

不同种类农药对棉蚜的防治效果及 对多异瓢虫的安全性评价*

宋冰梅^{1,2**} 姜岩² 陈鑫^{2,3} 程宛楠⁴ 张宇⁴ 潘洪生^{2***}

(1. 新疆大学生命科学与技术学院, 新疆生物资源和基因工程重点实验室, 乌鲁木齐 830046;

2. 新疆农业科学院植物保护研究所, 国家植物保护库尔勒观测实验站, 乌鲁木齐 830091;

3. 新疆农业大学农学院, 棉花教育部工程研究中心, 乌鲁木齐 830052;

4. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要 【目的】筛选对棉蚜 *Aphis gossypii* 防治效果较好, 对多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 安全性较高的农药, 为轮换施用农药降低棉蚜的抗药性和减少其对多异瓢虫的影响提供理论依据。【方法】本文通过五点取样法和目测法系统调查施用 8 种不同类型 13 种不同种类农药后各处理小区棉蚜、多异瓢虫幼虫和成虫的种群数量, 评价其对棉蚜的防治效果, 对多异瓢虫幼虫和成虫校正虫口减退率及多异瓢虫/棉蚜益害比的影响。【结果】氟啶虫胺腈、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯对棉蚜的防治效果较好, 药后 3、7、10 和 14 d 其防治效果均在 73.53%–97.46%, 且其处理小区多异瓢虫/棉蚜益害比较高, 均在 0.016 8–0.092 7; 除啶虫脒、呋虫胺和螺虫乙酯以外, 其余 10 种农药对多异瓢虫幼虫具有较高的安全性。13 种农药对多异瓢虫成虫数量的影响均较小, 多异瓢虫成虫校正虫口减退率均在 6.73%–32.61%, 其中呋虫胺、噻虫胺、噻虫啉、烯啶虫胺和吡蚜酮对其影响最小 (7.37%–31.00%); 除吡虫啉 (药后 7 d)、啶虫脒 (药后 3 d) 和呋虫胺 (药后 3、7 和 14 d) 以外, 其余农药对多异瓢虫幼虫和成虫校正虫口减退率的影响均无显著性差异 ($P > 0.05$)。【结论】氟啶虫胺腈、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯对棉蚜的防治效果较好, 对多异瓢虫幼虫安全性较高、对成虫种群数量影响较小且多异瓢虫/棉蚜益害比较高, 这 3 种不同类型农药的轮换施用有助于降低棉蚜的抗药性及对多异瓢虫的影响。

关键词 棉蚜; 多异瓢虫; 农药; 防治效果; 安全性评价

Effectiveness of different pesticides on *Aphis gossypii* and a safety evaluation of *Hippodamia variegata*

SONG Bing-Mei^{1,2**} JIANG Yan² CHEN Xin^{2,3} CHENG Wan-Nan⁴
ZHANG Yu⁴ PAN Hong-Sheng^{2***}

(1. College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Genetic Engineering, Urumqi 830046, China; 2. National Plant Protection Scientific Observation and Experiment Station of Korla, Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 3. Engineering Research Center of Cotton, Ministry of Education, College of Agricultural, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 4. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract [Objectives] To determine the resistance of *Aphis gossypii* to different pesticides and identify those that are safer for *Hippodamia variegata*. [Methods] The number of *A. gossypii* and *H. variegata* larvae and adults in each plot after the application of 13 different pesticides from 8 different types was quantified using the five-point sampling and visual methods. The effect of each pesticide on *A. gossypii*, the corrected rate of decrease of larvae and adults of *H. variegata*, and the ratio of *H.*

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2022YFD1400300); 新疆农业科学院科技创新重点培育专项 (xjkcpy-2020004); 天山创新团队计划 (2020D14004); 新疆棉花产业技术体系 (XJARS-03)

