

韩英,魏引弟,朱悦,等. 噻虫嗪对棉蚜和棉长管蚜实验种群生命表参数的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(2):118-122.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.02.017

噻虫嗪对棉蚜和棉长管蚜实验种群生命表参数的影响

韩英¹, 魏引弟¹, 朱悦¹, 梁虎军², 苏悦¹, 姚永生¹

(1. 塔里木大学农学院/新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:为明确噻虫嗪种衣剂对棉蚜(*Aphis gossypii*)和棉长管蚜(*Acyrtosiphon gossypii*)生长发育及繁殖的影响及其差异,本研究采用生命表方法分析噻虫嗪2.0、4.0、6.0 g/kg不同浓度种子处理对棉蚜和棉长管蚜实验种群生命参数的影响。结果表明,棉蚜若蚜发育历期随噻虫嗪浓度的增加而延长,6.0 g/kg处理显著长于对照。4.0、6.0 g/kg处理若蚜存活率较对照显著降低,棉蚜分别下降17.85%、34.57%;而棉长管蚜分别下降35.07%、59.13%。随噻虫嗪处理剂量增加,棉蚜和棉长管蚜寿命和产蚜量均下降,噻虫嗪2.0 g/kg处理棉蚜产蚜量高于对照,而棉长管蚜显著低于对照;6.0 g/kg处理下棉长管蚜和棉蚜的产蚜量分别较对照组降低47.78%和25.28%。不同处理间棉蚜达到繁殖高峰期时间基本一致,而棉长管蚜较对照延后1~2 d。2.0 g/kg噻虫嗪处理下棉蚜内禀增长率显著高于对照,4.0、6.0 g/kg噻虫嗪处理下内禀增长率与对照差异不显著。随噻虫嗪包衣剂量增加,棉长管蚜平均世代周期延长,6.0 g/kg噻虫嗪处理下平均世代周期显著长于对照;4.0、6.0 g/kg噻虫嗪剂量处理下,其净增殖率、内禀增长率、周限增长率分别较对照下降49.78%和68.74%、29.63%和48.15%、7.63%和12.21%,对棉长管蚜有显著抑制作用。

关键词:棉蚜;棉长管蚜;噻虫嗪;种衣剂;生命表参数

中图分类号:S435.622+.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)02-0118-05

新疆属典型的绿洲生态灌溉农业,十分有利于棉花种植。然而由于气候干旱,生物多样性低,尤其是农药的不合理使用,致使棉蚜(*Aphis gossypii* Glover)危害严重。棉蚜是一种分布广泛的世界性害虫^[1],不仅吸食棉花中的营养物质,可导致棉花落蕾落铃,而且为害过程中产生的蜜露,诱导植物病害,蚜虫还可传播植物病毒^[2],是新疆植棉区的三大害虫之一^[3-4]。新疆绿洲农业区在沙漠、戈壁包围之中呈斑块分割状态,有着不同于我国腹地的农业生态系统,因此棉花有害生物发生消长规律有一定独特性^[5]。棉蚜和棉长管蚜(*Acyrtosiphon gossypii* Mordvilko)是新疆棉花上的共存物种,棉长管蚜无群集习性,种群密度低^[6-7],而棉蚜增殖迅速等特性,易暴发成灾。长时间以来2种蚜虫在新疆

棉田同期发生,呈此消彼长、阶段性优势明显差异特征。蕾期前棉长管蚜为优势种群,至棉花中后期棉蚜上升为优势种群。棉田早期的棉长管蚜可滋生和繁育大量自然天敌,对中后期棉蚜的自然调控有重要价值^[8]。近年来调查结果显示,新疆南部植棉区棉长管蚜在棉田早期种群下降,棉蚜在早期转变为优势种群^[4,9]。由于棉蚜世代历期短且重叠严重、繁殖力强,生产中主要使用农药进行防控,盲目用药、频繁与超量使用单一农药现象增加,致使棉蚜再猖獗,抗药性发展迅速^[10-12]。

