

魏引弟,梁虎军,张笑丽,等. 氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜的亚致死效应比较[J]. 江苏农业科学,2023,51(13):127-132.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.13.019

氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜的亚致死效应比较

魏引弟¹, 梁虎军², 张笑丽¹, 蒋攀¹, 韩英¹, 苏悦¹, 韩旭¹, 姚永生¹

(1. 塔里木大学农学院/南疆农业有害生物综合治理兵团重点实验室, 新疆阿拉尔 843300;

2. 新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所, 新疆阿拉尔 843300)

摘要:采用生命表分析法对比氟啶虫胺胍亚致死浓度对棉蚜和棉长管蚜种群生命表参数的影响。结果表明,氟啶虫胺胍 LC₂₀ (1.02 μg/mL) 处理棉蚜后 G₀ 代种群表现出种群净增值率(R₀)降低,平均世代历期(T)缩短和种群加倍时间(DT)延长,但与对照均无显著差异;G₁ 代种群的 R₀ 和 r_m 较对照分别降低 1.94 和 0.01。而氟啶虫胺胍 LC₂₀ (0.13 mg/L) 处理棉长管蚜后, G₀ 代种群的 R₀、r_m 和 λ 较对照分别降低 3.44、0.07、0.14, 而平均世代历期显著延长 0.3 d。且氟啶虫胺胍可显著增加棉长管蚜 G₁ 代种群的适合度代价,其成虫产仔前期(APOP)和总产仔前期(TPOP)明显延长, R₀、r_m 和 λ 较对照分别降低 8.77、0.10、0.13, 平均世代时间(T)和种群加倍时间(DT)提高 3.84、0.76 d。氟啶虫胺胍亚致死剂量 LC₂₀ 对棉长管蚜种群的抑制作用较棉蚜更为明显。

关键词:棉蚜;棉长管蚜;氟啶虫胺胍;亚致死效应;生命参数

中图分类号:S435.622⁺.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)13-0127-06

新疆维吾尔自治区属典型的绿洲生态灌溉农业,光热资源丰富,十分有利于棉花种植。目前新疆棉花种植面积为 250.6 万 hm²,总产量为 512.9 万 t,分别占全国的 82.7% 和 89.5%^[1],新疆在全国棉花产业中的地位与重要性不断提升。然而,近年来随着棉花多年规模化种植和化学农药的大量使用等人为干扰严重,致使新疆棉田棉蚜(*Aphis gossypii*)持续重发^[2-3],已成为新疆棉花产业可持

续发展的制约因素。棉蚜世代历期短且重叠严重,繁殖力强,易短时暴发^[4],杀虫剂可快速高效杀死害虫,压低虫口数量^[5],目前生产上对棉蚜的主流防控仍然以化学防治为主^[6]。而在棉蚜化学防治中,长期存在杀虫剂连续多次使用、随意增加用药量和施药次数等不合理现象,致使棉蚜抗药性上升,监测发现新疆各植棉区棉蚜已普遍对有机磷、拟除虫菊酯以及新烟碱类等传统常用杀虫剂产生明显抗性^[6-10],而过度的依赖农药极易导致害虫再猖獗,生态系统的调节能力失衡^[11]。

杀虫剂在环境中的毒力随着施用后时间的延长逐渐递减到亚致死剂量,仍可对昆虫的生长发育、繁殖、生态行为等产生不同程度的影响,即产生亚致死效应,杀虫剂亚致死剂量也是害虫抗药性形成的重要驱动因素。已有研究表明,一定浓度的吡虫啉、噻虫啉、噻虫胺、噻虫嗪和烯啶虫胺亚致死剂量能够抑制棉蚜的寿命和繁殖力^[12];另有研究表明

收稿日期:2022-09-24

基金项目:棉花生物学国家重点实验室开放课题(编号:CB2021A25);

新疆生产建设兵团第一师阿拉尔市科技计划项目(编号:

2021NY02);研究生及大学生创新项目(编号:TDGRI202112、

202110757021、2022051)。

作者简介:魏引弟(2000—),女,新疆喀什人,硕士研究生,研究方向为作物害虫综合治理。E-mail:2802770619@qq.com。

通信作者:姚永生,博士,教授,主要从事昆虫毒理学研究。E-mail: yyszky@163.com。

Ideotype distance index and multivariate analysis to select sources of anthracnose resistance in *Capsicum* spp. [J]. European Journal of Plant Pathology, 2020, 156(1): 223-236.