**第一作者 First author, E-mail: 2446620106@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: panhongsheng0715@163.com

收稿日期 Received: 2022-11-01; 接受日期 Accepted: 2023-05-08

variegata to *A. gossypii*, were also measured. **[Results]** *A. gossypii* were more susceptible to sulfoxaflor, flonicamid and afidopyropen, which at 3, 7, 10 and 14 days after application had reduced numbers by 73.53%-97.46%, respectively. The ratio of *H. variegata* to *A. gossypii* was also higher in plots treated with these pesticides (0.0168-0.0927). With the exception of acetamiprid, dinotefuran and spirotetramat, the other 10 pesticides tested were relatively safer for *H. variegata* larvae. The effects of all 13 pesticides on *H. variegata* adults were low; the corrected decrease rate was 6.73%-32.61%. Among the pesticides tested, dinotefuran, clothianidin, thiamethoxam, nitenpyram and pymetrozine had the least effect on *H. variegata* adults (7.37%-31.00%). Except for imidacloprid (7 days after treatment), acetamiprid (3 days after treatment) and dinotefuran (3, 7 and 14 days after treatment), there were no significant differences between the corrected decrease rates of *H. variegata* larvae and adults among the other pesticides. **[Conclusion]** Sulfoxaflor, flonicamid and afidopyropen are both more effective than the other pesticides tested for the control of *A. gossypii*, and safer for *H. variegata*. Alternating the application of these three pesticides could both reduce the development of resistance in *A. gossypii* and mortality of *H. variegata*.

Key words *Aphis gossypii*; *Hippodamia variegata*; pesticides; control effects; safety evaluation

棉花是一种重要的经济作物, 2021 年新疆地区种植面积为 250.6 万 hm^2 、产量为 512.9 万吨, 分别占全国的 82.76%和 89.50% (国家统计局, 2021)。新疆地区棉花害虫多达 50 种, 棉蚜 *Aphis gossypii* (Glover) 是其中一种主要的害虫(潘洪生等, 2018; Jiang *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2021)。棉蚜属半翅目蚜虫属, 广泛分布于世界各地, 能危害多种植物, 繁殖速度快 (Isikber, 2005)。棉蚜利用刺吸式口器吸取棉花茎、叶等汁液并且能够传播病毒、细菌影响棉花营养生长状况, 导致植株发育不良, 受棉蚜侵害的棉花植株具体表现为叶片卷缩、变黄、花蕾脱落甚至死亡 (Kim, 2007; 梁彦等, 2013; Mohamad *et al.*, 2013)。同时, 棉蚜在取食过程中会排出蜜露, 覆盖叶片气孔, 影响棉花叶片的光合作用, 并且经蜜露污染的棉絮棉纤维含糖量增加, 不利于纺纱 (Ma *et al.*, 2022; Zhong *et al.*, 2022)。棉蚜的防治主要依赖于农药的使用, 农药能够在短时间内控制棉蚜数量, 药后 1 d 其对棉蚜防治效果能达到 90% (姜伟丽等, 2019; 马亚杰等, 2019)。但是单一农药的重复使用会导致棉蚜产生抗药性 (马康生等, 2021), 目前新疆地区的棉蚜已对大多数农药产生了较高水平的抗性, 如对噻虫嗪的抗性倍数已达到 1 095 倍 (赵鹏程等, 2018; 马康生等, 2021)。因此, 亟需筛选不同种类的农药轮换施用, 降低棉蚜的抗药性 (胡迪等, 2019; 吴金龙等, 2020)。多异瓢虫 *Hippodamia variegata* (Goeze) 属鞘翅目瓢虫科, 取食能力强, 是新疆棉区最具价值

的生防昆虫之一, 是棉蚜等多种蚜虫的优势捕食性天敌 (Soleimani and Madadi, 2015; 姜岩等, 2022a)。广谱性农药对非靶标的捕食性天敌昆虫也具有一定的危害作用 (Rahmani and Bandani, 2016; Wumuerhan *et al.*, 2020; 帕提玛·乌木尔汗等, 2021; 姜岩等, 2022b), 如 13.62 mg a.i./L 浓度下吡虫啉处理 48 h 后多异瓢虫寿命减短、产卵量减少 (王泽群, 2021), 70.58 mg/L 吡虫啉处理 24 h 后多异瓢虫死亡率为 19.60% (孙小玲等, 2016)。因此, 在筛选对棉蚜具有较好防治效果农药的同时需考虑其对多异瓢虫的安全性。