噻虫嗪是一种新烟碱类杀虫剂,具有高效的触杀、内吸和胃毒功能,与环境相容性很强,广泛用于防治多种农作物的刺吸式口器害虫^[13-15],不仅用于茎叶喷雾处理,而且可用于种子处理。种子处理作为精准农业中局部施用农药的一种方法,可减少单位面积农药用量,被认为是保护种子和幼苗在发育早期不受害虫侵害的最安全、最经济、最生态方法,因此噻虫嗪也常以种子处理的施药方式来防治地上部害虫。种子包衣剂在棉花、小麦和大豆等生产中对棉蚜^[16]、麦蚜^[17]、大豆蚜^[18]、烟蚜^[19]等具有良好的防治效果。低剂量噻虫嗪对新疆棉田棉蚜和棉长管蚜的亚致死效应等尚不明确。因此,本研究

收稿日期:2023-02-20

基金项目:国家重点研发计划(编号:2022YFD1400300);第一师阿拉尔市科技计划项目(编号:2021NY02);研究生科研创新项目(编号:TDGRI202112)。

作者简介:韩英(1997—),女,新疆阿拉尔人,硕士研究生,研究方向为作物害虫综合治理。E-mail:1575377398@qq.com。

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

以噻虫嗪种衣剂处理棉苗供 2 种蚜虫取食,利用生命表探究噻虫嗪种衣剂处理对棉蚜和棉长管蚜生长发育和繁殖能力的影响,探索噻虫嗪胁迫对棉蚜和棉长管蚜的影响,可为新疆植棉区棉蚜灾变机制提供新的认识。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2022 年 4 月在新疆阿拉尔市塔里木大学东门农学试验地开展:在温度为(22 ± 1) °C、相对湿度为(60 ± 5)%、光—暗周期为 14 h—10 h 的人工气候箱内不接触任何药剂条件下以盆栽棉花(品种为新陆中 68 号)为寄主进行饲养,经 2~4 代扩繁后建立实验种群品系。供试药剂:70% 噻虫嗪种子处理可分散粉剂(瑞士先正达作物保护有限公司生产)。

供试昆虫:供试棉蚜和棉长管蚜采集于农一师农业科学研究所试验田(81°27'E,40°45'N),在不接触任何农药的情况下于室内人工智能气候箱内用盆栽棉苗饲养 3 代以上,作为供试虫源。

1.2 方法

1.2.1 噻虫嗪包衣处理对棉蚜和棉长管蚜生长和繁殖的影响测定 将脱绒后的棉种(新陆中 68 号)分别使用 2.0、4.0、6.0 g/kg 噻虫嗪种衣剂进行均匀包衣处理,置于阴凉通风处待自然阴干后密封封装储藏,贴好标签备用,以不拌药种子作为空白对照,共计 4 个处理。每盆播种 2 粒经噻虫嗪包衣处理的棉花种子,待出苗后定苗为 1 株/盆,待棉花长出第 3 张真叶时(出苗后约 30 d),每处理挑选长势一致的 30 株健康棉株备用。为确保供试蚜虫在接触噻虫嗪不同剂量处理时具有相同的年龄和生长阶段,从供试虫源中随机选取大小均匀一致约 300 头无翅成蚜接种到棉株叶片上,24 h 后定殖为 1 头/株,重复 3 次,随后使用自制纱笼(30 cm × 30 cm × 50 cm,200 目纱网)笼罩,防止蚜虫逃逸。置于气候箱内,条件同“1.1”节,每天计数并移除新生若蚜直至成蚜全部死亡。

1.2.2 噻虫嗪包衣处理对棉蚜和棉长管蚜生命表参数的计算 由“1.2.1”节中可得出不同噻虫嗪浓度处理下棉蚜和棉长管蚜若虫及成虫的发育历期、存活率及成蚜每日产蚜量等结果。以 $d(x)$ 为单位间隔,分别构建取食不同剂量噻虫嗪种衣剂种子处理的棉花时棉蚜和棉长管蚜实验种群生命表。采