[15] Sun C Y, Mao S L, Zhang Z H, et al. Resistances to anthracnose (*Colletotrichum acutatum*) of *Capsicum* mature green and ripe fruit are controlled by a major dominant cluster of QTLs on chromosome P5[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 181: 81-88.

[16] Kethom W, Mongkolporn O. New QTLs for anthracnose resistance identified in *Capsicum baccatum* ‘PBC80’ - derived recombinant inbred lines[J]. Euphytica, 2021, 217(6): 128.

[17] Guo G J, Wang S B, Liu J B, et al. Rapid identification of QTLs underlying resistance to *Cucumber mosaic virus* in pepper (*Capsicum frutescens*) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2017, 130(1): 41-52.

溴氰菊酯 (LC_{30}) 和氟啶虫胺胍 (LC_{20}) 亚致死剂量处理后可刺激棉蚜后续 G_1 和 G_2 代繁殖力增加^[13-14]; 亚致死剂量吡虫啉对桃蚜有刺激生殖作用^[15]。科学评价化学农药的亚致死作用是合理使用农药防控棉蚜的基础。

棉蚜和棉长管蚜 (*Acyrtosiphon gossypii*) 是新疆棉田具有相似生态位的组团物种, 二者种群呈现不同的时序特征。一段时间以来在新疆棉田棉花出苗到现蕾期以棉长管蚜发生为主, 至棉花蕾到花期棉蚜上升为优势种^[16]。棉长管蚜无群集习性, 种群密度低, 而棉蚜危害可导致棉花皱缩畸形、落蕾落铃, 易危害成灾。而近年来棉长管蚜在新疆棉田中的生态位发生了显著变化, 棉田早期的苗蚜也逐渐演变为棉蚜。已有文献报道, 棉长管蚜比棉蚜更容易防治, 田间吡虫啉对棉长管蚜的防效比棉蚜高 43.92%^[17], 室内毒力测定结果显示吡虫啉对棉长管蚜的毒力是棉蚜的 2.61 倍^[18]。而有关棉蚜和棉长管蚜对化学农药的敏感性差异及其机制尚不清楚。本研究选用亚砷亚胺类新型内吸性杀虫剂氟啶虫胺胍, 构建亚致死浓度 (LC_{20}) 处理下的棉蚜和棉长管蚜种群生命表, 对比分析药剂胁迫下棉蚜和棉长管蚜寿命和生殖力等生命参数的变化, 明确亚致死剂量氟啶虫胺胍对 2 种蚜虫的生态学效应, 从而为新疆棉花蚜虫的综合防治以及理解棉花蚜虫的优势演变提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试植物 棉花品种为新陆中 67 号, 挑选籽粒饱满种子, 一部分播种于装有蛭石的育苗盘中至出苗期, 再移栽到一次性塑料盒中水培, 用于试虫扩繁; 一部分播种在混有营养土和蛭石的花盆中直到长出 2 张真叶后, 收集真叶用于毒力测定。

1.1.2 供试虫源及药剂 供试虫源: 棉蚜和棉长管蚜在 2021 年 6 月采集于塔里木大学农学试验站棉花试验田, 在气候室内不接触任何药剂条件下以盆栽棉花 (品种为新陆中 67 号) 为寄主进行饲养, 经 2~4 代扩繁后建立试验种群品系。以下试验均在标准环境温度 (22 ± 1) °C、相对湿度为 60% ± 5%、光周期为光照: 黑暗 = 16 h : 8 h 的南疆农业有害生物综合治理兵团重点实验室的气候箱中进行。供试药剂为 96% 氟啶虫胺胍原药, 由湖北康宝泰精细化工有限公司生产。