新烟碱类化合物农药占全球农药市场的 27%, 目前广泛应用于棉蚜的防治 (Pantima *et al.*, 2020)。吡蚜酮对刺吸式害虫具有较高的防治效果, 可通过影响其神经系统减少害虫对寄主植物汁液的吸取, 具有高选择性、对非靶标生物危害性小等优点 (Somar *et al.*, 2019)。螺虫乙酯为乙酰辅酶 A 羧激酶抑制剂, 能够抑制棉蚜体内脂的合成, 对其作用方式较新, 具有较高的致死与亚致死活性, 不易与其他农药产生交叉抗性 (Pan *et al.*, 2015; Gong *et al.*, 2016)。丁硫克百威主要通过抑制胆碱酯酶的活性, 使害虫持续亢奋进而死亡 (彭军等, 2010)。氟啶虫胺肟能有效防治几乎所有的刺吸式口器害虫, 具有广谱、高效、安全、速效性好、持效期长等特点 (孔月等, 2021)。氟啶虫酰胺对刺吸式口器害虫具有较好的神经毒性, 能快速抑制棉蚜取食行为直至其死亡 (Jiang *et al.*, 2019)。双丙环

虫酯是天然产物衍生的杀虫剂,专门应用于防治刺吸式害虫,对棉蚜毒性大(Ma *et al.*, 2022)。苦参碱速效性差,与同类农药藜芦碱和印楝素相比,其对棉蚜的防治效果更强、对天敌的毒性更弱(刘佳美等, 2021)。本研究选用目前广泛用于棉蚜防治的 8 种不同类型的 13 种不同种类农药,以其对棉蚜防治效果、多异瓢虫幼虫和成虫校正虫口减退率及多异瓢虫/棉蚜益害比的影响作为评价指标,筛选对棉蚜防治更高效以及对多

异瓢虫影响较小的农药,以期对棉蚜的有效防治与多异瓢虫的保护利用提供重要的科学依据(姜伟丽等, 2019; 张谦等, 2022)。

1 材料与方法

1.1 供试农药

试验选用 8 种不同类型的 13 种不同种类农药,相关信息详见表 1。

表 1 供试不同种类农药信息及施用量
Table 1 Information on different pesticides and application dosage

农药种类 Types of pesticides	编号 Serial number	农药名称 Pesticide name	生产厂家 Manufacturer	推荐用量 Recommended dosage	用量 (hm ²) Dosage per hm ²
新烟碱类 Neonicotinoids	1	吡虫啉 70%水分散粒剂 Imidacloprid 70% WG	拜耳作物科学(中国)有限公司 Bayer Cropscience Co., Ltd. China	30-60 g/hm ²	60 g
	2	啉虫脒 70%水分散粒剂 Acetamiprid 70% WG	宁波中化化学品有限公司 Ningbo Sinochem Chemicals Co., Ltd.	30-45 g/hm ²	45 g
	3	呋虫胺 20%可溶粒剂 Dinotefuran 20% soluble granule	日本三井化学 AGRO 株式会社 Japan Mitsui Chemicals AGRO Ltd.	600-750 g/hm ²	725 g
	4	噻虫胺 20%悬浮剂 Clothianidin 20% SC	江苏辉丰生物农业股份有限公司 Jiangsu Huifeng Bio Agriculture Co., Ltd.	120-240 mL/hm ²	240 mL
	5	噻虫嗪 70%可分散粉剂 Thiamethoxam 70% WG	瑞士先正达作物保护有限公司 Switzerland Syngenta Crop Protection Co., Ltd.	45-90 g/1 000 g 种子 Seeds	45 g 种子 Seeds
	6	烯啶虫胺 20%水分散粒剂 Nitenpyram 20% WG	北京华戎生物激素厂 Beijing Huarong Biological Hormone Factory	75-150 g/hm ²	150 g
噻酮类 Azinone	7	吡蚜酮 25%悬浮剂 Pymetrozine 25% SC	江苏克胜集团股份有限公司 Jiangsu Kesheng Gruop Co., Ltd.	300-420 mL/hm ²	360 mL
季酮酸类 Tetronic acids	8	螺虫乙酯 22.4%悬浮剂 Spirotetramat 22.4% SC	拜耳作物科学(中国)有限公司 Bayer Cropscience Co., Ltd. China	3 000-4 000 倍液 Times	3 000 倍液 Times
氨基甲酸酯类 Carbamates	9	丁硫克百威乳油 Carbosulfan EC	江西正邦作物保护有限公司 Jiangxi Zhengbang Technology Co., Ltd.	675-900 mL/hm ²	825 mL
磺亚胺类 Sulfoximine	10	氟啶虫胺腈 22%悬浮剂 Sulfoxaflor 22% SC	美国陶氏益农公司 Dow Agrosiences Company America	3 000-4 000 倍液 Times	3 000 倍液 Times
新型吡啶酰胺类 Picolinamides	11	氟啶虫酰胺 10%水分散粒剂 Flonicamid 10% WG	日本石原产业株式会社 Ishihara Sangyo Kaisha Ltd.	450-750 g/hm ²	725 g
丙烯类 Pyropenes	12	双丙环虫酯可分散液剂 Afidopyropen DC	巴斯夫(中国)有限公司 BASF Ltd. China	150-240 mL/hm ²	210 mL
植物源 Botanical	13	苦参碱 1.3%水剂 Matrine 1.3% AS	河北万特生物化学有限公司 Heibei Vante Biopharm Ltd.	450-600 g/hm ²	600 g

