

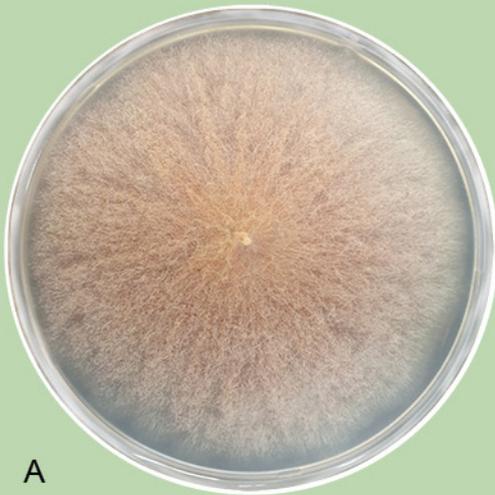


ISSN 1727-1320 (Print),
ISSN 2308-6459 (Online)

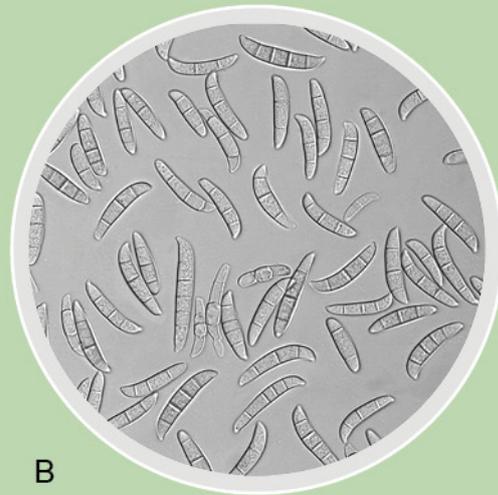
ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2023 TOM VOLUME 106 ВЫПУСК ISSUE 3



A



B



C



D

Санкт-Петербург
St. Petersburg, Russia

КИШЕЧНОЕ ДЕЙСТВИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНСЕКТИЦИДОВ НА МУЛЬТИРЕЗИСТЕНТНЫЕ КУЛЬТУРЫ КОМНАТНОЙ МУХИ *MUSCA DOMESTICA*

Т.А. Давлианидзе, О.Ю. Еремина*, В.В. Олифер

Институт дезинфектологии Федерального Научного Центра Гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана Роспотребнадзора,
Московская обл., г. Мытищи

* ответственный за переписку, e-mail: eremina_insect@mail.ru

В лабораторных условиях проведена оценка устойчивости к инсектицидам при кишечном поступлении в организм нескольких культур комнатной мухи *Musca domestica*, полученных из популяций, собранных на объектах в Московской и Калужской областях (КСК-1 – в коровнике и КСК-2 – в конюшне конно-спортивного клуба, Красногорск – на пищевом объекте, Калуга – в компосте садового некоммерческого товарищества). Установлено, что к фипронилу культуры Красногорск и Калуга были высоко устойчивы (ПР=23.3–76.7х), а культуры КСК-1 и КСК-2 – толерантны (ПР=6.3–7.7х). Культуры Красногорск КСК-1, КСК-2 и Калуга высоко устойчивы к неоникотиноидам (тиаметоксаму ПР=80.4–104.8х и клотианидину ПР=79.5–97.9х), слаботолерантны к хлорфенапиру (ПР=1.8–2.8х) и высоко чувствительны к индоксикарбу (ПР=0.22–0.54х). Проведено сравнение контактного и кишечного действия инсектицидов на комнатных мух по показателям резистентности. Показатель резистентности мух к фипронилу, тиаметоксаму и клотианидину при контакте в 1.5–4.4 раза больше, чем при скармливании аналогичной дозы инсектицида. Обсуждаются возможные механизмы мультирезистентности насекомых к инсектицидам. Сравнительная оценка на трех культурах комнатной мухи показала, что ряд промышленно производимых приманок достаточно эффективны для борьбы с популяциями *M. domestica*. Показана физиологическая резистентность культур Красногорск и Калуга к приманкам на основе карбамата метомила.

Ключевые слова: резистентность, неоникотиноиды, фосфорорганические соединения, фенилпиразолы, оксадиазины, пирролы, карбаматы

Поступила в редакцию: 03.10.2022

Принята к печати: 13.09.2023

Введение

Комнатная муха *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) – космополитический синантропный вид, участвующий в механической передаче многочисленных патогенов – бактерий, грибов, вирусов, простейших и гельминтов, некоторые из которых вызывают серьезные заболевания у людей и домашних животных (El-Bassiony et al., 2016; Nayduch, Burgus, 2017; Khamesipour et al., 2018). Борьба с комнатной мухой обычно основывается на использовании инсектицидов, в ряде случаев перспективно использование приманок на основе неоникотиноидов, фенилпиразолов, фосфорорганических соединений (ФОС) и др. (Wang et al., 2012; Hubbard, Gerry, 2020; You et al., 2020). Устойчивость популяций комнатной мухи к инсектицидам становится все более серьезной проблемой, как в городских, так и в сельских районах из-за чрезмерного их применения и отсутствия чередования. Эволюция устойчивости к

инсектицидам давно документирована у комнатной мухи ко всем основным классам инсектицидов (Wang et al., 2012; Freeman et al., 2019; Hubbard, Gerry, 2020). Использование приманочного метода борьбы с *M. domestica* нередко осложняется поведенческими факторами, которые, по-видимому, играют важную роль в выживании имаго (Darbro, Mullens, 2004; Gerry, Zhang, 2009). Для совершенствования комплексной борьбы с *M. domestica* необходимы новые приманки на основе действующих веществ из разных химических классов. В связи с этим, цель исследования заключалась в оценке резистентности лабораторных культур комнатной мухи к инсектицидам при кишечном поступлении в организм для сравнения уровней резистентности при контактном и кишечном действии и оценка эффективности промышленно производимых приманок в отношении мультирезистентных *M. domestica*.