1.2 氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜的毒力测定

采用浸叶法测定氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜的毒力^[19]。氟啶虫胺胍加入少量的丙酮直至完全溶解后再用 0.05% TritonX-100 水溶液配制成 6 个药剂浓度梯度, 在药液中浸泡未接触农药的新鲜棉叶 15 s, 自然阴干。熬制 1.8% 琼脂液倒入透明玻璃培养皿 (直径为 90 mm, 高为 20 mm), 待凝固后将棉叶正面贴于琼脂上, 将 30 头个体大小一致的无翅成蚜放于培养皿内, 置于恒温恒湿气候箱中, 条件同“1.1.2 节”试虫饲养。每个浓度梯度设置 3 次重复, 24 h 后记录死亡率。以 0.05% TritonX-100 溶液为对照, 用软毛笔轻轻触动虫体, 足和触角无反应为死亡判定标准。使用 IBM SPSS Statistics 25.0 软件对生物测定结果进行分析, 计算 LC_{20} 和 LC_{50} 的值及 95% 置信区间。

1.3 氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜生命表参数的测定

根据毒力测定结果, 采用氟啶虫胺胍 LC_{20} 作为亚致死浓度处理棉蚜和棉长管蚜。在棉叶上挑取当天所产的新生若蚜 360 头, 连续饲养 6 d 后将其作为试验种群的 G_0 代。将新鲜棉花叶片浸入药剂溶液中 15 s, 在阴凉处风干, 放置相应数量的无翅成蚜, 于 24 h 后将存活个体转移至带有叶片的培养皿中, 单皿单头饲养, 记录每个个体的生命表参数。每 2 d 更换新鲜叶片, 直到供试蚜虫全部死亡。

1.4 数据分析

种群生命参数净增殖率 (R_0)、内禀增长率 (r_m)、周限增长率 (λ) 和平均世代周期 (T) 分别按下面公式计算, 其中内禀增长率用迭代二分法和 Euler-Lotka 方程计算。 $R_0 = \sum L_x m_x$, $T = \ln R_0 / r_m$, $\sum e^{-r_m(x+1)} L_x m_x = 1$, $\lambda = e^{r_m}$ 。其中: x 为时间间隔 (d), l_x 为 x 期间开始时存活率, m_x 为 x 期间每雌产雌量。生命表参数利用 TWOSEX-MSChart 软件^[20]分析, 使用 bootstrap 程序得到试验数据的均值、标准误差, 得到的数据通过 Paired bootstrap test 将生命表参数之间的处理组与对照组进行显著性分析^[21]。使用 Sigmaplot 14.0 软件绘制年龄阶段存活率 (s_{xj})、龄期特异性存活率 (l_x) 等曲线。

2 结果与分析

2.1 氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜的毒力测定

氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜 24 h 后的毒力 (表 1)。氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜的毒力回归

线决定系数(r^2)均大于 0.95,拟合线性回归模型较好。氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜的 LC_{50} 、 LC_{20} 分别为 6.31、1.02 mg/L 和 0.91、0.13 $\mu\text{g/mL}$ 。氟啶虫胺胍对棉长管蚜的 LC_{20} 和 LC_{50} 小于棉蚜,且置信区间不重叠,说明棉长管蚜对氟啶虫胺胍的敏感性明显高于棉蚜。

2.2 氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜处理当代(G_0)的亚致死效应

氟啶虫胺胍对 2 种蚜虫种群参数均有一定的影响。与对照相比,棉长管蚜处理组种群加倍时间(DT)增加 0.08 d、净增殖率(R_0)降低 5.91%、总繁殖率(GRR)降低 6.46%,氟啶虫胺胍 LC_{20} 处理组的内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ)均显著低于对照

组。棉蚜处理组对种群增长参数的影响和对照相比均无明显差异(表 2)。

2.3 氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜处理后第 1 代(G_1)个体生长发育和繁殖的影响

氟啶虫胺胍 LC_{20} 处理后棉蚜和棉长管蚜后续 G_1 代个体生长发育和繁殖情况见表 3。与对照相比,氟啶虫胺胍 LC_{20} 处理后的 G_1 棉长管蚜 1~4 龄若虫期、成虫期、寿命及总产仔前期均明显延长,而繁殖力显著降低。处理后的 G_1 棉蚜,除 4 龄若虫期和成虫期显著降低外,1~3 龄若虫与预成虫发育历期、寿命、成虫产仔前期(APOP)、总产仔前期(TPOP)、寿命和繁殖力均差异不显著。

表 1 氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜的毒力

蚜虫种类	斜率±标准误	LC_{20}	LC_{50}	r^2
		(mg/L,95% 置信限)	(mg/L,95% 置信限)	
棉蚜	1.09±0.14	1.02(0.46~1.68)	6.31(4.55~8.48)	0.97
棉长管蚜	0.98±0.14	0.13(0.04~0.24)	0.91(0.57~1.27)	0.99

