

Формирование резистентности к инсектоакарициду Клипер (бифентрин) у паутиного клеща *Tetranychus urticae**

И. Н. ЯКОВЛЕВА¹, Ю. И. МЕШКОВ^{1,2}, Ю. В. ЗУЕВА¹, И. И. СИДОРОВ¹, Е. С. ИЗМАЙЛОВА¹, М. В. СОКОЛОВСКАЯ¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, ул. Институт, вл. 5, р.п. Большие Вяземы, Одинцовский р-н, Московская обл., 143050, Российская Федерация

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, ул. Вавилова, 38, Москва, 119991, Российская Федерация

Резюме. Эксперименты выполняли в Московской области в 2014–2017 гг. с целью отселектировать популяцию обыкновенного паутиного клеща на устойчивость к препарату Клипер, КЭ (д.в. бифентрин, 100 г/л) для оценки потенциальной скорости формирования резистентности в защищенном грунте на овощных культурах. Лабораторную популяцию через каждые 2...3 генерации обрабатывали рабочим раствором инсектоакарицида в возрастающих концентрациях по мере снижения показателя смертности клещей. На протяжении 72 генераций вредителя провели 62 обработки. Уже в 6 поколении было выявлено увеличение показателя резистентности при 50 % смертности (PR_{50} 11,3-крат), а в 28 поколении сформировалась резистентная линия R_{cliper} (PR_{50} 115,9-крат). При постоянном повышении концентрации препарата в 44 поколении была сформирована сверхрезистентная линия (PR_{50} 960,9-крат). К 59 генерации степень резистентности к бифентрину достигла максимальной величины (PR_{50} 1840,2-крат) и в последующем, до 64 поколения, достоверно не изменялась (PR_{50} 1876,1-крат), то есть происходила стабилизация развития резистентности. При дальнейших стабилизирующих обработках отмечали фиксацию резистентности (по PR_{95} в пределах от 4007,6-крат до 3508,9-крат). Для устойчивой линии (R_{cliper}) отмечено проявление перекрестной резистентности к препаратам Вертимек, КЭ (д.в. абамектин 18 г/л) и Новактион, ВЭ (д.в. малатион 440 г/л) – PR_{50} 1310,4-крат и PR_{50} 18,4-крат, соответственно. К Битоксизациллину, П (БА-1500 ЕА/мг) у устойчивой линии клеща перекрестная устойчивость не проявилась. При экспериментальном изучении продолжительности реверсионного развития чувствительности к Клиперу (бифентрин) на протяжении 45 генераций в сублинии фитофага показатель резистентности (PR_{50}) вернулся к низкой величине до 32,2-крат.

Сведения об авторах: И. Н. Яковлева, кандидат биологических наук, зав. лабораторией; Ю. И. Мешков, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (e-mail: yimeshkov@rambler.ru); Ю. В. Зуева, младший научный сотрудник; И. И. Сидоров, младший научный сотрудник; Е. С. Измайлова, младший научный сотрудник; М. В. Соколовская, старший лаборант-исследователь.

Для цитирования: Формирование резистентности к инсектоакарициду Клипер (бифентрин) у паутиного клеща *Tetranychus urticae* / И. Н. Яковлева, Ю. И. Мешков, Ю. В. Зуева и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 2. С. 23–28. doi: 10.53859/02352451_2024_38_2_23

*работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ВНИИФ по теме 0598-2014-0014.

Development of resistance to the insectoacaricide Cliper (bifenthrin) in the spider mite *Tetranychus urticae*

I. N. Yakovleva¹, Yu. I. Meshkov^{1,2}, Yu. V. Zueva¹, I. I. Sidorov¹, E. S. Izmailova¹, M. V. Sokolovskaya¹

¹All-Russian Research Institute of Phytopathology, ul. Institut, vl. 5, r.p. Bol'shie Vyazemy, Odintsovskii r-n, Moskovskaya obl., 143050, Russian Federation

²Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, ul. Vavilova, 38, Moskva, 119991, Russian Federation

Abstract. The experiments were carried out in the Moscow region in 2014–2017 to select the population of common spider mites for resistance to the drug Cliper, EC (active bifenthrin, 100 g/l) to assess the potential rate of resistance formation in protected soil on vegetable crops. The laboratory population was treated every 2–3 generations with a working solution of insectoacaricide in increasing concentrations as the tick mortality rate decreased. Over 72 generations of the pest, 62 treatments were carried out. By the 6th generation, an increase in the resistance rate was detected with 50% mortality (PR_{50} 11.3-fold), and in the 28th generation a resistant line R_{cliper} was formed (PR_{50} 115.9-fold). With a constant increase in the concentration of the drug in the 44th generation, a super-resistant line was formed (PR_{50} 960.9-fold). By the 59th generation, the degree of resistance to bifenthrin reached its maximum value (PR_{50} 1840.2-fold) and subsequently, until the 64th generation, did not change significantly (PR 1876.1-fold), that is, the development of resistance stabilised. With further stabilising treatments, fixation of resistance was observed (according to PR_{95} ranging from 4007.6-fold to 3508.9-fold). For the resistant line (R_{cliper}), cross-resistance to the drugs Vertimek, EC (active ingredient abamectin 18 g/l) and Novaktion, WE (active ingredient malathion 440 g/l) was observed – PR_{50} 1310.4-fold and PR_{50} 18.4 times, respectively. Cross-resistance to Bitoxibacillin, P (BA-1500 EA/mg) was not observed in the resistant line of mites. When experimentally studying the duration of the reversal development of sensitivity to Cliper (bifenthrin) over 45 generations in the phytophage subline, the resistance indicator (PR_{50}) returned to a low value of 32.2-fold.

