenapir – perspektivnyj insekticid iz gruppy pirrolov dlya bor'by s rezistentnymi sinantropnymi nasekomymi [chlorphenapir is a promising insecticide from the pyrrole group for the control of resistant synanthropic insects] / O. YU. Eremina // Pest-Menedzhment [Pest Management]. – 2017. – № 1 (101). – P. 41–49. [in Russian]
5. Leont'eva T. L. Razvitie ustojchivosti k insekticidam u koloradskogo zhuka na territorii respubliki Bashkortostan [Development of insecticide resistance in the Colorado potato beetle in the Republic of Bashkortostan] / T. L. Leont'eva, L. A. Syrtlanova, G. V. Ben'kovskaya // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University.]. – 2016. – № 2 (38). – P. 11–14. [in Russian]
6. Suhoruchenko G. I. Rezistentnost' k insekticidam vreditel'j semennogo kartofelya v Rossii [Insecticide resistance of seed potato pests in Russia] / G. I. Suhoruchenko, G. P. Ivanova, T. I. Vasil'eva i dr. // Tezisy dokladov: XVI S'ezd russkogo entomologicheskogo obshchestva. – Moskva: OOO "Tovarishchestvo nauchnyh izdaniy KMK" [Abstracts: XVI Congress of the Russian Entomological Society. – Moscow: LLC "Association of scientific publications of KMK"], 2022. – P. 122. [in Russian]
7. BusinesStat [site]. – URL: <https://businessstat.ru/news/pesticides/> (accessed: 20.11.2022).
8. Ahmad M. Synergism of insecticides provides evidence of metabolic mechanisms of resistance in the obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) / M. Ahmad, R.M. Hollingworth // Pest Management Science. – 2004. – V.60(5). – P.465–473. – DOI: 10.1002/ps.829
9. Ahmadi E. Dichlorvos Resistance in the House Fly Populations, *Musca domestica*, of Iranian Cattle Farms / E. Ahmadi, J. Khajehali // Journal of arthropod-borne diseases. – 2020. – V. 14(4). – P. 344–352.
10. Ayesa P. Evaluation of Novel Insecticides for Control of Dengue Vector *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) / P. Ayesa, L. C. Harrington, G. J. Scott // Journal of Medical Entomology. – 2006. – V. 43. – Is. 1. – P. 55–60.
11. Bass C. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides / C. Bass, I. Denholm, M. S. Williamson et. al // Pesticide Biochemistry and Physiology. – 2015. – V. 121. – P. 78–87.
12. Casu V. Soluble esterases as biomarkers of neurotoxic compounds in the widespread serpulid *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel, 1923) / V. Casu, F. Tardelli, L. De Marchi et al. // Journal of Environmental Science and Health, Part B. – 2019. – V.54(11). – P. 883–891. – DOI: 10.1080/03601234.2019.1640028.
13. Che-Mendoza A. Efficacy of targeted indoor residual spraying with the pyrrole insecticide chlorfenapyr against pyrethroid-resistant *Aedes aegypti* / A. Che-Mendoza, G. González-Olvera, A. Medina-Barreiro et al. // PLOS Neglected Tropical Diseases. – 2021. – V.15(10). – e0009822. – DOI: 10.1371/journal.pntd.0009822
14. Chien S-C. A fatal case of chlorfenapyr poisoning and a review of the literature / S-C. Chien, S-C. Chien, Y-J. Su // Journal of International Medical Research. – 2022. – M.50(9). 3000605221121965. – DOI:10.1177/03000605221121965
15. Corine N. Chlorfenapyr (A Pyrrole Insecticide) Applied Alone or as a Mixture With Alpha-Cypermethrin for Indoor Residual Spraying Against Pyrethroid Resistant *Anopheles Gambiae* Sl: An Experimental Hut Study in Cove, Benin / N. Corine, C. Ngufor, J. Critchley et al. // PLoS One. – 2016. – V. 11:9. – P. 1–14.