Материалы и методы

При выполнении исследования использованы комнатная муха *Musca domestica* лабораторной чувствительной культуры S-НИИД и выборки, собранные на объектах в Московской и Калужской областях. Выборки из популяций комнатной мухи КСК-1 собраны в коровнике и КСК-2 в конюшне конно-спортивного клуба (Московская область, Можайский городской округ, 55.387459 с.ш. 35.986661 в.д., сбор 14–17.07.2020). Выборка Красногорск собрана на пищевом объекте (Московская область,

городской округ Красногорск, 55.896277 с.ш. 37.297835 в.д., сбор 09.06.2020). Выборка Калуга собрана в компосте садового некоммерческого товарищества (Калужская обл. 54.586849942399496 с.ш. 36.23018088787358 в.д., сбор 05–06.09.2020). Документального подтверждения о примененных инсектицидах и истории обработок не имеем.

Отловленные родительские выборки из указанных популяций комнатной мухи введены в лабораторную культуру в 2020 г. В дальнейшем эти искусственные

лабораторные культуры содержали в инсектарии института без пресса инсектицидов. В экспериментах использовали 3–5 суточных имаго мух поколения F3–F5, средней массой 16–19 мг/особь, без разделения по полу.

Инсектициды: технические продукты, содержащие 95–97% действующего вещества (ДВ): класс фенилпиразолы – фипронил; класс неоникотиноидов – тиаметоксам, клотианидин; класс пирролов – хлорфенапир; класс оксадиазины – индоксакарб (рацемическая смесь изомеров S:R 3:1) (синтез Китая). Готовые к применению приманки «Агита» тиаметоксам 10% действующего вещества (ДВ), Австрия, «Квик Байт ВГ10» имидаклоприд 10% ДВ, Австрия, (класс неоникотиноиды), Россия, «Гель тараканофф» фипронил 0.05% ДВ, Россия, «Флай Байт» метомил 1% ДВ (класс карбаматы), Нидерланды. Все приманки приобретены в торговой сети и использованы до истечения срока годности.

Кишечное действие инсектицидов изучали, предлагая насекомым сахар импрегнированный инсектицидом. Сахар обрабатывали в дозе 0.5 мл/г ацетоновыми растворами инсектицидов в логарифмически снижающихся концентрациях (5.0–0.00001 мкг ДВ/мг сахара) и высушивали в течение 2-х часов. Имаго комнатной мухи содержали по 50 особей в пластиковых емкостях вместимостью 2 л, снабженных поилкой и кормушкой с отравленным сахаром. Учет поражения и гибели насекомых проводили через 72 ч после начала эксперимента и определяли показатели $СК_{50}$ и $СК_{95}$, (мкг ДВ/мг сахара) – концентрации, при которых поражено 50% и 95% насекомых, соответственно. Для изучения нарастания симптомов отравления применяли

метод ограниченного во времени кормления насекомых в течение 24 ч, проводили учет пораженных насекомых через 24 ч, после чего отравленную приманку заменяли на чистый сахар и продолжали учет поражения насекомых еще 48 ч (72 ч от начала эксперимента). Показатели резистентности ПР рассчитывали как отношение $СК_{50}$ для резистентной культуры к $СК_{50}$ для чувствительной культуры. Уровни резистентности характеризовали, используя следующую шкалу: ПР: ≤ 1 – насекомые высокочувствительны к инсектициду; 1–2х – чувствительны; 3–10х – толерантны; 11–30х – средне резистентны; 31–100х – высоко резистентны; > 100 х – экстремально высоко резистентны (Методы лабораторных исследований и испытаний..., 2020). Сравнение уровня резистентности при кишечном и контактном действии инсектицидов проводили, определяя коэффициент $K = \text{ПР контактно.} / \text{ПР кишечн.}$ при ограниченном кормлении в течение 24 ч и учете через 72 ч. Готовые приманки оценивали в течение 1–6 ч, 24 и 48 ч в двух вариантах – при наличии альтернативного корма (сахар) и его отсутствии. Комнатную муху по 100 особей без разделения по полу помещали в садки размером 30x30x30 см. Определяли показатели $ЛТ_{50}$ и $ЛТ_{95}$, (ч) – время, в течение которого погибает 50% и 95% насекомых, соответственно. Повторность опытов трехкратная. Эксперименты проводили при температуре 22–25 °С. Результаты экспериментов обрабатывали статистически с использованием компьютерного приложения Microsoft Office Excel 2007. Математическая обработка данных и вычисление эффективных концентраций при доверительном интервале 95% проведена методом пробит-анализа по методу Финни (Finney, 1971).

Результаты

Скармливание импрегнированного инсектицидами сахара в течение 72 ч. Скармливание комнатным мухам импрегнированных инсектицидами сахарных приманок показало значительную устойчивость культур Красногорск и Калуга к фипронилу (ПР=23–76х) и толерантность культур КСК-1 и КСК-2 (ПР=6.3–7.7х) к нему (табл. 1). К неоникотиноидам тиаметоксаму и клотианидину выявлена высокая устойчивость всех исследованных культур комнатных мух (ПР=80.4–104.8х и 79.5–97.9х, соответственно). К индоксакарбу показана чувствительность большая, чем у лабораторной культуры комнатных мух S-НИИД (ПР=0.22–0.54х). К хлорфенапиру установлена слабая толерантность (ПР=1.8–2.8х).

Скармливание импрегнированного инсектицидами сахара в течение 24 ч. Определено нарастание симптомов отравления в течение 72 ч, которое при поедании сахарных приманок на основе фипронила было более выражено для чувствительной лабораторной культуры S-НИИД и культуры Калуга (4.0 и 3.3 раза, соответственно). К неоникотиноидам устойчивость была значительной, поэтому точных показателей нарастания симптомов отравления не установлено. Для культуры S-НИИД этот показатель возрастал в 1.3–1.4 раза (табл. 2). Инсектицидность хлорфенапира возрастала одинаково как для мух S-НИИД, так и для мух Красногорск и Калуга в 2.8–4.3 раза. Наибольшие значения возрастания инсектицидности получены для индоксакарба, которые составили 22–29 раз и слабо

отличались между чувствительной лабораторной и резистентными культурами.

ПР к фипронилу составил для культуры Красногорск 35х, а для культуры Калуга 15х (табл. 2). Эти показатели в 1.5–2.0 раза меньше, чем при трехсуточном кормлении. ПР к тиаметоксаму (71–80х) были близки к полученным при трехсуточном кормлении, а к клотианидину (36–79х) были меньше в 1.2–2.2 раза. К индоксакарбу и хлорфенапиру все культуры чувствительны или слаботолерантны и ПР статистически не отличаются.