1.2 试验设计

试验在国家植物保护库库尔勒观测实验站（新疆巴州库尔勒市和什力克乡库勒村，41.75°N，85.81°E）进行。试验设置 13 种农药与清水（对照）共 14 个处理，每个处理 3 次重复，共 42 小区，每个小区面积 101.25 m²（9 m×11.25 m），每 2 个小区间隔 2 m，所有小区随机排列。试验种植棉花品种为中棉所 49，种植方式为地膜覆盖栽培，膜宽 150 cm，膜间距 40 cm，每膜种 4 行，行距 10/60 cm，株距 10 cm，种植密度约为 225 000 株/hm²。试验期间，除试验处理外不施用任何农药，施药用量详见表 1，用水量为 600 kg/hm²。灌溉及施肥等按常规措施进行统一管理。

1.3 试验方法

每个小区以对角线 5 点取样法选取 5 个调查点，每点分别用红色尼龙绳固定 5 株棉花。每株棉花上棉蚜数量至少 50 头且每个调查点必需有多异瓢虫成虫和幼虫。试验施药日期为 2022 年 6 月 14 日，药前当天、药后 3、7、10 和 14 d 采用目测法系统调查固定棉株上棉蚜与对其具有控制作用的多异瓢虫虫态（成虫、幼虫）的种群数量。

1.4 数据统计与分析

棉蚜、多异瓢虫种群数量换算成每株虫量即虫口基数。通过计算虫口减退率、防治效果（校正虫口减退率）评估不同种类农药对棉蚜的防治效果以及不同种类农药对多异瓢虫幼虫的安全性与成虫种群数量的影响；通过计算多异瓢虫/棉蚜益害比评估多异瓢虫对棉蚜的控制作用。相应计算公式如下：

虫口基数（头/株）=每个小区调查总数/25 株；

虫口减退率（%）=（药前虫口基数-药后存活虫口数量）/药前虫口基数×100；

防治效果/校正虫口减退率（%）=（处理区虫口减退率-对照区虫口减退率）/（1-对照区虫口减退率）×100；

益害比=多异瓢虫种群密度/棉蚜种群密度。

采用 Microsoft Excel 2021、SPSS 20 和 Origin 2022 进行数据的统计、分析和图表制作。同一调查日期不同种类农药对棉蚜的防治效果、多异瓢虫幼虫、成虫校正虫口减退率及多异瓢虫/棉蚜益害比均符合正态分布且方差齐性（One-way ANOVA 检验），采用 Duncan 氏新复极差法进行多重比较，仅药后 7 d 不同种类农药对棉蚜的防治效果、多异瓢虫幼虫及成虫虫口基数不符合正态分布，采用 Kruskal-Wallis $H(K)$ test 检验；同一调查日期同一种农药的多异瓢虫幼虫、成虫校正虫口减退率均符合正态分布，采用独立样本 t 检验法分析。