16. Freitas A.P. Evaluation of a Brain Ace-tylcholinesterase Extraction Method and Kinetic Constants after Methyl-Paraoxon Inhibition in Three Brazilian Fish Species / A.P. Freitas, C.R. Santos, P.N. Sarcinelli et al. // PLoS One. – 2016. – V.11(9) – e0163317. – DOI:10.1371/journal.pone.0163317
17. Georghiou G. P. Management of resistance in arthropods / G. P. Georghiou // Pest resistance to pesticides. – Springer, Boston, MA, 1983. – P. 769–792.
18. Gonzalez-Morales M. A. Resistance to Fipronil in the Common Bed Bug (Hemiptera: Cimicidae) / M. A. Gonzalez-Morales, Z. DeVries, A. Sierras et al. // Journal of Medical Entomology. – 2021. – V. 58(4). – P. 1798–1807.
19. Guglielmone A. A. Chlorfenapyr ear tags to control *Haematobia irritans* (L.) (Diptera: Muscidae) on cattle / A. A. Guglielmone, M. M. Volpogni, N. Scherling et. al // Veterinary Parasitology. – 2000. – V.93. – P. 77–82.
20. Indira Devi P. Agrochemicals, Environment, and Human Health / P. Indira Devi, M. Manjula, R. V. Bhavani // Annual Review of Environment and Resources. – 2022. – V. 47(1) – P. 399–421.
21. Kakani E. G. Detection and geographical distribution of the organophosphate resistance-associated Delta 3Q ace mutation in the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) / E. G. Kakani, E. Sagri, M. Omirou et al. // Pest management science. – 2014. – V. 70(5). – P. 743–750.
22. Karmaz E. New Nanospheres to Use in the Determination of ImidanPhosmet and Vantex Pesticides / E. Karmaz, E. H. Ozkan, N. K. Yetim [et al.] // Journal of inorganic and organometallic polymers and materials. – 2021. – V. 31(7). – P. 2915–2924.
23. Kouassi B. L. Susceptibility of *Anopheles gambiae* from Cote d'Ivoire to insecticides used on insecticide-treated nets: evaluating the additional entomological impact of piperonyl butoxide and chlorfenapyr / B. L. Kouassi, E. Constant, E. Tia et al. // Malaria journal. – 2020. – Vol. 19. – V. 1. – № 454. – P. 1–11.
24. Kristensen M. Selection and reversion of azamethiphos-resistance in a field population of the housefly *Musca domestica* (Diptera :Muscidae), and the underlying biochemical mechanisms / M. Kristensen, M. Knorr, A. G. Spencer et al. // Journal of economic entomology. – 2000. – V. 93(6). – P. 1788–1795.
25. Lang G. J. Can Acetylcholinesterase Serve as a Target for Developing More Selective Insecticides? / G. J. Lang, K. Y. Zhu, C. X. Zhang // Current drug targets. – 2012. – V. 13(4). – P. 495–501

26. Lima Neto J. E. Inheritance and fitness of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to chlorfenapyr / J. E. Lima Neto, L. M. da Solidade Ribeiro, H. A. A. de Siqueira // Journal of Economic Entomology. – 2021. – V. 114. – №. 2. – P. 875–884.
27. Lima Neto J. E. Selection of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) to chlorfenapyr resistance: heritability and the number of genes involved / J. E. Lima Neto, H. A. A. de Siqueira // Revista Caatinga. – 2017. – V. 30. – P. 1067–1072.
28. Liu Z.X. The role of Glutathione-S-transferases in phoxim and chlorfenapyr tolerance in a major mulberry pest, *Glyphodes pyloalis walker* (Lepidoptera: Pyralidae) / Z.X. Liu, X.R. Xing, X.H. Liang et al. // Pestic Biochem Physiol. – 2022. – V.181. – 105004. – DOI: 10.1016/j.pestbp.2021.