Keywords: two-spotted spider mite; *Tetranychus urticae*; Cliper, EC; bifenthrin; insectoacaricides; resistance; cross-resistance; reversion.

Author Details: I. N. Yakovleva, Cand. Sc. (Biol.), head of laboratory; Yu. I. Meshkov, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow (e-mail: yimeshkov@rambler.ru); Yu. V. Zueva, junior research fellow; I. I. Sidorov, junior research fellow; E. S. Izmailova, junior research fellow; M. V. Sokolovskaya, senior research assistant.

For citation: Yakovleva I N., Meshkov Yu I., Zueva Yu V., et al. [Development of resistance to the insectoacaricide Cliper (bifenthrin) in the spider mite *Tetranychus urticae*]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(2):23–8. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_2_23

Паутиные клещи рода *Tetranychus* Dufour способны питаться на разнообразных сельскохозяйственных культурах [1]. Они наносят значительный экономический ущерб, снижая урожай [2, 3]. Среди средств защиты растений акарицидные препараты представляют важнейшее звено в системе мероприятий по подавлению численности фитофагов [4, 5]. Их эффективность различна, что требует проведения многократных обработок [6]. Однако нерациональное применение пестицидов приводит к формированию резистентных популяций

вредоносных членистоногих [7, 8]. Для эффективного контроля роста численности клещей при разработках схем чередования токсичных веществ с учетом норм и кратности их применения необходимо принимать во внимание особенности возникновения и удержания устойчивости к ним в популяциях фитофага и акарифага [9, 10].

Коммерчески доступный препарат Клипер, КЭ (действующее вещество бифентрин 100 г/л) относится к группе пиретроидных инсектоакарицидов третьего поколения. Название по IUPAC – 2-метил-3-илметил(Z)-

(1RS,3RS)-3-(2-хлор-3,3,3-трифторпроп-1-енил)-2,2-диметилциклопропанкарбоксилат. По механизму действия, как и все пиретроиды (группа 3), его считают модулятором натриевых каналов. При открытии натриевых каналов происходит гипервозбуждение в нервных аксонах с летальным исходом [11]. Обладает контактным и кишечным проникновением. Клипер производит ЗАО «ФМРус», аналог Талстара®, КЭ (д.в. бифентрин 100 г/л) (США). Препарат применяют для борьбы с растительноядными насекомыми и клещами. В защищенном грунте РФ использование Клипера разрешено на овощных культурах в борьбе против различных видов клещей, тлей и тепличной белокрылки при концентрации рабочих растворов 0,02...0,06 % (Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Ч. I. Пестициды (по состоянию на 5 сентября 2023 г.). М.: Министрство сельского хозяйства Российской Федерации, 2023).

Пиретроидный препарат на основе бифентрина хорошо зарекомендовал себя во многих странах мира против растительноядных клещей. В то же время известны данные о формировании к нему резистентности. На хлопковых полях Австралии против хлопковой совки и паутинного клеща Талстар® начали применять в вегетационный сезон 1993–1994 гг. Но уже в сезон 1996–1997 гг. в популяциях обыкновенного паутинного клеща *Tetranychus urticae* Koch отмечено развитие резистентности к этому пестициду. Согласно исследованиям уровень устойчивости (на основе показателя резистентности PR_{50}) постепенно увеличивался с 1,2 до 109-крат, что значительно снизило надёжность использования препарата против клещей [12]. В различных районах Турции на хлопчатнике были проанализированы популяции паутинного клеща *T. urticae*, в результате чего была выявлена устойчивость к бифентрину. Коэффициент устойчивости по PR_{50} варьировал в пределах от <1 до 669-крат [13]. Выявлена корреляция между активностью фермента эстеразы и резистентностью к бифентрину [14]. Также и выявление высокоактивной фракции карбоксилэстеразы, участвующей в одном из механизмов устойчивости, послужило доказательством проявления резистентности паутинных клещей к бифентрину [15]. Бельгийскими исследователями было установлено, что ингибитор эстеразы S,S,S-трибутил-фосфоритриатот сильно синергизировал токсичность бифентрина у резистентной популяции паутинного клеща, то есть механизм устойчивости к бифентрину заключался в связывании активных центров эстеразы. При этом скорость метаболизма этой субстанции была в 7,2 раза выше у резистентной популяции клеща, по сравнению с чувствительной лабораторной популяцией [16, 17].

Предполагают, что под влиянием акарицидных обработок с использованием препаратов разных химических классов (бензилаты, авермектины, пиретроиды) в теплицах возможно формирование множественной резистентности к ранее не применявшимся акарицидам, например, к тетралинам [18]. О формировании множественной устойчивости к пестицидам известно и из теплиц Ленинградской области, где все особи паутинных клещей проявляли устойчивость одновременно к бифентрину, абамектину, малатиону, пиримифосметилу. При интенсификации применения пестицидов на культуре тепличной розы также формируются высоко-резистентные популяции обыкновенного паутинного клеща с PR_{50} 360-крат к бифентрину [19].