2 结果与分析

2.1 不同种类农药对棉蚜的防治效果

13 种农药对棉蚜的防治效果如表 2 所示，试验前 14 个处理小区棉蚜的虫口基数无显著性差异（ $P>0.05$ ）。药后 3 d（ $F=25.72$ ， $df=12$ ， $P<0.001$ ）、7 d（ $\chi^2=33.34$ ， $df=12$ ， $P=0.001$ ）、10 d（ $F=7.76$ ， $df=12$ ， $P<0.001$ ）、14 d（ $F=4.34$ ， $df=12$ ， $P=0.001$ ），13 种农药对棉蚜的防治效果均具有极显著性差异。药后 3 d，氟啶虫胺胍和双丙环虫酯防治效果最好，分别为 94.05% 和 94.35%，啉虫脒（83.19%）和氟啶虫酰胺（86.17%）次之。药后 7 d，氟啶虫酰胺和双丙环虫酯防治效果最好，分别为 96.49% 和 97.46%，其次是氟啶虫胺胍（95.04%）和啉虫脒（91.35%）。药后 10 d，氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯防治效果最好，分别为 90.56%、92.37%、88.77%，其次是螺虫乙酯（80.17%）。药后 14 d，氟啶虫酰胺防治效果最好（91.31%），氟啶虫胺胍（88.29%）次之。综上可知，氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯对棉蚜的防治效果均较好，药后 3、7、10 和 14 d 其对棉蚜的防治效果均在 73.53%-97.46%。

2.2 不同种类农药对多异瓢虫幼虫、成虫校正虫口减退率的影响

不同种类农药对多异瓢虫幼虫校正虫口减

表 2 不同种类农药对棉蚜的防治效果
Table 2 Control effects of different pesticides on *Aphis gossypii*

农药名称 Pesticide name	虫口基数 (头/株) Population base (ind./plant)	药后 3 d 3 days after application		药后 7 d 7 days after application		药后 10 d 10 days after application		药后 14 d 14 days after application	
		虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	防治效果 (%) Control efficacy (%)	虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	防治效果 (%) Control efficacy (%)	虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	防治效果 (%) Control efficacy (%)	虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	防治效果 (%) Control efficacy (%)
吡虫啉 Imidacloprid	208.32±41.42 a	38.87±11.05	63.59±6.68 d	59.91±7.69	81.8±3.26 ab	46.06±10.56	73.64±5.86 de	53.97±9.19	70.33±6.85 bcde
啶虫脒 Acetamiprid	218.51±56.40 a	71.80±3.76	83.19±2.39 bc	81.08±2.93	91.35±1.43 ab	58.78±1.18	79.80±1.88 bcd	57.10±3.35	72.65±2.62 abcde
呋虫胺 Dinotefuran	159.64±13.30 a	37.18±4.26	62.60±2.85 d	33.88±7.79	69.89±3.41 ab	17.82±4.70	60.15±1.60 g	15.31±8.04	46.22±4.89 f
噻虫胺 Clothianidin	229.83±49.70 a	56.21±9.76	74.04±5.67 cd	61.44±8.68	82.49±3.86 ab	42.06±8.05	72.14±2.75 def	55.81±9.45	71.99±5.66 abcde
噻虫嗪 Thiamethoxam	320.75±77.39 a	37.15±4.26	62.61±2.64 d	51.71±2.37	77.97±1.27 ab	53.77±7.78	76.96±5.06 de	74.68±2.70	83.80±2.17 abc
烯啶虫胺 Nitenpyram	240.47±69.53 a	48.86±5.82	69.60±3.40 d	65.34±3.98	84.25±1.59 ab	46.70±3.80	74.23±0.40 de	49.78±0.62	68.07±1.09 cde
吡蚜酮 Pymetrozine	228.03±48.71 a	54.67±8.70	73.12±4.95 cd	68.15±10.90	85.46±5.05 ab	55.10±6.85	78.45±2.30 cd	64.04±10.94	76.57±8.02 abcde
螺虫乙酯 Spirotetramat	232.25±37.87 a	53.26±5.52	72.26±3.06 cd	47.69±4.59	76.11±2.32 ab	59.27±3.42	80.17±2.02 bcd	69.66±9.40	81.17±5.44 abcd
丁硫克百威 Carbosulfan	182.29±6.09 a	40.81±7.97	64.84±4.54 d	30.08±6.34	68.07±3.19 ab	30.90±3.61	66.51±0.71 efg	38.33±13.10	61.22±7.13 ef
氟啶虫胺胍 Sulfoxaflor	244.23±84.95 a	90.00±1.49	94.05±0.89 a	89.15±3.84	95.04±1.78 ab	80.16±5.75	90.56±2.51 ab	81.91±3.63	88.29±2.91 ab
氟啶虫酰胺 Flonicamid	240.95±94.16 a	76.69±3.90	86.17±2.21 b	92.25±2.85	96.49±1.28 a	83.78±5.38	92.37±2.20 a	86.32±5.47	91.31±3.34 a
双丙环虫酯 Afidopyropen	248.67±52.55 a	90.48±2.16	94.35±1.25 a	94.45±1.98	97.46±0.92 a	76.75±1.81	88.77±0.07 abc	59.01±7.49	73.53±5.95 abcde
苦参碱 Matrine	206.19±47.98 a	- 44.31±9.27	14.10±6.09 e	- 85.24±16.63	15.53±7.84 b	23.27±14.68	62.07±8.82 fg	40.61±19.44	63.03±11.05 def
清水 (对照) Water (CK)	279.49±57.56 a	- 68.17±1.41	-	- 119.42±2.93	-	- 106.91±15.05	-	- 57.73±6.60	-