用 TWosex - Mchart 程序分析生命表参数^[20]。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 T 分别按照下面公式计算,其中内禀增长率用迭代二分法和 Euler - Lotka 方程计算。 $R_0 = \sum l_x m_x$, $T = \ln R_0 / r_m$, $\sum e^{-r_m(x+1)r_m} l_x m_x = 1$, $\lambda = e^{r_m}$ 。上述公式中, 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。

1.3 数据分析

应用 SPSS 25.0 对若蚜发育历期、存活率、成蚜寿命和产蚜量进行单因素方差分析;生命表分析通过 10 万次随机重抽样 bootstrap 程序获得生命表参数的均值和标准误差,应用 Duncan's 法比较不同处理间的差异显著性。利用 Sigmaplot 14.0 软件绘制 2 种蚜虫的存活率和繁殖力曲线。

2 结果与分析

2.1 噻虫嗪种衣剂对棉蚜和棉长管蚜若蚜发育历期及存活率的影响

棉蚜和棉长管蚜若蚜发育历期均随噻虫嗪浓度的增加而延长,在 6.0 g/kg 处理下,若蚜发育历期与对照相比显著延长。2.0、4.0、6.0 g/kg 处理下,棉蚜若蚜存活率分别下降 5.41%、17.85%、34.57%,随着剂量增加棉蚜若蚜的存活率呈下降趋势,其中 4.0、6.0 g/kg 处理下存活率均显著低于对照组。棉长管蚜 4.0、6.0 g/kg 处理组发育历期与对照组差异显著,2.0、4.0、6.0 g/kg 处理下,若蚜存活率分别下降 22.24%、35.07%、59.13%,且各处理间差异显著(表 1)。6.0 g/kg 剂量处理下,棉蚜较棉长管蚜若蚜存活率高 22.77 个百分点。噻虫嗪 6.0 g/kg 剂量处理下棉蚜存活率从处理后 4 d 逐渐下降(图 1 - A),而棉长管蚜 2 d 后开始逐步下降,且随剂量增加,下降趋势越明显(图 1 - B)。

2.2 噻虫嗪种衣剂对棉蚜和棉长管蚜成蚜寿命和产蚜量的影响

随着剂量的增加,棉蚜和棉长管蚜寿命和产蚜量均下降。棉蚜 2.0 g/kg 处理的产蚜量显著高于对照,4.0 g/kg 处理的平均寿命缩短,与对照相比无显著差异,6.0 g/kg 处理的寿命与对照相比显著缩短,产蚜量与对照组相比显著下降。棉长管蚜 2.0 g/kg 处理的平均寿命与对照相比无显著差异,产蚜量与对照相比显著降低,4.0 g/kg 处理的平均寿命缩短,与对照相比无显著差异,产蚜量与对照相比显著减少,6.0 g/kg 处理的平均寿命和产蚜量

表1 噻虫嗪种子包衣对若蚜发育历期及存活率的影响

噻虫嗪剂量 (g/kg)	若蚜发育历期(d)		若蚜存活率(%)	
	棉蚜	棉长管蚜	棉蚜	棉长管蚜
0(CK)	6.79 ± 1.11b	8.31 ± 0.54b	94.85 ± 3.15a	96.14 ± 4.84a
2	6.31 ± 0.99b	9.31 ± 0.73ab	89.72 ± 4.99a	74.76 ± 3.23b
4	7.10 ± 1.12ab	9.93 ± 0.92a	77.92 ± 3.12b	62.42 ± 3.92c
6	7.79 ± 0.98a	10.26 ± 1.54a	62.06 ± 5.98c	39.29 ± 2.54d