Цель исследования – отселектировать популяцию обыкновенного паутинного клеща на устойчивость к

Клиперу, КЭ (д.в. бифентрин, 100 г/л) для оценки потенциальной скорости формирования резистентности в защищенном грунте на овощных культурах.

Для ее достижения решали определяли следующие токсикологические показатели: скорость формирования устойчивой популяции к бифентрину, потенциал перекрестной резистентности к инсектоакарицидам, реверсионную активность.

Условия, материалы и методы. В лабораторных исследованиях использован отечественный пиретроидный препарат Клипер, КЭ (100 г/л бифентрина). Против паутинных клещей инсектоакарицид рекомендован к использованию при концентрации в рабочем растворе 0,03 %, что в пересчете соответствует концентрации активного начала 0,003 %, или 30 мкг д.в./мл. Для изучения скорости развития резистентности использовали лабораторную популяцию (S_{vniif}) обыкновенного паутинного клеща *T. urticae* с исходным уровнем чувствительности к бифентрину по среднесмертельным концентрациям $СК_{50}$ 0,553 мкг д.в./мл и $СК_{95}$ 6,21 мкг д.в./мл.

Клещей содержали в изолированных застекленных боксах на молодых растениях кустовой фасоли сорта Сакса при температуре 22 ± 3 °С, относительной влажности воздуха 55...70 % и световом периоде 18 ч.

Групповой отбор на устойчивость проводили путем обработки колонии клещей чувствительной линии (S_{vniif}) с интервалом через 2...3 поколения в повышающих концентрациях для обеспечения смертности самок клещей на уровне 60...80 %. Для этого 2-листочковые побеги фасоли, предварительно заселенные самками паутинного клеща в количестве не менее 20 особей/лист (примерно 2000 подвижных особей на 100 листьях), погружали в рабочий раствор препарата на 3 секунды. Оставшимся в живых клещам давали возможность переселиться на необработанные растения. Несколько побегов фасоли устанавливали на экспозиметры. На них подсчитывали число живых и погибших самок паутинного клеща на 3 сутки; повторность опыта 5-ти кратная [20].

Согласно схеме обработок и по результатам учетов периодически увеличивали концентрации препарата для селективируемой линии паутинного клеща, что отражено в тексте в результатах исследования.

Периодически определяли изменения в чувствительности селективируемой линии паутинного клеща. Коэффициент устойчивости (показатель резистентности) PR_{50} и PR_{95} рассчитывали на основе полученных показателей по среднелетальным концентрациям – $СК_{50}$ (R_{cliper}) / $СК_{50}$ (S_{vniif}) и $СК_{95}$ (R_{cliper}) / $СК_{95}$ (S_{vniif}), где $СК_{50}$ и $СК_{95}$ – среднесмертельная концентрация препарата, дающая гибель 50 и 95 % особей; R_{cliper} – устойчивая к Клиперу линия паутинного клеща; S_{vniif} – чувствительная линия паутинного клеща.

Лабораторные исследования по изучению кросс-резистентности проведены с использованием отселектированной линии обыкновенного паутинного клеща (R_{cliper}), устойчивой к пиретроиду Клипер, КЭ (д.в. бифентрин) с PR_{50} 1840,2-крат. Оценивали токсичность инсектоакарицидов, разрешенных к применению в защищенном грунте – Вертимек, КЭ (д.в. абамектин 18 г/л), Новактион, ВЭ (д.в. малатион 440 г/л) и Битоксибациллин, П (БА-1500 ЕА/мг) (*Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis*).

Использовали препараты в 5 концентрациях при логарифмическом разведении в 5-кратных повторностях.

Для оценки скорости реверсии использована линия паутинного клеща (R_{cliper}) с уровнем устойчивости к бифентрину PR_{50} 1876,1-крат и PR_{95} 4007,6-крат. Изменения в возвратном повышении чувствительности

к пестициду Клипер изучали на протяжении 42 поколений клеща.

Экспериментальные данные обрабатывали статистически методом про-бит-анализа по Литчфелду и Уллоксону [21].

Результаты и обсуждение. При экспериментальном изучении скорости развития устойчивости у обыкновенного паутинного клеща к бифентрину было проведено 62 селективирующих обработок в субпопуляции (R_{cliper}) в течение 72 генераций. Первая обработка популяции клеща акарицидом в сублетальной концентрации 0,0005 % д.в. (в массовом измерении 5 мкг д.в./мл) привела к 87,8 %-ной гибели самок клеща, но при дальнейших обработках смертность снижалась до 51,8 %. Затем в процессе отбора концентрацию бифентрина постепенно повышали от 10 мкг д.в./мл до 5000 мкг д.в./мл. Таким образом, за весь период группового отбора устойчивых особей клеща концентрация была увеличена в 1000 раз. Но столь высокая норма пестицида в рабочем растворе не могла обеспечить смертность самок клеща свыше 87 % (см. рисунок).

Процесс формирования устойчивой к бифентрину популяции обыкновенного паутинного клеща осуществляли в относительно непродолжительные сроки по времени. Так, уровень толерантности к бифентрину ($ПР_{50} \sim 10$ -крат) зафиксирован после 5 обработок сублетальной концентрацией 5 мкг д.в./мл к 6 поколению. Уровень устойчивости ($ПР_{50} \sim 100$ -крат) сформирован после 24 обработок к 28 генерации клеща с повышением концентрации бифентрина до 100 мкг д.в./мл.