Для сравнения инсектицидности при кишечном и контактном поступлении в организм использовали ПР при контактном действии (Давлианидзе с соавт., 2022) и ПР при кишечном действии при кормлении в течение 24 ч (в обоих случаях проводили учет через 72 часа после начала эксперимента). Далее сравнивали показатели резистентности, полученные двумя методами. Данные приведены в последнем столбце табл. 2. При кишечном поступлении в организм фипронила ПР оказались в 1.5–3.1 раза ниже, чем при контактном. Аналогично ПР к тиаметоксаму в 1.4–3.8 раз ниже, клотианидину – в 1.4–4.4 раз ниже. Индоксакарб при кишечном действии для культур S-НИИД и Красногорск был в 1.5–1.7 раз более токсичен, однако для культуры Калуга его инсектицидность была выше при топикальном нанесении. Хлорфенапир в 1.9 раз более токсичен для мух S-НИИД при кишечном поступлении, а для культур Красногорск и Калуга – при топикальном нанесении (табл. 2).

Таблица 1. Инсектицидность сахарных приманок для комнатной мухи при трехсуточном питании (N=750, учет через 72 ч)

Культура	Показатели инсектицидности, мкг ДВ/мг сахара		χ^2 (df)	ПР по СК ₅₀
	СК ₅₀	СК ₉₅		
Фипронил				
S-НИИД	0.0003 (0.00023–0.00039)	0.0015 (0.0011–0.0020)	3.5 (5)	–
Красногорск	0.0230 (0.0177–0.0299)	0.281 (0.215–0.365)	8.9 (5)	76.7
КСК-1	0.0023 (0.0017–0.0031)	0.050 (0.037–0.068)	3.3 (5)	7.7
КСК-2	0.0019 (0.0013–0.0028)	0.047 (0.032–0.069)	2.5 (5)	6.3
Калуга	0.0070 (0.0053–0.0092)	0.035 (0.027–0.046)	6.6 (5)	23.3
Тиаметоксам				
S-НИИД	0.041 (0.033–0.051)	0.38 (0.30–0.48)	13.4 (5)	–
Красногорск	4.30 (3.34–5.55)	5.60 (4.31–7.29)	18.1 (5)	104.8
КСК-1	4.10 (3.14–5.33)	5.80 (4.46–7.54)	17.8 (5)	100
КСК-2	3.90 (3.15–4.84)	4.60 (3.95–5.10)	15.9 (5)	95.1
Калуга	3.30 (2.53–4.29)	4.90 (3.76–6.37)	12.6 (5)	80.4
Клотианидин				
S-НИИД	0.049 (0.027–0.067)	0.54 (0.41–0.66)	18.1 (5)	–
Красногорск	4.80 (3.87–6.01)	5.90 (4.53–7.69)	14.7 (5)	97.9
КСК-1	4.50 (3.67–5.01)	6.10 (4.69–7.18)	16.9 (5)	91.8
КСК-2	4.40 (3.69–5.08)	5.2 (4.0–6.2)	20.1 (5)	89.7
Калуга	3.90 (2.98–4.56)	5.2 (4.2–6.8)	12.8 (5)	79.5
Индоксакарб				
S-НИИД	0.0050 (0.0038–0.0065)	0.012 (0.010–0.014)	5.5 (6)	–
Красногорск	0.0027 (0.0021–0.0035)	0.011 (0.008–0.143)	3.4 (6)	0.54
КСК-1	0.0013 (0.0010–0.0017)	0.023 (0.018–0.028)	2.8 (6)	0.26
КСК-2	0.0011 (0.0008–0.0015)	0.011 (0.008–0.015)	4.5 (6)	0.22
Калуга	0.0014 (0.0011–0.0018)	0.060 (0.046–0.078)	5.6 (6)	0.28
Хлорфенапир				
S-НИИД	0.006 (0.004–0.009)	0.026 (0.017–0.039)	4.6 (6)	–
Красногорск	0.012 (0.009–0.016)	0.070 (0.053–0.093)	5.1 (6)	2.0
КСК-1	0.014 (0.010–0.020)	0.042 (0.030–0.059)	5.8 (6)	2.3
КСК-2	0.011 (0.009–0.013)	0.035 (0.030–0.041)	4.9 (6)	1.8
Калуга	0.017 (0.013–0.022)	0.120 (0.092–0.156)	1.6 (6)	2.8

Примечание к табл. 1–2: доверительные интервалы при вероятности 95 %, в предварительном виде данные касающиеся показателей ПР по СК₅₀ для культур комнатных мух Красногорск и Калуга были даны в работе Еремина с соавт., 2022

Чувствительность комнатной мухи к промышленно производимым приманкам. Эксперименты ставили на двух культурах мух (Красногорск и Калуга) и одной чувствительной лабораторной культуре S-НИИД.

Поражение культуры S-НИИД при питании приманкой на основе имидаклоприда (10 % ДВ) наступало быстро и около 60 % имаго были отравлены уже через 1.5 ч. Показатель 95 % поражения установлен через 6 ч и 100 % гибель мух наступила через 24 ч. Мухи культуры Красногорск отмирали приблизительно в 2 раза медленнее, однако через 24 ч достигнута гибель 90.0%, а через 48 ч – 97.4%. У культуры Калуга процесс отравления протекал несколько быстрее, однако 94.2% гибель достигнута только через 48 ч. От 2.6 до 5.8% мух осталось в живых (табл. 3).

К приманке на основе тиаметоксама (10 % ДВ) культура S-НИИД высоко чувствительна – 99.0% погибло через 1.5 ч и 100% – через 3 ч. Культура Красногорск несмотря на замедленное действие (гибель 95.0% – через 6 ч), полностью погибла через 48 ч. Мухи культуры Калуга отмирали еще медленнее (95.0% – через 9 ч), и 99.0% – через 48 ч. К приманке на основе 0.05% фипронила наибольшую чувствительность проявили мухи культуры S-НИИД. Действие было замедленным и через 6 ч эксперимента только 18.1% мух было поражено, однако через 24 ч

погибло 86.3% мух, а через 48 ч – 99.0%. Резистентные культуры погибали значительно медленнее – через 24 ч поражено 14.2 и 23.0% особей, а через 48 ч 94.3 и 86.8% особей культур Красногорск и Калуга, соответственно. Таким образом, от 5 до 15% мух резистентных выживало.