表中数据为平均值±标准误, 同列数据后标有不同小写字母代表具有显著性差异 ($P<0.05$, Duncan 氏新复极差法检验, 仅药后 7 d 防治效果经 Kruskal-Wallis 方法检验)。下表同。

The data in the table are mean±SE, and followed by the different lowercase letters in the same column represent significant differences ($P<0.05$, Duncan's new multiple range test, only the control effect at 7 days after application was tested by Kruskal-Wallis method). The same below.

退率的影响如下, 试验前 14 个处理小区多异瓢虫幼虫虫口基数无显著性差异 ($P>0.05$)。药后 3 和 7 d, 13 种农药处理小区多异瓢虫幼虫校正虫口减退率与对照组无显著性差异 ($P>0.05$)。药后 10 d, 除吡虫啉、啶虫脒、呋虫胺、噻虫胺和螺虫乙酯以外, 其余 8 种农药处理小区多异瓢虫幼虫校正虫口减退率与对照组间无显著性差异 ($P>0.05$)。药后 14 d, 除啶虫脒、呋虫胺、吡蚜酮和螺虫乙酯以外, 其余 9 种农药处理小区多异瓢虫幼虫校正虫口减退率与对照组间无显著性差异 ($P>0.05$)。综上所述, 除啶虫脒、呋虫胺和螺虫乙酯以外, 其余 10 种农药对多异瓢虫幼虫均具有较高的安全性 (表 3)。

不同种类农药对多异瓢虫成虫校正虫口减退率的影响如下: 试验前 14 个处理小区多异瓢虫成虫虫口基数无显著性差异 ($P>0.05$)。药后 3 d, 呋虫胺、噻虫胺、吡蚜酮和苦参碱处理小区多异瓢虫成虫校正虫口减退率与对照组间无显著性差异 ($P>0.05$), 同时, 除吡虫啉和啶虫脒以外, 其余 7 种农药处理小区间无显著性差异 ($P>0.05$)。药后 7 和 10 d, 13 种农药处理小区多异瓢虫成虫校正虫口减退率与对照组间均无显著性差异 ($P>0.05$)。药后 14 d, 除苦参碱以外, 12 种农药处理小区多异瓢虫成虫校正虫口减退率间无显著性差异 ($P>0.05$), 其中啶虫脒、噻虫胺和烯啶虫胺的与对照组的无显著性差异 ($P>0.05$)。综上所述, 结合不同时期显著性结果 13 种农药对多异瓢虫成虫数量的影响均较小, 多异瓢虫成虫校正虫口减退率均在 6.73%-32.61%, 其中呋虫胺、噻虫胺、噻虫啉、烯啶虫胺和吡蚜酮对其影响最小 (7.37%-31.00%) (表 4)。