В результате более 30 селективирующих обработок устойчивость к бифентрину возросла в 257-крат по $СК_{50}$ и, таким образом, препарат Клипер уже через 36 генераций паутинного клеща перешел в разряд малотоксичных для вредителя.

В теоретическом плане представляло интерес установить предельные возможности препарата Клипер

Таблица 1. **Снижение чувствительности к бифентрину у самок паутинного клеща *Tetranychus urticae* в процессе селективирующих обработок препаратом Клипер, КЭ (100 г/л)**

Поколение, F_n	Обработка пестицидом, номер	Смертельные концентрации бифентрина, мкг д.в./мл ($X \pm Sx$)		Коэффициент устойчивости (показатель резистентности), крат	
		$СК_{50}$	$СК_{95}$	$ПК_{50}$	$ПК_{95}$
$P = F_0$	0	0,553±0,0975	6,21±1,33	1	1
F_6	5	6,25±0,976	70,1±16,5	11,3	11,3
F_9	7	10,2±1,20	120,5±11,7	18,5	19,4
F_{23}	19	29,7±3,54	533,8±169,4	53,7	86,0
F_{25}	21	41,2±6,84	687,0±228,2	74,5	110,6
F_{28}	24	64,1±8,36	997,0±268,1	115,9	160,6
F_{30}	26	95,2±9,96	1516,4±358,1	172,2	244,2
F_{36}	31	142,1±14,2	2300,4±476,7	257,0	370,4
F_{41}	36	297,5±33,8	5685,1±1511,3	538,0	915,5
F_{44}	39	531,4±52,4	7814,6±1782,7	960,9	1258,4
F_{51}	46	726,7±75,0	10138,3±2253,8	1314,1	1632,6
F_{59}	50	1017,6±112,4	24684,7±7626,8	1840,2	3974,9
F_{64}	55	1037,5±113,7	24887,3±7606,4	1876,1	4007,6
F_{95}	75	1669,5±205,8	21790,0±6,352,9	3019,0	3508,9

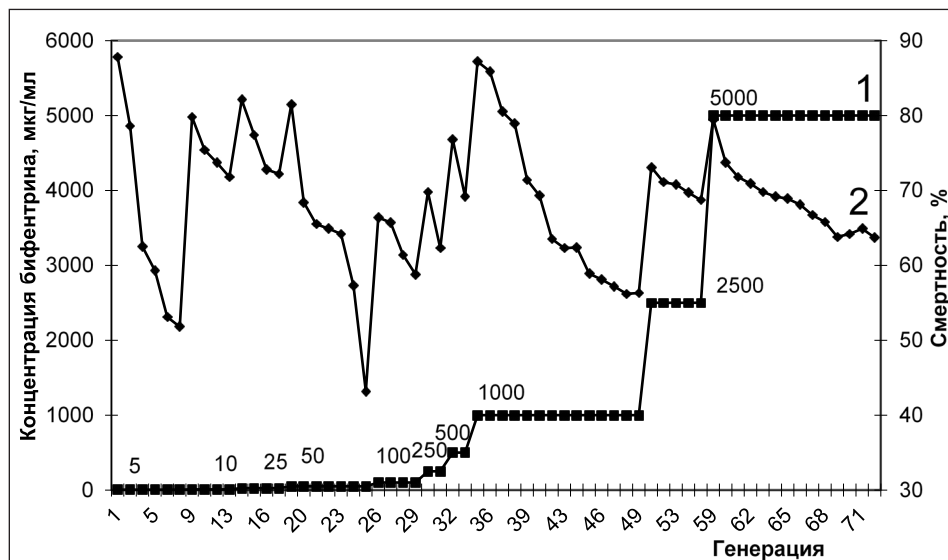


Рисунок. Изменение уровня смертности самок паутинного клеща (*Tetranychus urticae* Koch) при селективирующих обработках бифентрином в возрастающих концентрациях: 1 – концентрация бифентрина, мкг/мл; 2 – смертность самок паутинного клеща, %.

индуцировать резистентность к нему вредителя. При получении резистентной линии (R_{cliper}) в дальнейшем проводили стабилизирующие обработки. Сверхвысокий уровень устойчивости ($ПР_{50} \sim 1000$ -крат) был сформирован в 44 поколении селективируемой линии паутинного клеща примерно после 40 обработок при интервальном увеличении селективирующих концентраций: 100...250...500...1000 мкг д.в./мл.

Согласно схеме пролонгированного исследования при снижении смертности клещей увеличивали концентрации препарата по действующему веществу вначале до 2500, а затем до 5000 мкг д.в./мл. В результате наблюдали возрастание устойчивости с дальнейшей стабилизацией на уровне $ПР_{50}$ 1840,2...1876,1-крат, соответственно в 59...64 поколениях клеща (табл. 1).

Уже в 6-м поколении паутинного клеща начали проявляться изменения в чувствительности, а через 28 поколений формировалась вполне резистентная популяция, сверхрезистентная – через 44 поколений при селективирующих обработках с повышением концентрации.

