^{1,3}**О. Г. Грибоедова**, старший научный сотрудник лаборатории фитопаразитологии (¹), зав. лабораторией диагностики вредных организмов (³), к. б. н.

²**А. С. Зейналов**, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии и защиты растений, д. б. н.

³**Г. Е. Ларина**, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией экспериментальных методов исследований в растениеводстве, д. б. н., профессор

¹ВНИИ фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений — филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии Российской академии наук имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко», 109428, Россия, г. Москва, Рязанский проспект, д. 24, к. 1

²ФГБНУ «Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства», 115598, Россия, Москва, Загорьевская, ул. д. 4

³ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», 143050, Россия, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вязёмы
o.g.griboedova@yandex.ru, adzeynalov@yandex.ru, larina.galina2014@gmail.com

УДК 632.951.2/634.13

DOI 10.31676/2073-4948-2019-58-122-130

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ОСТАТКОВ ИНСЕКТИЦИДОВ В ПЛОДАХ ГРУШИ

Реферат. Опытные данные двух лет исследований показали перспективность применения инсектицидов на основе ацетамиприда, тиаклоприда и аверсектина С против грушевой медяницы в условиях Нечернозёмной зоны. Период полуразложения (T_{50} , сут.) ацетамиприда колебался от 7 до 22 сут., тиаклоприда — от 8 до 21 сут., аверсектина С — 2-3 сут в зависимости от температуры воздуха, количества осадков и дозы препарата. Убыль действующего вещества инсектицидов из плодов груши происходила в результате химической деструкции и биологического разрушения (разбавления). Скорость разложения аверсектина С в плодах груши была максимальной и равнялась $0,4894 \pm 0,0413$ сут⁻¹ по сравнению с ацетамипридом — $0,1042 \pm 0,0230$ сут⁻¹ и тиаклопридом — $0,0392 \pm 0,0021$ сут⁻¹. Применение исследуемых препаратов гигиенически безопасно. Срок ожидания инсектицидов из группы неоникотиноидов и природного комплекса авермектинов в груше равнялся: ацетамиприда — до 3 (7) сут., тиаклоприд — 1-3 сут., аверсектин С — 2-4 сут.

Ключевые слова: инсектицид, остаточные количества, тиаклоприд, ацетамиприд, аверсектин С, груша, обыкновенная грушевая медяница.

Summary. Experimental data from two years of research showed the perspective of using insecticides based on acetamiprid, thiacloprid, and aversectin C against pear psylla in the conditions of the Nonchernozem zone. The period of semi-decomposition (T_{50} , days) of acetamiprid ranged from 7 to 22 days, thiacloprid from 8 to 21 days, aversectin C from 2-3 days, depending on air temperature, amount of precipitation and dose of the drug. The decrease in the active substance of insecticides from the fruit of pear occurred as a result of chemical destruction and biological destruction (dilution). The rate of decomposition of aversectin C in pear fruits was maximum and was equal to $0,4894 \pm 0,0413$

days⁻¹, compared with acetamipride 0,1042 ± 0,0230 days⁻¹ and thiacloprid 0,0392 ± 0,0021 days⁻¹. The use of the studied drugs is hygienically safe. The waiting time of insecticides from the group of neonicotinoids and the natural complex of avermectins in the pear was: acetamiprid up to 3 (7) days., thiacloprid — 1-3 days, aversectin C 2-4 days.

Keywords: insecticides, residual, thiacloprid, acetamiprid, aversectin C, pear, pear psylla.

Введение

Интенсификация производства продукции растениеводства, включая плодоводство и ягодоводство, неизбежно ведёт к увеличению применения пестицидов. Проблему устойчивости вредных организмов к применяемым средствам можно решить, проводя поиск новых действующих веществ (д. в.) для защиты растений или расширяя ассортимент культур, на которых применяется известный набор препаратов против целевых видов.

В последнее десятилетие активно наращиваются площади промышленных плодовых садов — до 10 тыс. га ежегодно. Но площадь грушевых садов, согласно данным Всероссийской сельскохозяйственной переписи, сократилась на 6176,1 га к 2016 году по сравнению с 2006 годом. Среди основных причин наблюдаемого явления выделяют несовершенство системы защиты растений от наиболее агрессивных и экономически значимых вредителей, в первую очередь, обыкновенной грушевой медяницы *Psylla Pyri* L. (от 50 до 100 % потери плодами товарного качества).