29. McLeod P. Toxicity, persistence, and efficacy of spinosad, chlorfenapyr, and thiamethoxam on eggplant when applied against the eggplant flea beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) / P. McLeod, F. J. Diaz, D. T. Johnson // J Econ Entomol. – 2002. – V. 95(2). – P.331–335.
30. Mosha F. W. Experimental Hut Evaluation of the Pyrrole Insecticide Chlorfenapyr on Bed Nets for the Control of *Anopheles Arabiensis* and *Culex Quinquefasciatus* / F. W. Mosha, I. N. Lyimo, R. M. Oxborough et al. // Wiley Online Library. – 2008. – V. 13(5). – P. 644–652.
31. N'Guessan R. Control of pyrethroid-resistant *Anopheles gambiae* and *Culex quinquefasciatus* mosquitoes with chlorfenapyr in Benin / R. N'Guessan, P. Boko, A. Odjo et. al // Tropical Medicine & International Health. – 2009. – V. 14. – Is. 4. – P. 389–395.
32. N'Guessan R. Chlorfenapyr: a pyrrole insecticide for the control of pyrethroid or DDT resistant *Anopheles gambiae* (Diptera: Culicidae) mosquitoes / R. N'Guessan, P. Boko, A. Odjo et. al // Acta Trop. – 2007. – V. 102(1). – P. 69–78.
33. Oliver S. V. Evaluation of the pyrrole insecticide chlorfenapyr against pyrethroid resistant and susceptible *Anopheles funestus* (Diptera: Culicidae) / S. V. Oliver, M. L. Kaiser, O. R. Wood et al. // Wiley Online Library. – 2010. – V. 15(1). – P. 127–131.
34. Omwenga I. Prediction of dose-dependent in vivo acetylcholinesterase inhibition by profenofos in rats and humans using physiologically based kinetic (PBK) modeling-facilitated reverse dosimetry / I. Omwenga, S. S. Zhao, L. Kanja et al. // Archives of toxicology. – 2021. – V. 95(4). – P. 1287–1301.
35. Oxboroug R. M. The Activity of the Pyrrole Insecticide Chlorfenapyr in Mosquito Bioassay: Towards a More Rational Testing and Screening of Non-Neurotoxic Insecticides for Malaria Vector Control / R. M. Oxboroug, R. N'Guessan, R. Jones, et al. // Part of Springer Nature. – 2015. – V. 14.:124. – P. 1–11.
36. Poupardin R. Identification of carboxylesterase genes implicated in temephos resistance in the dengue vector *Aedes aegypti* / R. Poupardin, W. Srisukontarat, C. Yunta et al. // PLOS Neglected Tropical Diseases. – 2014. – V. 8(3). – P. 1–11.
37. Qayyum M.A. Multiple Resistances Against Formulated Organophosphates, Pyrethroids, and Newer-Chemistry Insecticides in Populations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) from Pakistan / M.A. Qayyum, W. Wakil, M. J. Arif et al. // Journal of Economic Entomology. – 2015. – V.108(1). – P. 286–293. – <https://DOI.org/10.1093/jee/tou037>
38. Raghavendra K. Chlorfenapyr: a new insecticide with novel mode of action can control pyrethroid resistant malaria vectors / K. Raghavendra, T.K. Barik, P. Sharma et al.// Malaria Journal. – 2011. – V. 10: 16. – <https://DOI.org/10.1186/1475-1016>
39. Ranian K. Evaluation of Resistance to Some Pyrethroid and Organophosphate Insecticides and Their Underlying Impact on the Activity of Esterases and Phosphatases in House Fly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) / K. Ranian, M.K. Zahoor, M.A. Zahoor et al. // Polish Journal of Environmental Studies. – 2021. – V.30(1). – P. 327–336. –DOI: 10.15244/pjoes/96240
40. Riaz B. Frequency of Pyrethroid Insecticide Resistance *kdr* Gene and Its Associated Enzyme Modulation in Housefly, *Musca domestica* L. Populations From Jhang, Pakistan / B. Riaz, M. K. Zahoor, K. Malik et al. // Frontiers in environmental science. – 2022. – V. 9. – № 806456. – P. 1–15.