注:表中数据为平均数 ± 标准误,同列数据后不同小写字母表示经 Duncan's 检验在 0.05 水平差异显著。下表同。

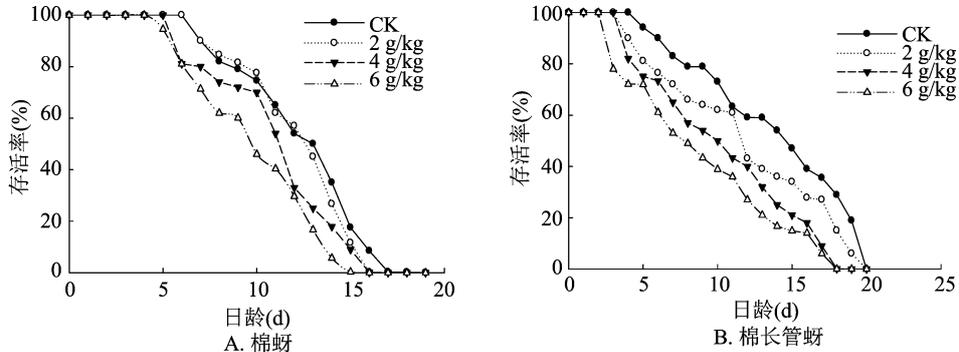


图1 噻虫嗪不同包衣剂量处理下棉蚜和棉长管蚜成蚜的存活曲线

与对照相比显著降低,且产蚜量随着包衣剂量的增加,与对照组差异愈大。噻虫嗪 6.0 g/kg 处理下棉长管蚜和棉蚜的产蚜量分别较对照组降低 47.78%

和 25.28%,2 种蚜虫相比,对棉长管蚜繁殖力抑制作用更为显著(表 2)。

表2 噻虫嗪种子包衣对成蚜寿命和产蚜量的影响

包衣剂量 (g/kg)	平均寿命(d)		产蚜量(头)	
	棉蚜	棉长管蚜	棉蚜	棉长管蚜
0(CK)	11.13 ± 1.51a	12.13 ± 1.33a	37.97 ± 2.02b	26.12 ± 2.33a
2.0	10.07 ± 1.32a	11.55 ± 0.88a	42.38 ± 2.23a	23.11 ± 2.21b
4.0	9.13 ± 1.27ab	9.73 ± 0.61ab	35.15 ± 2.95ab	18.54 ± 1.39c
6.0	8.56 ± 1.14b	8.61 ± 0.52b	28.37 ± 2.87c	13.64 ± 1.04d

不同处理棉蚜达到繁殖高峰期时间基本一致,都在 8 日龄前后(图 2 - A);而噻虫嗪处理下棉长管蚜达到繁殖日期较对照均延后 1 ~ 2 d,且噻虫嗪 3

个剂量间达到繁殖高峰期时间基本一致,随浓度增加,产蚜量下降明显(图 2 - B)。

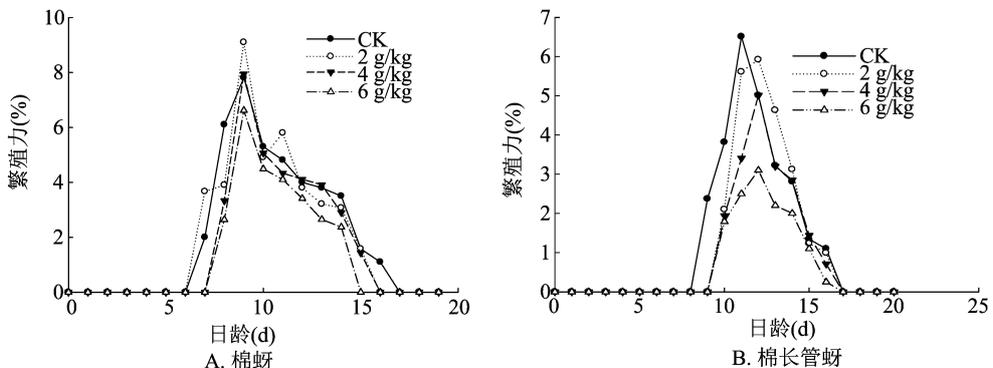


图2 噻虫嗪不同包衣剂量处理下棉蚜和棉长管蚜日龄-阶段特征繁殖力

2.3 噻虫嗪种衣剂对棉蚜和棉长管蚜生命表参数的影响

棉蚜在噻虫嗪 2.0 g/kg 处理下,平均世代周期、净增殖率、周限增长率与对照均无显著差异,内禀增长率提高 15.38%,显著高于对照;4.0、6.0 g/kg 噻虫嗪处理下,平均世代周期、内禀增长率、周限增长率与对照均无显著差异,净增殖率与对照相比显著降