表 2 氟啶虫胺胍 LC_{20} 对棉长管蚜和棉蚜 G_0 代种群参数的影响

蚜虫种类	处理	R_0 (%)	r_m (%)	λ (%)	T (d)	GRR (%)	DT (d)
棉蚜	对照	60.53±1.48a	0.34±0.05a	1.40±0.06a	12.24±0.63a	60.98±1.47a	2.07±0.02a
	氟啶虫胺胍	60.23±1.43a	0.34±0.04a	1.39±0.07a	12.20±0.53a	60.78±1.45a	2.08±0.03a
棉长管蚜	对照	58.17±1.42a	0.39±0.02a	1.48±0.06a	11.38±0.52a	60.04±1.70a	1.94±0.02b
	氟啶虫胺胍	54.73±1.80b	0.32±0.03b	1.34±0.04b	11.68±0.63a	56.16±1.04b	2.02±0.02a

注: R_0 表示净增殖率; r_m 表示内禀增长率; λ 表示周限增长率; T 表示平均世代历期; GRR 表示总繁殖率; DT 表示种群加倍时间。表中数据为平均值±标准误,同行内同种蚜虫处理间不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下表同。

表 3 氟啶虫胺胍 LC_{20} 对棉长管蚜和棉蚜 G_1 代生活史参数的影响

蚜虫种类	处理	发育历期(d)				
		1 龄若虫	2 龄若虫	3 龄若虫	4 龄若虫	预成虫
棉蚜	对照	1.60±0.09a	1.57±0.08a	1.63±0.09a	1.67±0.09a	6.47±0.39a
	氟啶虫胺胍	1.63±0.09a	1.63±0.09a	1.70±0.08a	1.57±0.09b	6.53±0.59a
棉长管蚜	对照	1.40±0.08b	1.57±0.09b	1.53±0.09b	1.57±0.08b	6.07±0.45b
	氟啶虫胺胍	2.17±0.12a	2.00±0.12a	2.03±0.13a	1.97±0.14a	8.17±0.43a
蚜虫种类	处理	成虫 (d)	APOP (d)	TPOP (d)	寿命 (d)	繁殖力
棉蚜	对照	17.10±0.11a	0.53±0.11a	7.00±0.46a	23.57±1.12a	60.67±1.69a
	氟啶虫胺胍	16.77±0.11b	0.53±0.09a	6.77±0.31a	23.30±1.14a	62.73±1.79a
棉长管蚜	对照	18.80±1.13b	0.83±0.12a	6.73±0.54b	25.87±1.02b	58.07±0.70a
	氟啶虫胺胍	21.23±1.15a	0.97±0.13a	9.13±0.65a	29.40±1.22a	49.30±0.70b

注:APOP 表示成虫产仔前期;TPOP 表示总产仔前期。

年龄-阶段存活率(s_{xj})曲线如图 1 所示。由图 1 可知,氟啶虫胺胍对 2 种蚜虫 G_1 代若虫及成虫的存活率具有不良的影响。与对照相比,棉蚜处理组 4 龄若虫的存活率降低,对其他不同虫态的存活率无显著影响。在氟啶虫胺胍胁迫下,棉长管蚜 2 龄

若虫和 4 龄若虫的存活率均低于对照,从 0.80 和 0.86 降低到 0.76 和 0.73。在 2 种蚜虫间,棉长管蚜若虫及成虫的发育历期较棉蚜长,受到氟啶虫胺胍的胁迫后,棉长管蚜的发育历期与对照相比延长 5.60 d,而棉蚜的发育历期与对照无显著差异。