41. Romero A. Evaluation of chlorfenapyr for control of the bed bug, *Cimex lectularius* L. / A. Romero, M. F. Potter, K. F. Haynes // Pest Management Science. – 2010. – V. 66. – Issue 11. – P. 1243–1248.
42. Sami A. J. A Comparative Study of Inhibitory Properties of Saponins (derived from *Azadirachta indica*) for Acetylcholinesterase of *Tribolium castaneum* and *Apis mellifera* / A. J. Sami, S. Bilal, M. Khalid et al. // Pakistan journal of zoology. – 2018. – V. 50(2). – P. 725–733
43. Sparks T. C. Insecticide resistance management and industry: the origins and evolution of the Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) and the mode of action classification scheme / T. C. Sparks, N. Storer, A. Porter et al. // Pest Management Science. – 2021. – V. 77. – P. 2609–2619. – DOI: 10.1002/ps.6254
44. Uesugi R. Genetic basis of resistances to chlorfenapyr and etoxazole in the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) / R. Uesugi, K. Goka, M. H. Osakabe // Journal of economic entomology. – 2002. – V. 95. – №. 6. – P. 1267–1274.
45. Ullah S. Genetics, realized heritability and possible mechanism of chlorfenapyr resistance in *Oxycarenus hyalinipennis* (Lygaeidae: Hemiptera) / S. Ulah, R. M. Shah, S. A. Shad // Pesticide Biochemistry and Physiology. – 2016. – V. 133. – P. 91–96.
46. [US EPA] United States Environmental Protection Agency. Fact Sheets on New Active Ingredients. Pesticide Fact Sheet: Chlorfenapyr. – 2001. – URL: https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-129093_01-Jan-01.pdf (accessed: 30.11.2022).
47. van Leeuwen T. Biochemical analysis of a chlorfenapyr-selected resistant strain of *Tetranychus urticae* Koch / T. van Leeuwen, S. van Pottelberge, L. Tirry // Pest Management Science. – 2006. – V.62(5). – P.425–433.
48. van Leeuwen T. Genetic analysis and cross-resistance spectrum of a laboratory-selected chlorfenapyr resistant strain of two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) / T. van Leeuwen, V. Stillatus, L. Tirry // Experimental & applied acarology. – 2004. – V. 32. – №. 4. – P. 249–261.

49. Wang Q. Field-evolved resistance to 11 insecticides and the mechanisms involved in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) / Q. Wang, C. Rui, L. Wang, et al. // *Pest Management Science*. – 2021. – V.77. – P. 5086–5095. – DOI: 10.1002/ps.6548
50. Wang X. Long-term monitoring and characterization of resistance to chlorfenapyr in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from China / X. Wang, J. Wang, X. Cao et al. // *Pest Management Science*. – 2019. – V.75(3). – P. 591–597. – DOI: 10.1002/ps.5222
51. Wei Q. Comparison of Insecticide Susceptibilities of *Empoasca vitis* (Hemiptera: Cicadellidae) from Three Main Tea-Growing Regions in China / Q. Wei, H.-Y. Yu, C.-D. Niu, et al. // *Journal of Economic Entomology*. – 2015. – V.108(3). – P.1251–1259. – DOI: 10.1093/jee/tov063
52. World Health Organization. Test procedures for insecticide resistance monitoring in malaria vector mosquitoes, 2nd ed.. World Health Organization. – 2016 – URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250677> (accessed: 30.11.2022).
53. Zhang K. Susceptibility levels of field populations of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) to seven insecticides in China / K. Zhang, J. Yuan, J. Wang et al. // *Crop Protection*. – 2022. – V. 153. – 105886. – DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105886.
54. Irac-online [site]. – URL: <https://irac-online.org> (accessed: 30.11.2022).