С практической точки зрения важно отметить, что, с одной стороны, последовательные обработки Клипером остаются некоторое время эффективными, но, с другой стороны, в итоге у клещей неизбежно развивается резистентность. Поэтому при состав-

Таблица 2. Чувствительность к инсектоакарицидам устойчивой к препарату Клипер, КЭ, 100 г/л (бифентрин) линии обыкновенного паутинного клеща *Tetranychus urticae* (R_{cliper})

Препарат (д.в.)	Чувствительная линия S_{vniif}		Линия устойчивая к Клиперу R_{cliper}		Показатель резистентности, крат	
	смертельные концентрации $СК_n$, мкг д.в./мл ($X_{cp} \pm S_x$)					
	$СК_{50}$	$СК_{95}$	$СК_{50}$	$СК_{95}$	$ПР_{50}$	$ПР_{95}$
Новактион ВЭ, 440 г/л (малатион)	5,78±0,553	294,5±65,3	223,7±33,3	3536,6±1203,3	38,7	12,0
Вертимек КЭ, 18 г/л (абамектин)	0,00451±0,000512	0,0365±0,00613	5,91±0,703	77,2±18,7	1310,4	2115,1
Смертность самок, %					R_{cliper}/S_{vniif}	
Битоксибациллин, П (БА-1500 ЕА/мг), 1 %-ный р-р	69,5±3,9		52,8±6,9		0,76	

лении конкретных антирезистентных схем борьбы с фитофагами необходимо учитывать тот факт, что уже в 33 поколении 100-кратный уровень резистентности клещей необходимо считать сигналом для принятия мер по своевременной замене (исключению из оборота) теряющего эффективность препарат Клипер.

Таким образом, показано, что в лабораторных условиях формирование устойчивой к бифентрину линии обыкновенного паутинного клеща проходит с умеренной скоростью. В наших опытах потребовалось 50 селекционирующих обработок на протяжении 59 поколений фитофага, чтобы достичь высокого показателя устойчивости (PR_{50} 1840-крат). Другими авторами также показано, что при обработке исходно чувствительной популяции обыкновенного паутинного клеща диагностической концентрацией бифентрина в течение 70 поколений достигался уровень PR_{50} 2600-крат [14, 15].

У пестицидов разного химического класса скорость формирования резистентных рас паутинного клеща может существенно отличаться. При селекционирующих обработках фосфорорганическими и серосодержащими препаратами резистентность возникает относительно быстро, в среднем за 17...25 поколений. Микробиологический препарат Битоксибациллин теряет эффективность при селекционирующих обработках к 25 поколения паутинного клеща. Устойчивость к препарату Флорамайт (д.в. бифеназат) формируется значительно медленнее. Лишь после 51 обработки у 113 поколения паутинного клеща степень резистентности достигала чрезвычайно высокого значения – PR_{50} 5125 [22].

Таблица 3. Скорость реверсии чувствительности к бифентрину у самок паутинного клеща *Tetranychus urticae* после селекционирующих обработок препаратом Клипер, КЭ (100 г/л)

Поколение, F _n	Обработка, т	Смертельные концентрации бифентрина, мкг д.в./мл (X±Sx)		Коэффициент устойчивости (показатель резистентности), крат	
		СК ₅₀	СК ₉₅	ПК ₅₀	ПК ₉₅
Исходная чувствительная линия клеща S _{vniif}					
P = F ₀	0	0,553±0,0975	6,21±1,33	1	1
Отселектированная устойчивая линия клеща R _{cliper}					
F ₆₄	55	1037,5±113,7	24887,3±7606,4	1876,1	4007,6
Реверсирующая сублиния клеща					
F ₆₉	-	1004,9±127,4	19229,6±5779,9	1817,2	3096,6
F ₇₃	-	751,2±92,8	21916,3±7039,3	1358,4	3529,2
F ₇₆	-	625,4±83,3	16944,6±5662,6	1130,9	2728,6
F ₈₁	-	346,6±79,9	5460,2±2312,5	626,8	879,3
F ₈₄	-	322,0±33,3	12691,3±3644,3	582,3	2043,7
F ₈₇	-	126,3±13,8	2446,0±455,9	228,4	393,9
F ₉₂	-	99,8±14,0	804,3±187,4	180,5	129,5
F ₉₈	-	68,1±10,2	662,3±124,6	123,2	106,7
F ₁₀₁	-	32,1±3,93	475,4±85,7	58,1	76,6
F ₁₀₆	-	18,4±3,66	224,6±39,4	33,3	36,2
F ₁₀₉	-	17,8±1,50	231,2±30,9	32,2	37,2

Очевидно, что при рекомендованных нормах расхода инсектоакарицидного препарата Клипер, КЭ (100 г/л) в зависимости от вида вредителя (0,4...2,4 кг/га) и 1-кратной обработке в период вегетации в условиях тепличного овощеводства популяции паутинных клещей будут продолжительное время сохранять чувствительность к бифентрину.

В процессе формирования устойчивости вредных членистоногих к одному пестициду возможно проявление так называемой перекрестной резистентности к препаратам из других классов, в случае если имеются схожие подобные механизмы токсического воздействия или подобные механизмы детоксикации.

В нашем исследовании перекрестная резистентность не проявилась по отношению к Битоксибациллину. Для устойчивой линии клеща (R_{cliper}), по сравнению с чувствительной популяцией (S_{vniif}), токсичным оставался Битоксибациллин – относительный показатель смертности составлял 0,76 (табл. 2). Основное летальное действие этого микробиологического препарата на паутинных клещей оказывал β -экзотоксин [23].