不同种类农药对多异瓢虫幼虫和成虫校正虫口减退率的影响如下: 药后 3 d, 啶虫脒处理小区多异瓢虫成虫校正虫口减退率显著高于幼虫的 ($t=4.02$, $df=4$, $P=0.016$), 呋虫胺处理小区幼虫校正虫口减退率显著高于成虫的 ($t=4.66$, $df=4$, $P=0.010$)。药后 7 d, 吡虫啉 ($t=3.92$, $df=4$, $P=0.017$) 和呋虫胺 ($t=4.26$, $df=4$, $P=0.013$) 处理小区多异瓢虫幼虫校正虫口减退率显著高于成虫的。药后 14 d, 呋虫胺处理小区多异瓢虫

幼虫校正虫口减退率显著高于成虫的 ($t=3.10$, $df=4$, $P=0.036$)。除上述情况以外, 每个调查日期的其余农药对多异瓢虫幼虫和成虫校正虫口减退率的影响无显著性差异 ($P>0.05$) (图 1)。

2.3 不同种类农药对多异瓢虫/棉蚜益害比的影响

13 种农药对多异瓢虫/棉蚜益害比的影响如图 2 所示, 试验前 14 个处理小区多异瓢虫/棉蚜益害比间无显著性差异 ($P>0.05$)。药后 3 d ($F=8.51$, $df=13$, $P<0.001$)、7 d ($F=22.43$, $df=13$, $P<0.001$)、10 d ($F=8.47$, $df=13$, $P<0.001$)、14 d ($F=5.008$, $df=13$, $P<0.001$), 13 种农药处理小区多异瓢虫/棉蚜益害比均具有极显著性差异。药后 3 d, 氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯处理小区益害比较高, 分别为 0.075 7、0.036 2、0.069 9, 啶虫脒 (0.023 4)、呋虫胺 (0.015 4)、噻虫胺 (0.016 7)、吡蚜酮 (0.016 6) 处理小区次之。药后 7 d, 氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯处理小区益害比较高, 分别为 0.048 2、0.080 5、0.092 7, 吡虫啉 (0.012 3)、啶虫脒 (0.027 5)、噻虫胺 (0.013 2)、烯啶虫胺 (0.014 1) 和吡蚜酮 (0.017 9) 处理小区次之。药后 10 d, 氟啶虫胺胍和氟啶虫酰胺处理小区益害比较高, 分别为 0.041 7 和 0.057 1。药后 14 d, 氟啶虫胺胍和氟啶虫酰胺处理小区益害比较高, 分别为 0.045 1 和 0.084 4, 噻虫啉 (0.023 7)、吡蚜酮 (0.022 1)、螺虫乙酯 (0.025 9)、双丙环虫酯 (0.030 5) 处理小区次之。综上可知, 氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯处理小区多异瓢虫/棉蚜益害比较高, 均在 0.016 8-0.092 7。

3 讨论

本文通过田间试验探究了 13 种不同种类农药对棉蚜的防治效果, 对多异瓢虫幼虫的安全性以及对多异瓢虫成虫种群数量的影响。结果表明: 13 种农药中氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯对棉蚜的防治效果较好, 且对应处理小区多异瓢虫/棉蚜益害比较高; 除啶虫脒、呋虫胺和螺虫乙酯以外, 其余 10 种农药对多异瓢虫

表 3 不同种类农药对多异瓢虫幼虫校正虫口减退率的影响
Table 3 Effects of different pesticides on the corrected decrease rate of *Hippodamia variegata* larvae