В настоящее время в «Справочнике пестицидов и агрохимикатов» за 2018 год [1] рекомендованы к применению на груше против грушевой медяницы 24 препарата разной природы, в основном из группы фосфорорганических соединений. Причём около 70 % инсектицидов содержат в качестве действующего вещества диметоат, 20 % — малатион. И только оставшиеся 10 % препаратов — из остальных групп. Данная ситуация позволяет нам говорить об опасности возникновения устойчивых к ряду действующих веществ популяций и рас вредных организмов в производстве плодовых культур, в частности, груши.

В этой связи вызывают интерес действующие вещества из группы неоникотиноидов, пиретроидов, авермектинов в качестве препаратов для защиты груши от обыкновенной грушевой медяницы. Цель нашего исследования заключалась в оценке экотоксикологической безопасности продукции после применения инсектицидов (тиаклоприд, ацетамиприд, аверсектин С) в системе защиты плодового сада в условиях Нечерноземной зоны.

Материалы и методы исследований

Ранее в полевых испытаниях в условиях плодового сада нами были получены убедительные результаты по высокой биологической эффективности инсектицидов: «Калипсо» (КС, 480 г/л тиаклоприда, 0,5 л/га) — в среднем 69 %, «Моспилан» (РП, 200 г/кг ацетамиприда, в дозе 0,5 кг/га) — 75 %, «Фи-

товерм» (КЭ, 10 г/л аверсектина С, в дозе 1,6 л/га) — 84 % [2]. Опыт заложили на опытной базе ФГБНУ ВСТИСП в 2013-2014 гг. (Московская область) на территории плодового сада 2001 года посадки (сорт Лада). Участок отличается выровненными условиями, типичными почвенно-климатическими условиями для природной южно-таежной зоны. Обработку от вредителей проводили однократно препаратами на основе ацетамиприда («Моспилан», РП), тиаклоприда («Калипсо», КС) и аверсектина С («Фитоверм», КЭ) в фенофазу роста и созревания плодов, в момент наибольшей численности основного вредителя — обыкновенной грушевой медяницы. Препараты наносили с помощью моторизованного ручного опрыскивателя «Solo» с нормой рабочего раствора 1000 л/га.

Погодные условия разных лет наблюдений отличались (табл. 1). Каждый год обработку проводили в июле, который в Московской области является самым жарким месяцем. Среднемноголетняя температура воздуха в июле равна +19,2 °С. Норма осадков составляет 85 мм. Первый год испытаний (2013) был более прохладным и обильным (свыше 35 % от среднемноголетних данных) по количеству выпавших осадков. Второй год испытаний (2014) отличался засушливостью: превышение по температуре воздуха и в 20 раз меньше осадков по сравнению со среднемноголетними показателями.

Таблица 1.

Погодные условия лета 2013 и 2014 года.

Месяц	2013		2014		среднемноголетнее	
	СрСутТемп	СумОс	СрСутТемп	СумОс	СрСутТемп	СумОс
июль	+18,91	117,9	+21,06	4,0	+19,2	85
август	+18,0	72,9	+18,4	84,7	+17,0	70

Примечание: СрСутТемп — среднесуточная температура воздуха, °С; СумОс — сумма осадков за период наблюдений, мм.

Для анализа продукции на содержание остаточных количеств исследуемых инсектицидов в плодах груши проводили отбор проб в динамике согласно унифицированным правилам отбора проб сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и объектов окружающей среды для определения макроколичеств пестицидов, опубликованным в сборнике методических документов, необходимых для обеспечения применения Федерального закона от 12 июня 2008 г. № 88-ФЗ. Масса средней пробы плодов составляла 1 кг. Одновременно отбирали пробы с контрольных деревьев, без применения инсектицидов. Пробы с момента сбора и до проведения химического анализа хранили замороженными при –20 °С.