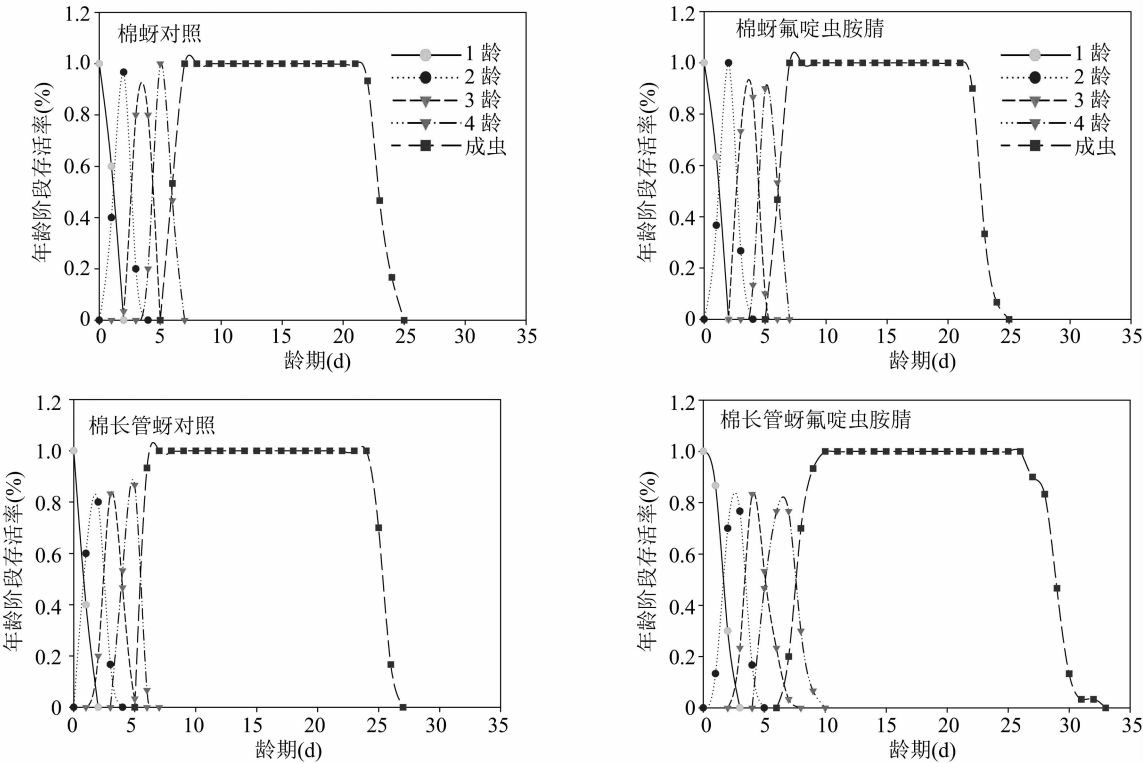


图1 氟啶虫胺胍 LC₂₀ 处理下棉蚜和棉长管蚜的年龄-阶段存活率(s_{xj})

2 种蚜虫的龄期特异性存活率(l_x)曲线在生长后期下降,此时为种群的死亡高发期。与对照相比,氟啶虫胺胍处理组的 l_x 曲线下降较早。氟啶虫胺胍处理后,2 种蚜虫的龄期特异性繁殖力(m_x)曲线

和龄期特异性繁殖值($l_x m_x$)曲线均随着龄期延长先增加后降低。棉长管蚜繁殖力曲线在 18 d 时出现高峰,峰值为 4.23,显著低于对照组。棉蚜繁殖力曲线在 14 d 时出现高峰,峰值则稍低于对照组(图 2)。

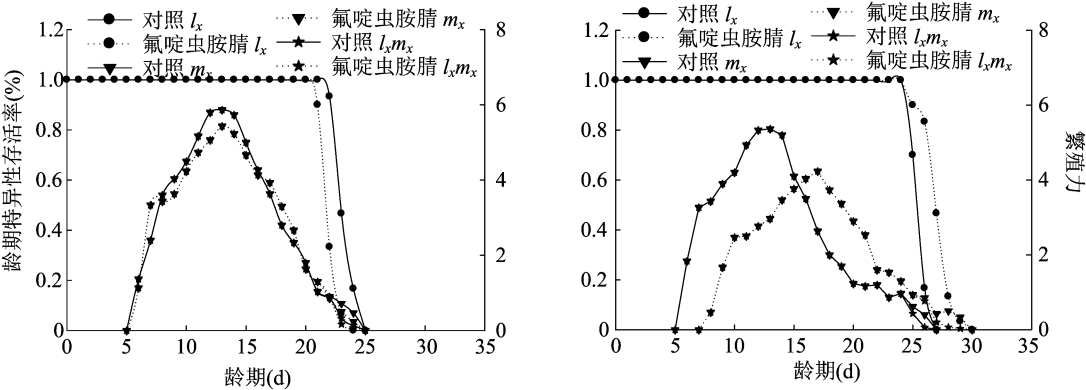


图2 氟啶虫胺胍 LC₂₀ 处理下棉蚜和棉长管蚜的龄期特异性存活率(l_x)、繁殖力(m_x)和龄期特异性繁殖值($l_x m_x$)