低(表 3)。随噻虫嗪包衣剂量增加,棉长管蚜平均世代周期延长,6.0 g/kg 噻虫嗪处理下平均世代周期显著高于对照;4.0、6.0 g/kg 噻虫嗪剂量处理下,其净增殖率、内禀增长率、周限增长率分别较对照下降 49.78% 和 68.74%、29.63% 和 48.15%、7.63% 和 12.21%,表明对棉长管蚜有显著的抑制作用(表 4)。

表 3 噻虫嗪不同剂量处理对棉蚜实验种群的生命表参数的影响

蚜虫种类	处理剂 (g/kg)	平均世代周期 (d)	净增殖率	内禀增长率 (d^{-1})	周限增长率 (d^{-1})
棉蚜	0 (CK)	9.13 ± 1.02ab	36.27 ± 1.10a	0.39 ± 0.05b	1.48 ± 0.22ab
	2.0	8.25 ± 0.71b	33.16 ± 1.99ab	0.45 ± 0.02a	1.53 ± 0.13a
	4.0	9.35 ± 1.13ab	29.80 ± 1.76bc	0.36 ± 0.04b	1.44 ± 0.14ab
	6.0	9.77 ± 0.98a	27.56 ± 0.98c	0.34 ± 0.03b	1.40 ± 0.18b

表 4 噻虫嗪不同剂量处理对棉长管蚜实验种群的生命表参数的影响

蚜虫种类	处理剂量 (g/kg)	平均世代周期 (d)	净增殖率	内禀增长率 (d^{-1})	周限增长率 (d^{-1})
棉长管蚜	0 (CK)	11.93 ± 0.81b	24.57 ± 1.93a	0.27 ± 0.03a	1.31 ± 0.24a
	2.0	12.27 ± 1.23ab	16.92 ± 2.21b	0.23 ± 0.03ab	1.26 ± 0.23ab
	4.0	13.08 ± 0.92ab	12.34 ± 1.92c	0.19 ± 0.05bc	1.21 ± 0.16bc
	6.0	14.63 ± 1.54a	7.68 ± 1.50d	0.14 ± 0.02c	1.15 ± 0.07c

3 讨论

新烟碱类杀虫剂同时具备内吸、触杀、胃毒作用,根据新烟碱类杀虫剂的内吸性原理,拌种或包衣后可通过单向运输的方式,将有效成分直接传递到植物地上部分,有效杀害靶标害虫,且持效期长,隐蔽用药,对天敌及环境相对友好。近年来,新烟碱类杀虫剂在许多地区越来越多的常规作物上总体预防性使用量有所增加,例如噻虫嗪和吡虫啉。噻虫嗪种衣剂对燕麦进行处理,持效期长,在燕麦各阶段对蚜虫防效显著,燕麦苗期至拔节期对蚜虫防效为 77.71% ~ 87.91%,孕穗期—扬花期的蚜虫防效为 58.45% ~ 68.61%,可减少杀虫剂的施用并有效防治蚜虫的危害^[21]。噻虫嗪和吡虫啉处理马铃薯种苗后,发现噻虫嗪比吡虫啉对作物保护持效期更长,从苗期到花期,叶蝉 (*Empoasca fabae*) 若虫密度保持在经济损害水平以下,对叶片无损害^[22];都振宝等研究用吡虫啉和噻虫嗪拌种防治麦蚜,发现吡虫啉在 2.0、4.0 g/kg 处理下,噻虫嗪 1.0、2.0、4.0 g/kg 处理下对田间麦蚜均能有效防治,后期噻虫嗪的防治效果优于吡虫啉^[23];张谦等研究发现,