К приманке на основе карбата метомила (1% ДВ) все три культуры комнатной мухи оказались чувствительными. Поражение 50% имаго культуры S-НИИД наступало в пределах 1.5 ч и в течение 3 ч достигнута смертность 98.0%, а 100% – в течение 4.5 ч. Культура Красногорск демонстрировали замедленную гибель – 44.5% было поражено в течение 4.5 ч, через 24 ч погибло 92.0%, а через 48 ч – 99.0% мух. У культуры Калуга отравление наступало еще медленнее – через 6 ч было отравлено 23.0% имаго, через 24 ч – 88.0%, через 48 ч – 98.0%. ЛТ₅₀ у резистентных культур было в 3 и 6 раз больше для культур Красногорск и Калуга, соответственно. Выжило всего 0.7–2.0% особей.

Наличие альтернативного корма наряду с приманкой на основе метомила привело лишь к небольшому замедлению отравления чувствительной культуры S-НИИД. Мухи культуры Калуга при наличии альтернативного корма практически все выжили – через 48 ч гибель 1.3%, а у культуры Красногорск смертность не превышала 18.1%.

Table 1. Insecticidal activity of sugar baits for houseflies with a three-day diet (N=750, counting after 72 h)

Strain	Insecticide indicators $\mu\text{g a.i./mg sugar}$		$\chi^2(\text{df})$	RR ₅₀
	LC ₅₀ , (95% CL)	LC ₉₅ , (95% CL)		
Fipronyl				
S-NIID	0.0003 (0.00023–0.00039)	0.0015 (0.0011–0.0020)	3.5 (5)	–
Krasnogorsk	0.0230 (0.0177–0.0299)	0.281 (0.215–0.365)	8.9 (5)	76.7
KSK-1	0.0023 (0.0017–0.0031)	0.050 (0.037–0.068)	3.3 (5)	7.7
KSK-2	0.0019 (0.0013–0.0028)	0.047 (0.032–0.069)	2.5 (5)	6.3
Kaluga	0.0070 (0.0053–0.0092)	0.035 (0.027–0.046)	6.6 (5)	23.3
Thiamethoxam				
S-NIID	0.041 (0.033–0.051)	0.38 (0.30–0.48)	13.4 (5)	–
Krasnogorsk	4.30 (3.34–5.55)	5.60 (4.31–7.29)	18.1 (5)	104.8
KSK-1	4.10 (3.14–5.33)	5.80 (4.46–7.54)	17.8 (5)	100
KSK-2	3.90 (3.15–4.84)	4.60 (3.95–5.10)	15.9 (5)	95.1
Kaluga	3.30 (2.53–4.29)	4.90 (3.76–6.37)	12.6 (5)	80.4
Clothianidin				
S-NIID	0.049 (0.027–0.067)	0.54 (0.41–0.66)	18.1 (5)	–
Krasnogorsk	4.80 (3.87–6.01)	5.90 (4.53–7.69)	14.7 (5)	97.9
KSK-1	4.50 (3.67–5.01)	6.10 (4.69–7.18)	16.9 (5)	91.8
KSK-2	4.40 (3.69–5.08)	5.2 (4.0–6.2)	20.1 (5)	89.7
Kaluga	3.90 (2.98–4.56)	5.2 (4.2–6.8)	12.8 (5)	79.5
Indoxacarb				
S-NIID	0.0050 (0.0038–0.0065)	0.012 (0.010–0.014)	5.5 (6)	–
Krasnogorsk	0.0027 (0.0021–0.0035)	0.011 (0.008–0.143)	3.4 (6)	0.54
KSK-1	0.0013 (0.0010–0.0017)	0.023 (0.018–0.028)	2.8 (6)	0.26
KSK-2	0.0011 (0.0008–0.0015)	0.011 (0.008–0.015)	4.5 (6)	0.22
Kaluga	0.0014 (0.0011–0.0018)	0.060 (0.046–0.078)	5.6 (6)	0.28
Chlorfenapyr				
S-NIID	0.006 (0.004–0.009)	0.026 (0.017–0.039)	4.6 (6)	–
Krasnogorsk	0.012 (0.009–0.016)	0.070 (0.053–0.093)	5.1 (6)	2.0
KSK-1	0.014 (0.010–0.020)	0.042 (0.030–0.059)	5.8 (6)	2.3
KSK-2	0.011 (0.009–0.013)	0.035 (0.030–0.041)	4.9 (6)	1.8
Kaluga	0.017 (0.013–0.022)	0.120 (0.092–0.156)	1.6 (6)	2.8

Note to Tables 1–2: 95% confidence limits of the mean value; preliminary data on RR₅₀ for Krasnogorsk and Kaluga housefly strains were given by Eremina et al., 2022

Показатели инсектицидности варианта приманок на основе имидаклоприда при наличии альтернативного корма не имеют статистически значимых отличий ни для одной из изученных культур. Выжило 9.0% особей культуры Калуга и 4.2% культуры Красногорск. При возможности

выбора альтернативного корма или приманки на основе тиаметоксама инсектицидное действие на культуру S-НИИД выразилось в двукратном замедлении показателя ЛТ₉₅, а для культур Красногорск и Калуга – в 8-кратном (табл. 3).

Обсуждение

Согласно нашим данным по сравнительной инсектицидности для комнатной мухи чувствительной лабораторной культуры S-НИИД ДВ расположились в порядке убывающей токсичности (СК₅₀, мкг/мг приманки): фипронил (0.0003) > хлорфенапир (0.006) > тиаметоксам (0.041) > клотианидин (0.049) > индоксакарб (0.012). Тиаметоксам и клотианидин в 137 раз менее инсектицидны, чем фипронил. Близкие значения получены М.А. Левченко с соавт. – сахарная приманка на основе фипронила наиболее инсектицидна для комнатной мухи (СК₅₀ 0.000119% или 0.0012 мг/г приманки), ацетамиприд в 133 раза менее токсичен (СК₅₀ 0.0159% или 0.16 мг/г приманки) (Levchenko et al., 2018).

К сахарным приманкам на основе фипронила культуры Красногорск и Калуга проявили высокую устойчивость (ПР=76.7x и 23.3x, соответственно), тогда как культуры КСК-1 и КСК-2 были только толерантны (ПР=7.7x и 6.3x, соответственно). Еще более высокую резистентность все

исследованные культуры комнатной мухи проявили к неоникотиноидам тиаметоксаму и клотианидину. ПР колебались от 80x до 105x. Согласно данным М. Кристенсена с соавт. у популяций комнатной мухи ПР к тиаметоксаму составляли 6–76x (Kristensen, Jespersen, 2008).