Инструментальный анализ содержания действующих веществ в растительной продукции проводили с использованием экстрактов, полученных с применением пробоподготовки QuEChERS в соответствии с методическими указаниями по определению остаточных количеств пестицидов ФР.1.31.2010.07610

«Методика измерений остаточных количеств пестицидов в пробах овощей, фруктов, зерна и почв методом хромато-масс-спектрометрии (ХМС)», утверждённой Россельхознадзором 12.07.2010 г. Для понимания порядка величин по гигиенической безопасности производимой продукции после применения испытываемых препаратов мы ориентировались на показатели МДУ/ВМДУ для плодовых семечковых: по аверсектину С равное 0,005 мг/кг и ацетамиприду — 0,8 мг/кг; тиаклоприда — 0,7 мг/кг (табл. 2).

Таблица 2.

Гигиенические нормативы для испытываемых инсектицидов

Действующее вещество	Объект анализа	МДУ/*ВМДУ, мг/кг	Предел определения по ХМС, мг/кг
аверсектин С	плодовые семечковые, огурцы, томаты, картофель	0,005	0,001
ацетамиприд	огурцы, томаты	0,3	0,01
	плодовые семечковые	*0,8	
тиаклоприд	плодовые семечковые, баклажаны	0,7	0,01
	виноград, картофель	0,02	
	перец сладкий	*1,0	

Примечание: МДУ/ВМДУ по ГН 2.3.2.708-98. Максимально допустимый уровень (МДУ) аверсектина-С в продуктах питания человека растительного и животного происхождения (<https://base.garant.ru/4176110/>); МУК 4.1.1850-04. Методические указания по определению остаточных количеств ацетамиприда в воде, почве, ботве и клубнях картофеля, зерне и соломе зерновых колосовых культур; МУК 4.1.3209-14. Определение остаточных количеств тиаклоприда в зеленой массе, зерне и масле кукурузы, в ботве и корнеплодах сахарной свеклы, зеленой массе и зерне гороха, в плодах томатов и томатном соке методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Полученные результаты анализировали статистически в программе *Microsoft Excel* (2013). В таблицах и на рисунках приведены средние значения ($\bar{X}$), стандартное отклонение (ST), коэффициент корреляции (r) и детерминации (r^2). При проверке статистических гипотез применяли 5 %-ный уровень значимости или критерий Стьюдента $P \leq 0,05$.

Обсуждение результатов

Поведение ацетамиприда. Анализ плодов с контрольных деревьев во все даты исследований показал отсутствие остаточных количеств ацетамиприда в плодах груши. На графике приведены кривые динамики содержания остаточных количеств ацетамиприда в плодах груши в 2013-2014 гг. Для сравнения результатов разных лет данные по содержанию остаточных количеств инсектицида нормализованы в процентах относительно исходной дозы (рис. 1). Ди-

динамика содержания ацетамиприда в плодах хорошо описывается экспоненциальной зависимостью (уравнения на графике), что подтверждают высокие значения r^2 , равные 0,92-0,99.

Рис.1. Динамика содержания остаточных количеств ацетамиприда в плодах груши.

В 2013 году обработка препаратом на основе ацетамиприда (исходная доза 20 г д. в./га или 0,02 мг/кг) была проведена 13 июля. На 20 сутки наблюдений в плодах груши было идентифицировано 54 % ацетамиприда от внесенного количества или $0,0108 \pm 0,0022$ мг/кг. Во второй год эксперимента обработка ацетамипридом (исходная доза 100 д. в. г/га или 0,1 мг/кг) была проведена 1 июля. На 10 сутки наблюдений в плодах груши было определено 45 % ацетамиприда от внесенного количества или 0,045 мг/кг, а на 20 сутки — 37 % или 0,0376 мг/кг. По абсолютной величине на 20 сутки разложение дозы препарата, равной 0,1 мг/кг, было в три раза ниже, чем дозы — 0,02 мг/кг, и много ниже значения ВМДУ, равного 0,8 мг/кг. Срок ожидания составил 3-7 сут. Значение периода полуразложения (T_{50} , сут.) в первый год опыта равняется 14-22 сут., во второй — 7-9 сут., что характеризует снижение устойчивости ацетамиприда с повышением температуры окружающей среды.

По научным публикациям в условиях открытого грунта показатель T_{50} ацетамиприда (исходная доза инсектицида равнялась 0,98 мг/кг) был около 1 сут.: в плодах помидоров — 1,04 сут.; огурцах — 1,18 сут. На 10 сутки содержание ацетамиприда было менее 1% от внесённого количества (на уровне 0,01 мг/кг) [3]. Сравнительный анализ данных позволяет сделать вывод о влиянии видовых особенностей растений и дозы препарата на скорость разложения

ацетамиприда в растительной продукции (плоды). Поэтому обязателен контроль на остатки неоникотиноидов перед сбором продукции.