噻虫嗪对棉花苗蚜的防效优于吡虫啉,噻虫嗪用于种子包衣或拌种对苗蚜有很好的防效^[16];陆晴等研究发现,22.6% 噻虫嗪和 60% 吡虫啉种衣剂在田间对麦蚜的防效达 83%,且持效期较长^[24];段云等在室内研究发现,0.28 g/kg 的噻虫嗪处理玉米种子,对东方黏虫 (*Mythimna separata*) 和劳氏黏虫 (*Mythimna loreyi*) 的 2、3 龄防效达 30% 以下,且随着 2 种昆虫虫龄增大,防效呈下降趋势^[25]。本研究表明噻虫嗪包衣处理苗后 30 d 棉蚜和棉长管蚜的若蚜存活率较对照分别降低 34.57% 和 59.13%,仍具有一定的防效。

新烟碱类杀虫剂作为种衣剂使用时,持效期长,能给予害虫较多和更持久的耐药性选择空间。迄今为止,棉蚜已对各种常用杀虫剂包括新烟碱类产生抗药性^[26-29]。棉蚜的综合治理仍然是一个严峻的挑战。近年来,杀虫剂低浓度对昆虫的亚致死效应受到了广泛关注,这种作用是棉蚜抗性发展的关键途径之一。低致死浓度的杀虫剂也能通过兴奋作用提高蚜虫的适应性,亚致死浓度烯啶虫胺、吡虫啉等均能刺激棉蚜的繁殖^[30-31]。低致死浓度的噻虫嗪 LC₁₅ 诱导棉蚜寿命延长,生殖力增加^[32]。

Li 等发现,吡虫啉 LC₃₅对玫瑰花蚜(*Metopolophium dirhodum*)成虫寿命延长,繁殖力增加,净增殖率和内禀增长率增大^[33]。本研究结果显示,噻虫嗪低剂量(2.0 g/kg)处理下,棉蚜发育历期缩短,产蚜量增加, r_m 上升,而棉长管蚜表现出相反的趋势,也即在杀虫剂胁迫下 2 种蚜虫后续种群表现出不同的适应性。生产中使用噻虫嗪包衣是否会引起棉蚜的再猖獗值得关注。

参考文献:

- [1] Hullé M, Chaubet B, Turpeau E, et al. Encyclop'Aphid: a website on aphids and their natural enemies[J]. *Entomologia Generalis*, 2020, 40(1): 97–101.
- [2] Campolo O, Chiera E, Malacrino A, et al. 2014. Acquisition and transmission of selected CTV isolates by *Aphis gossypii*[J]. *Journal of Asia – Pacific Entomology*, 2014, 17(3): 493–498.
- [3] 姜玉英, 陆宴辉, 李晶, 等. 新疆棉花病虫害演变动态及其影响因素分析[J]. *中国植保导刊*, 2015, 35(11): 43–48.
- [4] 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.
- [5] 潘洪生, 姜玉英, 王佩玲, 等. 新疆棉花害虫发生演替与综合防治研究进展[J]. *植物保护*, 2018, 44(5): 42–50.
- [6] 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.
- [7] Gao G Z, Perkins L E, Zalucki M P, et al. Effect of temperature on the biology of *Acyrtosiphon gossypii* Mordvilko (Homoptera: Aphididae) on cotton[J]. *Journal of Pest Science*, 2013, 86(2): 167–172.
- [8] 曹巍, 苏悦, 马雪, 等. 十一星瓢虫对棉蚜和棉长管蚜的捕食选择性[J]. *新疆农业科学*, 2019, 56(3): 472–480.
- [9] 姚永生. 新疆南部棉区棉蚜与棉长管蚜种间关系的格局变化及影响因素分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [10] 余璐, 田英, 李红. 进一步加强新疆生产建设兵团植保体系建设的建议[J]. *中国植保导刊*, 2020, 40(5): 89–93.
- [11] 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.
- [12] 张帅. 2020 年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议[J]. *中国植保导刊*, 2021, 41(2): 71–78.
- [13] 吴凌云, 李明, 姚东伟. 新烟碱类杀虫剂与种子处理[J]. *农药*, 2009, 48(12): 868–869, 871.
- [14] Goulson D. Review: an overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2013, 50(4): 977–987.
- [15] Zhang P, Zhang X F, Zhao Y H, et al. Effects of imidacloprid and clothianidin seed treatments on wheat aphids and their natural enemies on winter wheat[J]. *Pest Management Science*, 2016, 72(6): 1141–1149.
- [16] 张谦, 王树林, 祁虹, 等. 种子处理对棉花苗蚜的防治效果及对苗期生长的影响[J]. *农药*, 2019, 58(7): 537–539, 542.
- [17] 高志山, 张学峰, 刘海涛, 等. 新烟碱类杀虫剂种子包衣防治麦蚜的可行性评价[J]. *植物保护学报*, 2016, 43(5): 864–872.
- [18] 徐蕾, 赵彤华, 钟涛, 等. 药剂包衣对苗期大豆蚜防治效果与安全性评价[J]. *应用昆虫学报*, 2016, 53(4): 759–771.
- [19] 王秀芳, 任广伟, 高汉杰, 等. 25% 噻虫嗪水分散粒剂防治烟蚜田间药效试验[J]. *农药*, 2004, 43(8): 372–374.
- [20] Chi H, Liu H. Two new methods for the study of insect population ecology[J]. *Bulletin of the Institute of Zoology Academia Sinica*, 1985, 24(2): 225–240.
- [21] 李惠霞, 张海英, 郭建国, 等. 噻虫嗪种子包衣对燕麦蚜虫和红叶病的控制效果及农药残留分析[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(6): 1205–1209.
- [22] Nault B A, Taylor A G, Urwiler M, et al. Neonicotinoid seed treatments for managing potato leafhopper infestations in snap bean[J]. *Crop Protection*, 2004, 23(2): 147–154.
- [23] 都振宝, 苗进, 武予清, 等. 新烟碱类杀虫剂拌种对麦蚜田间防效及药剂残留动态分析[J]. *应用昆虫学报*, 2011, 48(6): 1682–1687.
- [24] 陆晴, 甄志华, 宋茂兴, 等. 不同拌种剂对冀东小麦蚜虫持效性的研究[J]. *中国植保导刊*, 2022, 42(3): 61–64.
- [25] 段云, 董嘉欣, 苗进, 等. 噻虫嗪种衣剂对玉米苗期两种黏虫的室内毒力测定[J]. *山东农业科学*, 2023, 55(1): 124–128.
- [26] Koo H N, Lee S W, Yun S H, et al. Feeding response of the cotton aphid, *Aphis gossypii*, to sublethal rates of flonicamid and imidacloprid[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2015, 154(2): 110–119.
- [27] 梁彦, 张帅, 邵振润, 等. 棉蚜抗药性及其化学防治[J]. *植物保护*, 2013, 39(5): 70–80.
- [28] Wei X, Pan Y O, Xin X C, et al. Cross-resistance pattern and basis of resistance in a thiamethoxam-resistant strain of *Aphis gossypii* Glover[J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2017, 138: 91–96.
- [29] 潘文亮, 党志红, 高占林. 棉蚜抗吡虫啉品系和敏感品系主要解毒酶活性比较[J]. *昆虫学报*, 2003, 46(6): 793–796.
- [30] Wang S Y, Qi Y F, Desneux N, et al. Sublethal and transgenerational effects of short-term and chronic exposures to the neonicotinoid nitenpyram on the cotton aphid *Aphis gossypii*[J]. *Journal of Pest Science*, 2017, 90(1): 389–396.
- [31] Ullah F, Gul H, Desneux N, et al. Imidacloprid-induced hormesis effects on demographic traits of the melon aphid, *Aphis gossypii*[J]. *Entomologia Generalis*, 2019, 39(3/4): 325–337.
- [32] Ullah F, Gul H, Tariq K, et al. Thiamethoxam induces transgenerational hormesis effects and alteration of genes expression in *Aphis gossypii*[J]. *Pesticide Biochemistry Physiology*, 2020, 165: 104557.
- [33] Li X N, Li Y P, Zhu X, et al. Effects of imidacloprid-induced hormesis on the development and reproduction of the rose-grain aphid *Metopolophium dirhodum* (Hemiptera: Aphididae)[J]. *Frontiers in Physiology*, 2023, 14: 1113464.