Иногда наблюдают множественную резистентность к препаратам из иных химических классов, которая нередко формируется к тем препаратам, действию которых целевые популяции фитофагов ранее не подвергались [18]. Очевидно, что под давлением химического пресса вредители-фитофаги формируют устойчивые популяции к применяемым классам пестицидов, но в силу особенностей гомозиготного развития самцов паутинного клеща по потенциалу детоксикации одновременно возможны проявления устойчивости к иным классам пестицидов.

Для линии паутинного клеща, резистентной к пиретроиду Клипер, фосфорорганический препарат Новактон проявил умеренную токсичность с PR_{50} 38,7-крат (см. табл. 2).

Схожие результаты отмечены в исследованиях ленинградских авторов. В экспериментах с линией паутинного клеща после 70 поколений отбора бифентрином до PR_{50} 2600-крат перекрестная резистентность проявилась к фосфорорганическим инсектоакарицидам на основе малатиона (PR_{50} 50-крат). Перекрестная резистентность с несколько меньшей силой проявлялась к диметоату (PR_{50} 25-крат) [14, 15].

Для линии обыкновенного паутинного клеща, устойчивой к бифентрину (R_{cliper}), показана возможность проявлений кросс-резистентности к авермектиновому препарату Вертимек, КЭ (д.в. абамектин 18 г/л). Уровень устойчивости к абамектину достигал сверхвысокого показателя – PR_{50} 1310,4-крат (см. табл. 2).

В работах других авторов в селекционной линии бифентрином была отмечена слабая перекрестная устойчивость к абамектину (PR_{50} = 10-крат) [16]. Возможно, это связано с различием в детоксикации авермектинов, в частности с активным участием цитохрома P450.

Таким образом, устойчивая к бифентрину линия паутинного клеща (R_{cliper}) может проявлять перекрестную резистентность к неродственным между собой инсектоакарицидам.

В наших исследованиях были определены сроки реверсии чувствительности обыкновенного паутинного клеща к пиретроиду Клипер. Из отобранной лабораторной линии клеща (R_{cliper} с PR_{50} 1876,1-крат) была выделена сублиния и оставлена без обработок при массовом размножении. Систематически проводили оценку изменения уровня чувствительности клещей. В процессе чередующихся жизненных циклов наблюдали достаточно плавный возврат показателей резистентности по PR_{50} самок паутинного клеща к почти

исходному уровню. В течение развития 42-х поколений этот параметр снизился в 56,4 раза – с 1817,2-крат до 32,2-крат (табл. 3).

На практике, при потере эффективности Клипера, возврат к его применению возможен как минимум через 1,5 года. В течение этого времени восстанавливается относительная чувствительная популяция.

Выводы. Экспериментально установлена умеренная скорость формирования резистентной популяции обыкновенного паутинного клеща *T. urticae* к пиретроидному инсектоакарициду Клипер, КЭ (10 г/л бифентрина). При постоянных селектирующих обработках уже к 59 поколению была получена высокорезистентная линия с PR_{50} 1840,2-крат. Очевидно, что в практических условиях при потере эффективности Клипера, возврат к его применению возможен как минимум через 1,5 года. Это определяет установленный срок реверсии резистентности паутинного клеща *T. urticae* устойчивой к Клиперу, который также относительно непродолжителен. В течение развития 42-х поколений, оставленная без обработок устойчивая линия способна восстанавливать некоторый уровень чувствительности к пиретроидному препарату до PR_{50} 32,2-крат.

Таким образом, устойчивость обыкновенного паутинного клеща к Клиперу (бифентрину) можно отнести к резистентности нестабильного типа с быстрой реверсией. Устойчивая к бифентрину популяция обыкновенного паутинного клеща, проявляет перекрестную резистентность к инсектоакарицидам классов органофосфатов (малатион) и макроциклических лактонов (абамектин). В системе защиты растений при чередовании пестицидов следует рекомендовать использование Битоксибациллина, П, для которого не выявлена перекрестная резистентность с пиретроидом.

Благодарности. Выражаем особую благодарность сотрудникам лаборатории Н.Н. Салобукиной, Т.Н. Горбань, Т.А. Берещук, Т.Д. Лебедевой.

Литература.