К индоксакарбу все культуры комнатной мухи были чувствительны. Следует отметить, что мультирезистентные культуры Калуга Красногорск, КСК-1 и КСК-2 оказались в 2–5 раз более чувствительными, чем чувствительная лабораторная культура S-НИИД. В литературе встречается факт большей чувствительности к хлорфенапиру мух *Haematobia irritans* (L.) (Diptera: Muscidae), резистентных к пиретроидам, что авторы связывают с большей активностью монооксигеназ и, соответственно, более быстрым превращением проинсектицида в активную форму (Sheppard, Joyce, 1998). Исследователи показали отсутствие перекрестной резистентности к индоксакарбу у культуры комнатной мухи, высоко резистентной к

Таблица 2. Нарастание симптомов отравления при действии инсектицидов (поедание отравленных приманок в течение 24 ч) и сравнение контактного и кишечного действия

Культура	СК ₅₀ , мкг ДВ/мг сахара, учет через ... ч		Изменение инсектицидности в течение 72 ч	ПР 72 ч		К контакт./кишечное
	24	72		Кишечное	Контактное *	
Фипронил						
S-НИИД	0.0040 (0.0031–0.0052)	0.0010 (0/0008–0/0013)	4.0	–	–	–
Красногорск	0.0500 (0.0385–0.0650)	0.0350 (0.0269–0.0455)	1.4	35	75	2.1
КСК-1	0.0090 (0/0069–0.0117)	0.0034 (0.0026–0.0044)	2.6	3.4	5.0	1.5
КСК-2	0.0065 (0.0050–0.0085)	0.0030 (0.0023–0.0039)	2.2	3.0	8.3	2.8
Калуга	0.0500 (0.0355–0.0705)	0.0150 (0.0115–0.0195)	3.3	15	46	3.1
Тиаметоксам						
S-НИИД	0.078 (0.060–0.101)	0.062 (0.048–0.081)	1.3	–	–	–
Красногорск	>5.0	5.4 (4.5–6.5)	>0.9	87	333	3.8
КСК-1	>5.0	5.5 (4.2–7.2)	>0.9	88	>333	3.8
КСК-2	>5.0	5.3 (4.1–6.9)	>0.9	85	200	2.4
Калуга	>5.0	4.4 (3.4–5.7)	>1.1	71	100	1.4
Клотианидин						
S-НИИД	0.100 (0.077–0.130)	0.070 (0.054–0.091)	1.4	–	–	–
Красногорск	>5.0	4.2 (3.2–5.5)	>1.2	60	263	4.4
КСК-1	>5.0	5.5 (4.2–7.2)	>0.9	79	>250	3.2
КСК-2	>5.0	4.9 (3.8–6.4)	>1.0	70	95	1.4
Калуга	5.0 (3.8–6.5)	2.5 (1.9–3.3)	2.0	36	105	2.9
Индоксакарб						
S-НИИД	0.500 (0.385–0.650)	0.017 (0.013–0.022)	29.4	–	–	–
Красногорск	0.540 (0.415–0.702)	0.024 (0.018–0.031)	22.5	1.4	1.46	1.04
Калуга	>0.500	0.018 (0.014–0.023)	>27.8	1.0	0.24	0.24
Хлорфенапир						
S-НИИД	0.060 (0.046–0.078)	0.014 (0.011–0.018)	4.3	–	–	–
Красногорск	>0.050	0.018 (0.014–0.024)	>2.8	1.3	0.25	0.19
Калуга	0.050 (0.038–0.066)	0.018 (0.014–0.024)	2.8	1.3	0.33	0.25

Примечание: * – данные по ПР при контактном действии приведены по Давлианидзе с соавт., 2022.

фипронила (ПР=430х) (Abbas et al., 2016). В то же время ряд исследователей сообщает как о толерантности к индоксакарбу комнатной мухи в Пакистане (ПР=3–9х) (Khan et al., 2013) и Японии (Shono et al., 2004), так и о высокой резистентности (ПР=22–24х) (Abbas et al., 2015). Следует отметить, что при целенаправленной селекции индоксакарбом в лабораторных условиях была быстро достигнута экстремально высокая резистентность (ПР более 118х) (Shono et al., 2004).

К хлорфенапиру все исследованные культуры комнатной мухи проявили слабую толерантность. Поскольку этот инсектицид мало распространен в нашей стране, можно предположить неспецифический механизм устойчивости, определяемый несколькими факторами: начиная с повышенной активности детоксицирующих ксенобиотик ферментов и кончая изменениями состава кутикулы.

Сравнение контактного и кишечного действия на комнатную муху нескольких мультирезистентных культур показало, что ПР фипронила, тиаметоксама и клотианидина

Table 2. Increase in symptoms of poisoning under the action of insecticides (feeding poisoned baits within 24 h) and comparison of contact and intestinal effects