Поведение тиаклоприда. Для сравнения результатов содержания остаточных количеств тиаклоприда в плодах груши в 2013-2014 гг. данные были нормализованы в процентах относительно исходной дозы (рис. 2).

Рис. 2. Динамика содержания остаточных количеств тиаклоприда в плодах груши.

Динамика содержания тиаклоприда в плодах хорошо описывается экспоненциальной зависимостью (уравнения на графике), что подтверждают высокие значения r^2 , равные 0,98-0,99. В 2013 году обработка препаратом на основе тиаклоприда (исходная доза 240 г д. в./га или 0,24 мг/кг) была проведена 13 июля. На 20 сутки наблюдений было идентифицировано в плодах груши 21 % тиаклоприда от внесенного количества или $0,050 \pm 0,010$ мг/кг. Во второй год эксперимента обработку тиаклопридом (исходная доза 480 г д. в./га или 0,48 мг/кг) была проведена 3 июля. На 10 сутки наблюдений в плодах груши было определено $0,337 \pm 0,001$ мг/кг тиаклоприда от внесенного количества или 70% от исходной дозы, а на 20 сутки — 48 % или $0,234 \pm 0,002$ мг/кг. По абсолютной величине на 20 сутки разложение большей дозы препарата (0,48 мг/кг) было в четыре раза выше, чем дозы 0,24 мг/кг и ниже значения МДУ, равного 0,7 мг/кг. Срок ожидания составил 1-3 сут. Значение периода полураспада (T_{50} , сут.) в первый год опыта равнялся 8-9 сут., во второй — 19-21 сут., что характеризует повышение устойчивости остатков данного неоникотиноида к разложению в растительной продукции в условиях высоких температур и дефицита влажности. Период полураспада инсектицида в плодах груши составил в среднем 5 суток.

По данным сербских учёных, содержание остаточных количеств тиаклоприда в плодах сладкого перца на 10 сутки эксперимента равнялось 16 % от внесенного количества препарата или 0,184 мг/кг [4].

И в этом случае подтверждается вывод о влиянии видовых особенностей растений и дозы препарата на скорость разложения тиаклоприда в плодах. Поэтому обязателен контроль растительной продукции на остатки неоникотиноидов в период съемной зрелости плодов.

Поведение аверсектина С. Для сравнения эффективности и экотоксикологической нагрузки на плодовый сад оценили поведение инсектицида другой природы, отличной от неоникотиноидов. Динамика содержания аверсектина С в плодах груши хорошо описывается экспоненциальной зависимостью (рис. 3, уравнения на графике, r_2 равен 0,99). В 2014 году обработки препаратом на основе аверсектина С (исходная доза 16 г д. в. /га или 0,016 мг/кг) провели 1 августа. На 1-е сутки наблюдений в плодах груши было определено $0,015 \pm 0,002$ мг/кг аверсектина С или 94 % от внесенного количества; на 3-е сутки — $0,004 \pm 0,001$ мг/кг или 25 % от внесенного количества, что в абсолютных значениях соответствует показателю МДУ, равному 0,005 мг/кг. Это позволяет сделать вывод о гигиенической безопасности плодов груши относительно аверсектина С и сроке ожидания, равном 2-4 сут. Значение периода полуразложения (T_{50} , сут.) аверсектина С в среднем равнялось 2-3 сут., что меньше в 4-10 раз по сравнению с препаратами из группы неоникотиноидов.

Рис. 3. Динамика содержания остаточных количеств аверсектина С в плодах груши.

Мы провели расчеты скорости разложения изучаемых действующих веществ в растительной продукции в период наблюдений с использованием модели экс-

пониженной зависимости поведения пестицидов в объектах окружающей среды [5]. В табл. 3 показано, что максимальная скорость разложения характерна для аверсектина С ($k = 0,4894 \pm 0,0413 \text{ сут}^{-1}$) по сравнению с ацетамипридом ($k = 0,1042 \pm 0,0230 \text{ сут}^{-1}$) и тиаклопридом ($k = 0,0392 \pm 0,0021 \text{ сут}^{-1}$). Убыль препарата из плодов груши происходит по причине химической деструкции (условно принята за активный процесс) и биологического разрушения (разбавления) концентрации действующего вещества (пассивный процесс). Для ацетамиприда и тиаклоприда основной путь разрушения (убыль в плодах) связан с химической деструкцией или процессом окисления исходного соединения.