1. A review of crop protection methods against the twospotted spider mite – *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) – with special reference to alternative methods / M. Jakubowska, R. Dobosz, D. Zawada, et al. // Agriculture. 2022. Vol. 12. Article 898. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/7/898> (дата обращения: 01.02.2024). doi: 10.3390/agriculture12070898.
2. Performance of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on three hop cultivars (*Humulus lupulus*) / P. J. Savi, R. F. Gon-saga, S. T. S. de Matos, et al. // Exp. Appl. Acarol. 2021. Vol. 84. P. 733–753.
3. Ghongade D. S., Sood A. K. Economic injury level for *Tetranychus urticae* Koch on parthenocarpic cucumber under protected environment in north-western Indian Himalayas // Phytoparasitica. 2021. Vol. 49. No. 5. P. 893–905. doi: 10.1007/s12600-021-00912-0.
4. Resistance to abamectin in field population of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) associated with cut rose from state of Mexico, Mexico / K. V. Diaz-Arias, J. C. Rodriguez-Maciell, A. Lagunes-Tejeda, et al. // Florida Entomologist. 2019. Vol. 102. No. 2. P. 428–430.
5. Martin D. E., Latheef M. A., Lopez J. D. Evaluation of selected acaricides against twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on greenhouse cotton using multispectral data // Exp. Appl. Acarol. 2015. Vol. 66. P. 227–245.
6. Yoshimura S., Mukawa S. J. Characteristics biological activities of the novel acaricide flupentiofenox against phytophagous mites // Pestic Sci. 2023. Vol. 48. No. 4. P. 211–217. doi: 10.1584/pestics.D23-033.
7. Stage-specific expression of resistance to different acaricides in four field populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) / X. Tang, Y. Zhang, Q. Wu, et al. // J. Econ. Entomol. 2014. Vol. 107. No. 5. P. 1900–1907. doi: 10.1603/EC14064.
8. Geographical distribution and molecular insights into abamectin and milbemectin cross-resistance in European field populations of *Tetranychus urticae* / W. Xue, S. Snoeck, C. Njiru, et al. // Pest. Manag. Sci. 2020. Vol. 76. No. 8. P. 2569–2581. doi: 10.1002/ps.5831.
9. Яковлева И. Н., Мешков Ю. И. Исторические аспекты резистентности *Tetranychus urticae* Koch (Acariformes: Tetranychidae) к инсектоакарицидам // Агрохимия. 2016. № 3. С. 81–90.
10. Глинушкин А. П., Яковлева И. Н., Мешков Ю. И. Влияние пестицидов, применяемых в защищенном грунте, на хищного клеща *Neoseiulus californicus* (Parasitiformes, Phytoseiidae) // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 3. С. 32–34. doi: 10.31857/S2500-26272019332-34.
11. IRAC mode of action classification scheme. URL: <https://irac-online.org/mode-of-action/> (дата обращения: 15.12.2023).
12. Herron G. A., Rophail J., Wilson L. J. The development of bifenthrin resistance in two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) from Australian cotton // Experimental & Applied Acarology. 2001. Vol. 25. No. 4. P. 301–310. doi: 10.1023/a:1017967118609.
13. Ay R., Gurkan M. O. Resistance to bifenthrin and resistance mechanisms of different strains of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) from Turkey // Phytoparasitica. 2005. Vol. 33. No. 3. P. 237–244. doi: 10.1007/BF02979860.
14. Сундуков О. В., Тулаева И. А., Зубанов Е. А. Наследование признаков резистентности к акарицидам в инбредных линиях обыкновенного паутинного клеща // Экологическая генетика. 2014. Т. 12. № 3. С. 43–51. doi: 10.17816/eco-gen12343-51.

15. Van Leeuwen T., Tirry L. Esterase-mediated bifenthrin resistance in a multiresistant strain of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* // *Pest Management Science*. 2007. Vol. 63. No. 2. P. 150–156. doi: 10.1002/ps.1314.
16. Сундуков О. В., Тулаева И. А. Взаимодействие генов резистентности к акарицидам различных химических классов в дочернем поколении дигетерозиготных самок обыкновенного паутиного клеща // *Экологическая генетика*. 2019. Т. 17. № 2. С. 63–68. doi: 10.17816/ecogen17263-68.
17. Сундуков О. В., Тулаева И. А., Зубанов Е. А. Физиологический механизм эпистатического взаимодействия генов резистентности к инсектоакарицидам различных химических классов у межлинейных гибридов обыкновенного паутиного клеща // *Экологическая генетика*. 2017. Т. 15. № 2. С. 44–49. doi: 10.17816/ecogen15244-49.
18. Бурбенцов С. А., Попов С. Я. Резистентность паутиных клещей рода *Tetranychus* к акарициду флумаит // *Достижения науки и техники АПК*. 2007. № 1. С. 21–23.
19. Сравнительная чувствительность популяций обыкновенного паутиного клеща *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) к акарицидам при разной интенсивности их использования / М. К. Баринов, С. В. Прах, Е. Б. Белых и др. // *Вестник защиты растений*. 2009. № 2. С. 44–48.
20. Сухорученко Г. И. Резистентность вредных организмов к пестицидам в России // *Защита и карантин растений*. 2020. № 1. С. 14–18.
21. Методы оценки токсичности пестицидов для членистоногих, применяемых в борьбе с вредителями культур защищенного грунта / Г. И. Сухорученко, Н. А. Белякова, Г. П. Иванова и др. // *Энтомологическое обозрение*. 2018. Т. 97. № 4. С. 649–657. doi: 10.1134/S0367144518040056.
22. Особенности формирования резистентности у обыкновенного паутиного клеща *Tetranychus urticae* Koch к акарициду флорамайт (бифеназат) / И. Н. Яковлева, Ю. И. Мешков, Н. Н. Салобукина и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 5. С. 1045–1053. doi: 10.15389/agrobiology.2018.5.1045.
23. Krieg A. Effectiveness of *Bacillus thuringiensis* exotoxin on *Tetranychus telarius* (Acarina: Tetranychidae) // *J. Invert. Pathol.* 1968. No. 12. P. 478.