Strain	LC ₅₀ , (95% CL) µg a.i./mg sugar, counting after ... h)		Change in insecticide action within 72 h	RR 72 h		K contact/intestinal
	24	72		Intestinal action	Contact action*	
Fipronil						
S-NIID	0.0040 (0.0031–0.0052)	0.0010 (0/0008–0/0013)	4.0	–	–	–
Krasnogorsk	0.0500 (0.0385–0.0650)	0.0350 (0.0269–0.0455)	1.4	35	75	2.1
KSK-1	0.0090 (0/0069–0.0117)	0.0034 (0.0026–0.0044)	2.6	3.4	5.0	1.5
KSK-2	0.0065 (0.0050–0.0085)	0.0030 (0.0023–0.0039)	2.2	3.0	8.3	2.8
Kaluga	0.0500 (0.0355–0.0705)	0.0150 (0.0115–0.0195)	3.3	15	46	3.1
Thiamethoxam						
S-NIID	0.078 (0.060–0.101)	0.062 (0.048–0.081)	1.3	–	–	–
Krasnogorsk	>5.0	5.4 (4.5–6.5)	>0.9	87	333	3.8
KSK-1	>5.0	5.5 (4.2–7.2)	>0.9	88	>333	3.8
KSK-2	>5.0	5.3 (4.1–6.9)	>0.9	85	200	2.4
Kaluga	>5.0	4.4 (3.4–5.7)	>1.1	71	100	1.4
Clothianidin						
S-NIID	0.100 (0.077–0.130)	0.070 (0.054–0.091)	1.4	–	–	–
Krasnogorsk	>5.0	4.2 (3.2–5.5)	>1.2	60	263	4.4
KSK-1	>5.0	5.5 (4.2–7.2)	>0.9	79	>250	3.2
KSK-2	>5.0	4.9 (3.8–6.4)	>1.0	70	95	1.4
Kaluga	5.0 (3.8–6.5)	2.5 (1.9–3.3)	2.0	36	105	2.9
Indoxacarb						
S-NIID	0.500 (0.385–0.650)	0.017 (0.013–0.022)	29.4	–	–	–
Krasnogorsk	0.540 (0.415–0.702)	0.024 (0.018–0.031)	22.5	1.4	1.46	1.04
Kaluga	>0.500	0.018 (0.014–0.023)	>27.8	1.0	0.24	0.24
Chlorfenapyr						
S-NIID	0.060 (0.046–0.078)	0.014 (0.011–0.018)	4.3	–	–	–
Krasnogorsk	>0.050	0.018 (0.014–0.024)	>2.8	1.3	0.25	0.19
Kaluga	0.050 (0.038–0.066)	0.018 (0.014–0.024)	2.8	1.3	0.33	0.25

Note: * – data on RR during contact action are given according to Davlianidze et al., 2022.

при контакте (нанесение 1 мкл на переднеспинку мух) в 1.5–4.4 раза больше, чем при скармливании аналогичной лозы инсектицида. Этот факт свидетельствует о значительной роли кутикулярного барьера насекомых в механизмах резистентности. Следует отметить довольно большие колебания инсектицидности неоникотиноидов при топикальном нанесении. Так при ранее проведенных исследованиях ПР тиаметоксама и клотианидина достигали более высоких значений (ПР к тиаметоксаму 345–500×; к

клотианидину 167–417×) (Еремина с соавт., 2022). Для индоксакарба и хлорфенапира подобного эффекта не обнаружено. Возможно, это связано с замедленным действием, когда проинсектицид проникает через кутикулу, а затем активируется в организме насекомых при помощи ферментов. Различия в скорости действия этих ДВ подтверждаются и данными зарубежной литературы (Zahn et al., 2019; Bostanian et al., 2004).

Таблица 3. Скорость отмирания имаго комнатной мухи двух резистентных культур в сравнении с чувствительной культурой S-НИИД при поедании отравленных приманок, в том числе при наличии альтернативного корма

Инсектицид, мкг/мг приманки	Культура	Показатели инсектицидности, ч		ПР по ЛТ ₉₅
		ЛТ ₅₀	ЛТ ₉₅	
Фипронил, 0.5	S-НИИД	11	35	–
	Красногорск	31	48	1.4
	Калуга	30	> 48	> 1.4
Метомил, 10.0	S-НИИД	1.6	2.6	–
	Красногорск	4.6	30	11.5
	Калуга	10	33	12.7
Метомил, 10.0 + АК	S-НИИД	1.3	4.0	–
	Красногорск	нд	нд	–
	Калуга	нд	нд	–
Тиаметоксам, 100.0	S-НИИД	0.5	0.8	–
	Красногорск	3.5	6.0	7.5
	Калуга	2.0	9.0	11.3
Тиаметоксам, 100.0 + АК	S-НИИД	0.4	1.6	–
	Красногорск	3.3	>48	>30.0
	Калуга	3.2	>48	>30.0
Имидаклоприд, 100.0	S-НИИД	1.2	6.0	–
	Красногорск	5.0	45	7.5
	Калуга	3.1	48	8.0
Имидаклоприд, 100.0 + АК	S-НИИД	1.1	4.5	–
	Красногорск	3.5	48	10.7
	Калуга	3.3	>48	>10.7

Примечание: АК – альтернативный корм; нд – показатель не достигнут.

Table 3. The rate of dying off of adult housefly of two resistant strains in comparison with the susceptible strain S-NIID when feeding poisoned baits, including when alternative food is available

Insecticide, µg a.i./mg bait	Культура (Strain)	Indicators of insecticide action, h		RR ₉₅
		LT ₅₀	LT ₉₅	
Fipronil, 0.5	S-NIID	11	35	–
	Krasnogorsk	31	48	1.4
	Kaluga	30	> 48	> 1.4
Metomil, 10.0	S-NIID	1.6	2.6	–
	Krasnogorsk	4.6	30	11.5
	Kaluga	10	33	12.7
Metomil, 10.0+AF	S-NIID	1.3	4.0	–
	Krasnogorsk	na	na	–
	Kaluga	na	na	–
Thiamethoxam, 100.0	S-NIID	0.5	0.8	–
	Krasnogorsk	3.5	6.0	7.5
	Kaluga	2.0	9.0	11.3
Thiamethoxam, 100.0+AF	S-NIID	0.4	1.6	–
	Krasnogorsk	3.3	>48	>30.0
	Kaluga	3.2	>48	>30.0
Imidacloprid, 100.0	S-NIID	1.2	6.0	–
	Krasnogorsk	5.0	45	7.5
	Kaluga	3.1	48	8.0
Imidacloprid, 100.0+ AF	S-NIID	1.1	4.5	–
	Krasnogorsk	3.5	48	10.7
	Kaluga	3.3	>48	>10.7

Note: AF – alternative feed; na – indicator not achieved.