氟啶虫胺胍 LC₂₀ 处理对 2 种蚜虫种群增长参数的影响见表 4。由表 4 可知,与对照相比,氟啶虫胺

胍 LC₂₀ 处理后棉长管蚜 G_1 代的种群 R_0 、 r_m 、 λ 和 GRR 均显著降低,而 T 由 11.69 d 增加到 15.53 d,

DT 由 2.00 d 增加到 2.76 d,均呈现增加的趋势;氟啶虫胺胍 LC_{20} 处理后棉蚜 G_1 代种群 R_0 、 r_m 、 λ 和 GRR 等参数与对照差异均不显著。氟啶虫胺胍亚

致死浓度 LC_{20} 对棉长管蚜种群增长参数具有明显的抑制作用,而对棉蚜的抑制作用不明显。

表 4 氟啶虫胺胍 LC_{20} 处理下棉蚜和棉长管蚜 G_1 代的种群参数

蚜虫种类	处理	R_0 (%)	r_m (%)	λ (%)	$T(d)$	GRR (%)	$DT(d)$
棉蚜	对照	60.67 ± 1.69a	0.34 ± 0.02a	1.40 ± 0.07a	12.11 ± 0.16a	61.77 ± 1.75a	2.05 ± 0.03a
	氟啶虫胺胍	58.73 ± 1.79a	0.33 ± 0.04a	1.40 ± 0.05a	12.13 ± 0.13a	59.97 ± 1.97a	2.07 ± 0.02a
棉长管蚜	对照	58.07 ± 1.70a	0.35 ± 0.03a	1.42 ± 0.06a	11.69 ± 0.13b	58.58 ± 1.71a	2.00 ± 0.03b
	氟啶虫胺胍	49.30 ± 1.70b	0.25 ± 0.01b	1.29 ± 0.04b	15.53 ± 0.16a	50.97 ± 1.69b	2.76 ± 0.03a

3 结论与讨论

氟啶虫胺胍属亚砷亚胺类内吸性杀虫剂,作用于刺吸式口器害虫的乙酰胆碱受体,因其独特的构效关系与新烟碱类其他杀虫剂无交互抗性^[6,22],对蚜虫新烟碱类高抗品系具有良好防效,可有效防控棉花蚜虫^[23]。本研究发现氟啶虫胺胍对棉蚜和棉长管蚜的毒力值(LC_{50})分别为 6.31、0.91 $\mu\text{g/mL}$,棉长管蚜对氟啶虫胺胍的敏感性明显高于棉蚜。而李仁等的研究结果显示,2020 年阿拉尔地区氟啶虫胺胍对棉蚜的毒力为 10.28 $\mu\text{g/mL}$,可能与采集的田间种群有关^[6]。

化学防治手段仍是新疆棉花害虫防控中的一个主要手段^[24],氟啶虫胺胍具有速效性好、持效期长及对天敌安全等特点,被用来防控多种蚜虫类害虫,尤其是已对常用新烟碱类、菊酯类杀虫剂等产生抗性的蚜虫种类^[25-26]。结果表明,50% 氟啶虫胺胍可湿性粉剂 25 g/hm^2 剂量下,药后 7 d 对棉蚜防效可达 98%,药后 14 d 防效仍在 80% 以上^[27]。22% 氟啶虫胺胍悬浮剂在室内 0.375、0.250 g/L 剂量下处理棉蚜后 48 h,棉蚜死亡率分别为 100%、93.9%,田间试验也表明氟啶虫胺胍对新疆棉田蚜虫具有较高防效,药后 5 d 最低防效均在 85% 以上^[28]。氟啶虫胺胍对大豆蚜、柑橘矢尖蚧和橘二叉蚜均表现出较高的防控效果^[29-30]。也有文献显示棉蚜对氟啶虫胺胍产生了低至中等水平抗性,抗性倍数为 7.35 ~ 44.63^[6],2021 年新疆棉田棉蚜对氟啶虫胺胍的抗性倍数为 12 ~ 151,达到中等至高水平抗性^[31]。