References

1. Jakubowska M, Dobosz R, Zawada D, et al. A review of crop protection methods against the twospotted spider mite – *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) – with special reference to alternative methods. *Agriculture [Internet]*. 2022 [cited 2024. Vol. 12. Article 898. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/7/898> (data obrashcheniya: 1.02.2024). doi: 10.3390/agriculture12070898.
2. Savi PJ, Gonsaga RF, de Matos STS, et al. Performance of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on three hop cultivars (*Humulus lupulus*). *Exp. Appl. Acarol.* 2021;84:733-53.
3. Ghongade DS, Sood AK. Economic injury level for *Tetranychus urticae* Koch on parthenocarpic cucumber under protected environment in north-western Indian Himalayas. *Phytoparasitica*. 2021;49(5):893-905. doi: 10.1007/s12600-021-00912-0.
4. Diaz-Arias KV, Rodriguez-Maciel JC, Lagunes-Tejeda A, et al. Resistance to abamectin in field population of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) associated with cut rose from state of Mexico, Mexico. *Florida Entomologist*. 2019;102(2):428-30.
5. Martin DE, Latheef MA, Lopez JD. Evaluation of selected acaricides against twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on greenhouse cotton using multispectral data. *Exp. Appl. Acarol.* 2015;66:227-45.
6. Yoshimura S, Mukawa SJ. Characteristics biological activities of the novel acaricide flupentiofenox against phytophagous mites. *Pestic Sci.* 2023;48(4):211-7. doi: 10.1584/jpestics.D23-033.
7. Tang X, Zhang Y, Wu Q, et al. Stage-specific expression of resistance to different acaricides in four field populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *J. Econ. Entomol.* 2014;107(5):1900-7. doi: 10.1603/EC14064.
8. Xue W, Snoeck S, Njiru C, et al. Geographical distribution and molecular insights into abamectin and milbemectin cross-resistance in European field populations of *Tetranychus urticae*. *Pest. Manag. Sci.* 2020;76(8):2569-81. doi: 10.1002/ps.5831.
9. Yakovleva IN, Meshkov Yul. [Historical aspects of resistance of *Tetranychus urticae* Koch (Acariformes: Tetranychidae) to insectoacaricides]. *Agrokhimiya*. 2016;(3):81-90. Russian.
10. Glinushkin AP, Yakovleva IN, Meshkov Yul. [Effect of pesticides used in protected soil on the predatory mite *Neoseiulus californicus* (Parasitiformes, Phytoseiidae)]. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*. 2019;(3):32-4. Russian. doi: 10.31857/S2500-26272019332-34.
11. IRAC [Internet]. [place unknown]: IRAC International; 2024. IRAC mode of action classification scheme; [cited 2023 Dec 15]. Available from: <https://irac-online.org/mode-of-action/>.
12. Herron GA, Rophail J, Wilson LJ. The development of bifenthrin resistance in two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) from Australian cotton. *Experimental & Applied Acarology*. 2001;25(4):301-10. doi: 10.1023/a:1017967118609.
13. Ay R, Gurkan MO. Resistance to bifenthrin and resistance mechanisms of different strains of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) from Turkey. *Phytoparasitica*. 2005;33(3):237-44. doi: 10.1007/BF02979860.
14. Sundukov OV, Tulaeva IA, Zubanov EA. [Inheritance of traits of resistance to acaricides in inbred lines of the common spider mite]. *Ekologicheskaya genetika*. 2014;12(3):43-51. Russian. doi: 10.17816/ecogen12343-51.
15. Van Leeuwen T, Tirry L. Esterase-mediated bifenthrin resistance in a multiresistant strain of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Pest Management Science*. 2007;63(2):150-6. doi: 10.1002/ps.1314.
16. Sundukov OV, Tulaeva IA. [Interaction of resistance genes to acaricides of various chemical classes in the daughter generation of diheterozygous females of the common spider mite]. *Ekologicheskaya genetika*. 2019;17(2):63-8. Russian. doi: 10.17816/ecogen17263-68.
17. Sundukov OV, Tulaeva IA, Zubanov EA. [Physiological mechanism of epistatic interaction of resistance genes to insectoacaricides of various chemical classes in interlinear hybrids of the common spider mite]. *Ekologicheskaya genetika*. 2017;15(2):44-9. Russian. doi: 10.17816/ecogen15244-49.
18. Burbentsov SA, Popov SYa. [Resistance of spider mites of *Tetranychus* genus to Flumite acaricide]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2007;(1):21-3. Russian.
19. Barinov MK, Prakh SV, Belykh EB, et al. [Comparative sensitivity of populations of the common spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) to acaricides at different intensities of their use]. *Vestnik zashchity rastenii*. 2009;(2):44-8. Russian.
20. Sukhoruchenko GI. [Resistance of pests to pesticides in Russia]. *Zashchita i karantin rastenii*. 2020;(1):14-8. Russian.
21. Sukhoruchenko GI, Belyakova NA, Ivanova GP, et al. [Methods for assessing the toxicity of pesticides for arthropods used in pest control of protected soil crops]. *Entomologicheskoe obozrenie*. 2018;97(4):649-57. Russian. doi: 10.1134/S0367144518040056.
22. Yakovleva IN, Meshkov Yul, Salobukina NN, et al. [Features of the development of resistance in the common spider mite *Tetranychus urticae* Koch to the Floramite acaricide (biphenazate)]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2018;53(5):1045-53. Russian. doi: 10.15389/agrobiology.2018.5.1045.
23. Krieg A. Effectiveness of *Bacillus thuringiensis* exotoxin on *Tetranychus telarius* (Acarina: Tetranychidae). *J. Invert. Pathol.* 1968;(12):478.