Сравнительная оценка эффективности инсектицидных приманок на трех культурах комнатной мухи показала, что ряд промышленно производимых приманок достаточно эффективен для борьбы с резистентными популяциями, однако выявлено замедление их действия на мультирезистентные культуры. Действие приманки на основе 0.05%

фипронила на культуры Красногорск и Калуга замедлено в 3 раза, а показателя ЛТ₉₅ у культуры Калуга не достигнуто, т.е. более 5% мух проявили полную нечувствительность к фипронилу. Выявлено замедление проявления симптомов отравления комнатной мухи резистентных культур при поедании приманки на основе 10% тиаметоксама:

при отсутствии выбора корма ЛТ₅₀ у культур Красногорск и Калуга в сравнении с культурой S-НИИД замедлено в 7.0 и 4.0 раза, соответственно, а ЛТ₉₅ в 7.5 и 11.3 раз, соответственно. При наличии альтернативного корма у культуры S-НИИД ЛТ₅₀ при действии тиаметоксама осталось таким же, а ЛТ₉₅ увеличилось в 2 раза. Приманки на основе 10% имидаклоприда действовали на мух аналогично: при отсутствии выбора корма ЛТ₅₀ у культур Красногорск и Калуга в сравнении с мухами S-НИИД замедлено в 4.2 и 2.6 раза, соответственно, а ЛТ₉₅ приблизительно в 2 раза у обеих культур мух. При наличии альтернативного корма у всех культур комнатной мухи показатели ЛТ₅₀ и ЛТ₉₅ были близки к таковым, полученным без выбора корма. Поедание приманки на основе 1% метомила при отсутствии выбора корма привело к значительному увеличению показателей инсектицидности – ЛТ₅₀ у культур Красногорск и Калуга в сравнении с культурой S-НИИД в 2.9 и 6.3 раза, соответственно, а ЛТ₉₅ – в 11.5 и 12.7 раз, соответственно. При наличии альтернативного корма у культуры S-НИИД в 1.5 раза увеличился только ЛТ₉₅, тогда как у резистентных культур показатели ЛТ₅₀ и ЛТ₉₅ не были достигнуты (выжило 98.7% мух культуры Калуга и 82.1% мух культуры Красногорск). Аналогичные данные получены в США – смертность мух через 48 ч была менее 10%, что

свидетельствует о важной роли поведенческих факторов в устойчивости мух к приманкам (Darbro, Mullens, 2004). К.Ф. Ли с соавт. показали, что имелась незначительная поведенческая устойчивость к приманке на основе 10% имидаклоприда: совокупная смертность комнатных мух составила 79% и 67% в тестах без и в присутствии альтернативного корма, соответственно (Li et al., 2015). Многолетние исследования в США показали, что наблюдаемая резистентность комнатных мух в полевых условиях к приманкам на основе имидаклоприда и метомила в основном связана с поведенческой устойчивостью (Darbro, Mullens, 2004; Gerry, Zhang, 2009; Murillo et al., 2015; Hubbard, Gerry, 2020; Hubbard, Gerry, 2021). Согласно полученным нами ранее данным промышленные приманки на основе 0.6% индоксакарба действуют замедленно: ЛТ₅₀ 14–22 ч, ЛТ₉₅ 23–33 ч. Через 48 ч в живых остается 1.2% особей чувствительной культуры S-НИИД, 2.3% особей культуры Красногорск и 3.7% особей культуры Калуга. Приманка на основе 2% динотефурана действует быстрее (ЛТ₅₀ 0.5–1.1 ч, ЛТ₉₅ 4.4–48 ч.), однако отмечено выживание 5–10% мух резистентных культур Красногорск и Калуга при учете через 48 ч. По-видимому, сказывается выявленная нами высокая резистентность к неоникотиноидам (Еремина с соавт., 2022).

Заключение

В результате наших исследований показано, что в России существуют популяции комнатной мухи, высоко резистентные к неоникотиноидам и фипронилю при их кишечном поступлении в организм. Установлено, что при испытаниях промышленно производимых приманок на основе тиаметоксама или имидаклоприда в лабораторных условиях выживает 5–15% особей. Поведенческая

устойчивость показана только для приманок на основе метомила. Показатели резистентности для ряда инсектицидов при кишечном поступлении в организм насекомого в 1.5–4.4 раза меньше, чем при контактном нанесении, что свидетельствует о большой роли кутикулярного барьера в механизме устойчивости.

Библиографический список (References)

- Еремина О.Ю., Олифер ВВ, Давлианидзе ТА (2022) Перспективы применения приманок на основе современных действующих веществ для борьбы с комнатными мухами. Дезинфекционное дело 1(119):33–37. doi: 10.35411/2076-457X-2022-1-33-37
- Давлианидзе ТА, Еремина О.Ю., Олифер ВВ (2022) Резистентность к инсектицидам комнатной мухи *Musca domestica* в центре европейской части России. Вестник Защиты растений. 105(3):114–121. doi: org/10.31993/2308-6459-2022-105-3-15346.
- Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности (2020). Руководство Р 4.2.3676–20. п. 4.16.4. С. 303.
- Abbas N, Ijaz M, Shad SA, Binyameen M (2016) Assessment of resistance risk to fipronil and cross resistance to other insecticides in the *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) *Vet Parasitol* 223:71–76. doi: 10.1016/j.vetpar.2016.04.026.
- Abbas N, Shad SA, Ismail M (2015) Resistance to conventional and new insecticides in house flies (Diptera: Muscidae) from poultry facilities in Punjab, Pakistan. *J Econ Entomol* 108(2):826–833. doi: 10.1093/jee/tou057.
- Bostanian NJ, Vincent C, Hardman JM, Larocque N (2004) Toxicity of indoxacarb to two species of predacious mites and a predacious mirid. *Pest Manag Sci.* 60(5):483–486. doi: 10.1002/ps.817.
- Darbro JM, Mullens BA (2004) Assessing insecticide resistance and aversion to methomyl-treated toxic baits in *Musca domestica* L (Diptera: Muscidae) populations in southern California. *Pest Manag Sci* 60(9):901–908. doi: 10.1002/ps.885.
- El-Bassiony GM, Luizzi V, Nguyen D, Stoffolano JG Jr, Purdy AE (2016) *Vibrio cholerae* laboratory infection of the adult house fly *Musca domestica*. *Med Vet Entomol* 30(4):392–402. doi: 10.1111/mve.12183.
- Finney DJ (1971) Probit analysis, Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Freeman JC, Ross DH, Scott JG (2019) Insecticide resistance monitoring of house fly populations from the United States. *Pestic Biochem Physiol* 158:61–68. doi: 10.1016/j.pestbp.2019.04.006.
- Gerry AC, Zhang D (2009) Behavioral resistance of house flies, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) to imidacloprid. *US Army Med Dep J.* Jul-Sep: 54–59. PMID: 20088034.
- Hubbard CB, Gerry AC (2020) Selection, reversion, and characterization of house fly (Diptera: Muscidae) behavioral resistance to the insecticide imidacloprid. *J. Med. Entomol.* 57: 1843–1851. doi: 10.1093/jme/tjaa105.
- Hubbard CB, Gerry AC (2021) Genetic evaluation and characterization of behavioral resistance to imidacloprid in the house fly. *Pestic Biochem Physiol* 171:104741. doi: 10.1016/j.pestbp.2020.104741.
- Khamesipour F, Lankarani KB, Honarvar B, Kwenti TE (2018) A systematic review of human pathogens carried by the housefly (*Musca domestica* L.). *BMC Public Health* 18(1):1049. doi: 10.1186/s12889-018-5934-3.