杀虫剂亚致死浓度会对昆虫生长发育、繁殖、生态行为和抗药性等产生不同程度的影响^[32-33]。Chen 等评估了氟啶虫胺胍 LC_{25} 对棉蚜生命表参数

的影响,结果表明氟啶虫胺胍 LC_{25} 处理对 F_0 代和 F_1 代棉蚜寿命和繁殖力无显著影响,对若虫龄期、成虫产卵前期和 F_1 个体的寿命也无显著影响,成虫前期和总产卵前期以及平均世代时间显著增加;而 F_1 代个体的存活率、 r_m 、 λ 、 R_0 和 GRR 显著降低^[34]。本研究表明氟啶虫胺胍 LC_{20} 处理棉蚜后对 G_0 代影响不显著,而 G_1 代种群表现出种群 r_m 和 λ 较对照分别降低 1.94 和 0.01。而氟啶虫胺胍 LC_{20} 处理棉长管蚜后, G_0 代种群的 R_0 、 r_m 和 λ 较对照分别降低 3.44、0.07 和 0.14,而平均世代历期显著延长 0.3 d。氟啶虫胺胍可显著增加棉长管蚜 G_1 代种群的适合度代价,其成虫 APOP 和 TPOP 明显延长, R_0 、 r_m 和 λ 较对照分别降低 8.77、0.10、0.13 百分点。可见,氟啶虫胺胍 LC_{20} 对棉长管蚜种群的抑制作用较棉蚜更为明显,与李志雄等的研究结果^[4]一致;但氟啶虫胺胍亚致死剂量处理后对后续世代(G_1)各参数较处理当代(G_0)变化更大,与文献结果有差异,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 国家统计局关于 2021 年棉花产量的公告[N]. 中国信息报,2021-12-15(1).
- [2] 陆宴辉. 与时俱进的中国棉花害虫治理研究[J]. 植物保护学报,2021,48(5):937-939.
- [3] 张强,李贤超,余璐,等. 2020 年新疆兵团棉花主要病虫害发生情况及原因分析[J]. 中国棉花,2020,47(12):38-40.
- [4] 李志雄,魏引弟,苏悦,等. 3 种杀虫剂亚致死剂量对棉蚜和棉长管蚜生长与繁殖的影响[J]. 新疆农业科学,2021,58(10):1851-1859.
- [5] 张懿熙,刘泽文. 杀虫剂的选择性与害虫抗药性[J]. 中国科学基金,2020,34(4):511-518.
- [6] 李仁,梁平卓,程沈航,等. 我国棉蚜对吡虫啉和氟啶虫胺胍抗性水平监测与交互抗性分析[J]. 植物保护学报,2021,48(5):1104-1113.