Таблица 3.

Изменение скорости разложения исследуемых действующих веществ в плодах груши (по данным 2014 года)

Действующее вещество	Экспозиция с момента применения препарата, сут.	Скорость разложения действующего вещества ($k, \text{сут}^{-1}$)		
		общая	активная	пассивная
ацетамиприд	1-7	0,125	0,125	*
	7-10	0,115	0,027	0,088
	10-15	0,072	0,010	0,062
X $\pm$ ST	1-15	$0,1042 \pm 0,023$	$0,0542 \pm 0,050$	$0,0500 \pm 0,036$
тиаклоприд	1-7	0,042	0,042	*
	7-10	0,038	0,008	0,030
	10-15	0,038	0,012	0,025
X $\pm$ ST	1-15	$0,0392 \pm 0,002$	$0,0210 \pm 0,015$	$0,0183 \pm 0,013$
аверсектин С	1-3	0,441	0,441	*
	3-5	0,542	0,277	0,264
	5-7	0,486	0,099	0,387
X $\pm$ ST	1-7	$0,4894 \pm 0,041$	$0,2723 \pm 0,139$	$0,2171 \pm 0,161$

Примечание: * менее $0,0001 \text{ сут}^{-1}$

Выводы

В целом данные полевых исследований показали перспективность применения инсектицидов на основе ацетамиприда, тиаклоприда и аверсектина С против грушевой медяницы в условиях Нечернозёмной зоны.

Опытные данные продемонстрировали, что в 2013 году период полуразложения ацетамиприда составил 14-22 суток, а в 2014 году — 7-9 суток, что объясняется снижением персистентности ацетамиприда в условиях повышенных температур воздуха, уменьшения влажности и увеличения дозы препарата.

В случае тиаклоприда период полураспада в 2013 году составил 8-9 суток и в 2014 году — 19-21 сут. Установлено, что тиаклоприд менее устойчив к разложению при повышении температуры, что важно при выборе препарата к применению в определенных погодных условиях и при определенном количестве дней до сбора плодов. Значение периода полураспада (T_{50} , сут.) аверсектина С в среднем равнялось 2-3 сут., что меньше в 4-10 раз по сравнению с препаратами из группы неоникотиноидов. Срок ожидания на плодовых культурах (груша) препаратов на основе ацетамиприда равен 3-7 сут., тиаклоприда — 1-3 сут, аверметина С — 2-4 сут.

Список использованной литературы

1. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории РФ, 2018 г.
2. **Грибоедова О. Г., Зейналов А. С.** Расширение ассортимента препаратов в борьбе с обыкновенной грушевой медяницей // Материалы Международной научно-практической конференции «Конкурентноспособные сорта и технологии для высокоэффективного садоводства» — 02-05 июня 2015 г. — Орёл — С. 42-43.
3. **Jallow Mustapha F. A., Awadh Dawood G., Albaho Mohammed S., Devi Vimala Y., Ahmad Nisar.** Monitoring of Pesticide Residues in Commonly Used Fruits and Vegetables in Kuwait // International Journal of Environmental Research and Public Health., 2017. — Aug; 14 (8). — P. 833. Published online 2017 Jul
4. **Lazić S., Šunjka D., Begović R., Vuković S.** Dissipation and persistence of thiacloprid in pepper fruits. // Pesticidi i fitomedicina (Belgrade), 2015. — 30(4). — P. 225–232.
5. **Ларина Г. Е.** Комплексная оценка действия гербицидов на компоненты агроценоза // Агрохимия. — 2002. — № 4. — С. 64-74.

¹**O. G. Griboedova, ²A. S. Zeynalov, ³G. E. Larina**

¹All-Russian Scientific Research Institute of Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants, Russia, Moscow

²All-Russian Horticultural Institute for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Russia, Moscow

³All-Russian Research Institute of Phytopathology

ECOTOXICOLOGICAL MONITORING OF INSEKTICIDES RESIDUES IN PEAR FRUITS