- Khan HAA, Shad SA, Akram W (2013) Resistance to new chemical insecticides in the house fly, *Musca domestica* L., from dairies in Punjab, Pakistan. *Parasitol Res* 112(5):2049–2054. <https://doi.org/10.1007/s00436-013-3365-8>.
- Kristensen M, Jespersen JB (2008) Susceptibility to thiamethoxam of *Musca domestica* from Danish livestock farms. *Pest Manag Sci* 64(2):126–32. doi: 10.1002/ps.1481.
- Levchenko MA, Silivanova EA, Bikinyaeva RK, Balabanova GF (2018) Efficacy of acetamiprid and fipronil fly baits against the housefly (*Musca domestica* L.) under laboratory conditions. *Vet World* 11(7):953–958. doi: 10.14202/vetworld.2018.953-958.
- Li QF, Li X, Hunag JB, Zhang DM, Yuan JZ (2015) Efficacy of cyantraniliprole fly bait against housefly (*Musca domestica* L.) under laboratory conditions. *Parasitol Res* 114(9):3525–3528. doi: 10.1007/s00436-015-4584-y.
- Murillo AC, Gerry AC, Gallagher NT, Peterson NG, Mullens BA (2015) Laboratory and field assessment of cyantraniliprole relative to existing fly baits. *Pest Manag Sci* 71(5):752–758. doi: 10.1002/ps.3847.
- Nayduch D, Burrus RG (2017) Flourishing in filth: house fly–microbe interactions across life history. *Ann Entomol Soc Am* 110(1):6–18. doi.org/10.1093/aesa/saw083.
- Sheppard CD, Joyce JA (1998) Increased susceptibility of pyrethroid-resistant horn flies (Diptera: Muscidae) to chlorfenapyr. *J Econ Entomol.* 91(2):398–400. doi.org/10.1093/jee/91.2.398
- Shono T, Zhang L, Scott JG (2004) Indoxacarb resistance in the house fly, *Musca domestica*. *Pestic Biochem Physiol* 80(2):106–112. doi.org/10.1016/j.pestbp.2004.06.004
- Wang Q, Li M, Pan J, Di M, Liu Q, et al. (2012) Diversity and frequencies of genetic mutations involved in insecticide resistance in field populations of the house fly (*Musca domestica* L.) from China. *Pestic. Biochem. Physiol.* 102(2): 153–159. doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.12.007.
- You C, Shan C, Xin J, Li J, Ma Z, et al. (2020) Propoxur resistance associated with insensitivity of acetylcholinesterase (AChE) in the housefly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). *Sci Rep.* 10(1):8400. doi: 10.1038/s41598-020-65242-3.
- Zahn LK, Cox DL, Gerry AC (2019) Mortality rate of house flies (Diptera: Muscidae) exposed to insecticidal granular fly baits containing indoxacarb, dinotefuran, or cyantraniliprole. *J Econ Entomol* 112(5):2474–2481. doi: 10.1093/jee/toz170.

Translation of Russian References

- Eremina OYu., Olifer VV, Davlianidze TA (2022) [Prospects for the use of baits based on modern active ingredients for the control of house flies]. *Disinfection affairs* 1(119):33–37. doi: 10.35411/2076-457X-2022-1-33-37
- Davlianidze TA, Eremina OYu, Olifer VV (2022) [Resistance to insecticides of houseflies *Musca domestica* in the center of the European part of Russia]. *Plant Protection News*, 2023, 106(3), p. 156–164
- OECD+WoS: 1.06+IY (Entomology) <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-15487>
- Protection News* 105(3):114–121: (In Russian) doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-3-15346
- Rukovodstvo R 4.2.3676-20 (2020) [Methods of laboratory research and testing of disinfectants to assess their effectiveness and safety. Guide R 4.2.3676-20]. paragraph 4.16.4. P.303 (In Russian)

Full-text article

INTESTINAL EFFECTS OF MODERN INSECTICIDES ON MULTIRESISTANT STRAINS OF THE HOUSEFLY *MUSCA DOMESTICA*

T.A. Davlianidze, O.Yu. Eremina*, V.V. Olifer

Institute of Disinfectology of the Federal Scientific Center for Hygiene named after F.F.Erisman of Rospotrebnadzor, Mytishchi town, Moscow Province, Russia

*corresponding author; e-mail: eremina_insect@mail.ru

Under laboratory conditions, resistance to insecticides in several strains of the housefly, *Musca domestica*, obtained from populations collected at various facilities in the Moscow and Kaluga regions, was assessed by intestinal ingestion of insecticidal baits. The insects of the strains Krasnogorsk and Kaluga had the highest resistance ratios to fipronil (23.3–76.7x), while those of the KSK-1 and KSK-2 strains were tolerant (6.3–7.7x). The strains Krasnogorsk, KSK-1, KSK-2 and Kaluga are highly resistant to neonicotinoids (thiamethoxam 80.4–104.8x and clothianidin 79.5–97.9x), weakly tolerant to chlorfenapyr (1.8–2.8x) and highly susceptible to indoxacarb (0.22–0.54x). A comparison was made of the contact and intestinal effects of insecticides against the housefly. The resistance factor of the housefly to fipronil, thiamethoxam, and clothianidin upon contact is 1.5–4.4 times higher than those after feeding with the similar insecticide dose. Possible mechanisms of insect multiresistance to insecticides are discussed. Comparative evaluation using three strains of the housefly showed that a number of industrially produced baits are effective for control of the field populations of the house fly. Physiological resistance of the housefly of Krasnogorsk and Kaluga strains to baits based on methomyl was shown.

Keywords: resistance, neonicotinoid, organophosphate, phenylpyrazole, oxadiazine, pyrrole, carbamate

Submitted: 03.10.2022

Accepted: 13.09.2023