- [7] 马康生,王静慧,解晓平,等. 棉蚜对新烟碱类杀虫剂的抗性现状及其治理策略[J]. 植物保护学报,2021,48(5):947–957.
- [8] 张学涛,柳建伟,李 芬,等. 北疆地区棉蚜对不同杀虫剂敏感度水平测定[J]. 植物保护,2012,38(2):163–166.
- [9] 崔 丽,张 靖,齐浩亮,等. 我国棉花主产区棉蚜对吡虫啉的抗性监测及抗性机理[J]. 昆虫学报,2016,59(11):1246–1253.
- [10] 帕提玛·乌木尔汗,郭佩佩,马少军,等. 新疆地区棉蚜田间种群对 10 种杀虫剂的抗性[J]. 植物保护,2019,45(6):273–278.
- [11] 吴进才. 农药诱导害虫再猖獗机制[J]. 应用昆虫学报,2011,48(4):799–803.
- [12] Shi X B, Jiang L L, Wang H Y, et al. Toxicities and sublethal effects of seven neonicotinoid insecticides on survival, growth and reproduction of imidacloprid – resistant cotton aphid, *Aphis gossypii* [J]. Pest Management Science, 2011, 67(12):1528–1533.
- [13] Shang J, Yao Y S, Chen L L, et al. Sublethal exposure to deltamethrin stimulates reproduction and alters symbiotic bacteria in *Aphis gossypii* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(50):15097–15107.
- [14] Shang J, Yong Y S, Zhu X Z, et al. Evaluation of sublethal and transgenerational effects of sulfoxaflor on *Aphis gossypii* via life table parameters and 16S rRNA sequencing [J]. Pest Management Science, 2021, 77(7):3406–3418.
- [15] Christopher Cutler G, Ramanaidu K, Astatkie T, et al. Green peach aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae), reproduction during exposure to sublethal concentrations of imidacloprid and azadirachtin [J]. Pest Management Science, 2009, 65(2):205–209.
- [16] 吕昭智,田长彦,宋郁东. 新疆棉区棉蚜和棉长管蚜关系的研究[J]. 中国棉花,2002,29(3):11–12.
- [17] 孟 玲,向龙成,木盖衣,等. 灭蚜菌和天力Ⅱ号对棉田蚜虫的防效试验[J]. 中国生物防治,1997,13(2):90–92.
- [18] 丁建朋,韩 英,韩 旭,等. 棉蚜和棉长管蚜对 3 种杀虫剂的敏感性比较[J]. 植物保护,2020,46(6):270–275.
- [19] Cui L, Qi H L, Yang D B, et al. Cycloxaprid: a novel cis – nitromethylene neonicotinoid insecticide to control imidacloprid – resistant cotton aphid (*Aphis gossypii*) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2016, 132:96–101.
- [20] Chi H, Liu H. Two new methods for the study of insect population ecology[J]. Bull Inst Zool Acad Sin, 1985, 24(2):225–240.
- [21] Johnson R W. An introduction to the bootstrap [J]. Teaching Statistics, 2001, 23(2):49–54.
- [22] Sparks T C, Watson G B, Loso M R, et al. Sulfoxaflor and the sulfoximine insecticides: chemistry, mode of action and basis for efficacy on resistant insects [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2013, 107(1):1–7.
- [23] 王 立,崔 丽,王芹芹,等. 氟啶虫胺胍的杀虫作用机理及亚致死剂量影响昆虫生殖的研究进展[C]//绿色植保与乡村振兴——中国植物保护学会 2018 年学术年会论文集. 西安, 2018:338–346.
- [24] 潘洪生,姜玉英,王佩玲,等. 新疆棉花害虫发生演替与综合治理研究进展[J]. 植物保护,2018,44(5):42–50.
- [25] 张莉娅,阮长春,侯志广,等. 亚致死浓度氟啶虫胺胍对桃蚜体内能量物质的影响[J]. 农药,2021,60(1):28–31,34.
- [26] 王 果,刘德江,卢鑫羽,等. 3 种助剂对 22% 氟啶虫胺胍悬浮剂表面张力及雾化分散的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(14):97–103.
- [27] 赵冰梅,马江锋,何卫疆,等. 50% 氟啶虫胺胍 WG 对棉蚜的田间防治效果[J]. 中国植保导刊,2013,33(6):56–58.
- [28] 李 娜,刘 冰,陆宴辉. 氟啶虫胺胍对新疆棉田棉蚜及其天敌种群的影响[J]. 新疆农业科学,2021,58(11):2062–2068.
- [29] Tran A K, Alves T M, Koch R L. Potential for sulfoxaflor to improve conservation biological control of *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) in soybean [J]. Journal of Economic Entomology, 2016, 109(5):2105–2114.
- [30] 张 伟,苏学元,罗怀海,等. 22% 氟啶虫胺胍 SC 对柑橘矢尖蚧和橘二叉蚜的防治效果[J]. 中国南方果树,2020,49(5):47–49.
- [31] 任宗杰,秦 萌,郭永旺,等. 2021 年全国农业有害生物抗药性监测报告与治理对策(小麦、棉花、蔬菜部分)[J]. 中国植保导刊,2022,42(4):68–73.
- [32] 王泽华,范佳敏,陈金翠,等. 氟啶虫胺胍亚致死浓度对桃蚜生长和繁殖的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(3):496–503.
- [33] 陈吉祥,任相亮,姜伟丽,等. 甲氧虫酰肼与 3 种药剂对甜菜夜蛾的联合毒力及亚致死效应[J]. 中国棉花,2019,46(2):4–8.
- [34] Chen X W, Ma K S, Li F, et al. Sublethal and transgenerational effects of sulfoxaflor on the biological traits of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) [J]. Ecotoxicology, 2016, 25(10):1841–1848.