农药名称 Pesticides name	虫口基数 (头/株) Population base (ind./plant)	药后 3 d 3 days after application		药后 7 d 7 days after application		药后 10 d 10 days after application		药后 14 d 14 days after application	
		虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	校正虫口减退率 (%) Corrected decrease rate (%)	虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	校正虫口减退率 (%) Corrected decrease rate (%)	虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	校正虫口减退率 (%) Corrected decrease rate (%)	虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	校正虫口减退率 (%) Corrected decrease rate (%)
吡虫啉 Imidacloprid	0.57±0.04 a	16.53±16.16	33.16±10.85 a	41.15±8.00	37.26±1.67 a	6.08±3.25	29.96±9.47 ab	- 34.39±18.69	14.03±6.65 bcd
啶虫脒 Acetamiprid	0.57±0.04 a	- 14.85±8.42	6.54±4.74 a	27.72±5.71	21.68±4.47 a	13.86±17.20	38.85±5.90 ab	- 4.24±28.52	32.50±16.84 abc
呋虫胺 Dinotefuran	0.63±0.03 a	25.02±2.98	38.40±5.60 a	53.21±2.79	48.97±4.35 a	40.44±5.83	56.52±3.63 a	- 6.35±6.35	30.86±4.76 abc
噻虫胺 Clothianidin	0.61±0.01 a	- 5.92±3.62	12.53±9.58 a	28.33±5.25	20.47±12.16 a	7.47±6.74	30.30±12.38 ab	- 39.96±8.26	9.12±5.34 cd
噻虫嗪 Thiamethoxam	0.60±0.00 a	- 15.56±8.01	5.80±5.80 a	28.76±12.24	24.23±8.76 a	- 15.29±16.10	16.75±5.17 bc	- 35.75±7.82	12.12±2.21 cd
烯啶虫胺 Nitenpyram	0.61±0.01 a	- 8.63±5.93	10.32±10.32 a	28.96±4.61	21.45±10.93 a	- 5.46±26.87	25.92±9.76 bc	- 48.43±10.15	3.92±3.92 d
吡蚜酮 Pymetrozine	0.60±0.00 a	4.67±2.91	21.26±9.08 a	28.88±7.85	23.66±2.23 a	- 5.76±18.39	24.31±7.22 bc	2.33±16.50	37.77±6.82 ab
螺虫乙酯 Spirotetramat	0.64±0.04 a	- 10.83±8.55	9.68±6.22 a	34.03±1.84	27.56±7.53 a	6.39±7.22	30.70±8.68 ab	16.67±9.08	46.33±3.32 a
丁硫克百威 Carbosulfan	0.61±0.01 a	- 8.44±8.44	11.36±7.72 a	18.67±10.41	13.06±0.73 a	- 18.22±16.96	14.88±5.42 bc	- 44.44±22.22	8.00±8.00 cd
氟啶虫胺胍 Sulfoxaflor	0.64±0.04 a	- 8.75±5.91	11.07±6.28 a	24.03±4.67	17.29±6.14 a	- 19.68±25.03	14.58±10.64 bc	- 36.90±9.68	11.05±6.55 cd
氟啶虫酰胺 Flonicamid	0.68±0.02 a	7.74±2.22	23.69±9.09 a	40.40±8.05	32.03±17.25 a	- 8.99±4.50	19.20±9.38 bc	- 25.45±5.46	18.33±5.54 bcd
双丙环虫酯 Afidopyropen	0.69±0.05 a	7.62±11.59	24.41±10.29 a	33.65±13.50	27.13±15.53 a	- 1.90±8.32	22.98±13.80 bc	- 27.30±20.94	17.22±13.07 bcd
苦参碱 Matrine	0.60±0.00 a	- 8.73±9.36	11.70±4.76 a	19.84±11.03	14.52±1.38 a	- 19.05±10.38	13.16±5.08 bc	- 34.92±11.45	12.70±5.20 cd
清水 (对照) Water (CK)	0.60±0.00 a	- 24.44±15.56	0.00±0.00 a	6.55±11.45	0.00±0.00 a	- 38.60±17.65	0.00±0.00 c	- 54.97±11.70	0.00±0.00 d

表 4 不同种类农药对多异瓢虫成虫校正虫口减退率的影响
Table 4 Effects of different pesticides on the corrected decrease rate of *Hippodamia variegata* adults

农药名称 Pesticides name	虫口基数 (头/株) Population base (ind./plant)	药后 3 d 3 days after application		药后 7 d 7 days after application		药后 10 d 10 days after application		药后 14 d 14 days after application	
		虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	校正虫口减退率 (%) Corrected decrease rate (%)	虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	校正虫口减退率 (%) Corrected decrease rate (%)	虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	校正虫口减退率 (%) Corrected decrease rate (%)	虫口减退率 (%) Decrease rate (%)	校正虫口减退率 (%) Corrected decrease rate (%)
吡虫啉 Imidacloprid	0.76±0.13 a	1.72±8.86	30.81±6.66 a	13.87±4.02	20.86±3.84 a	- 17.47±14.46	18.27±9.16 a	- 19.00±3.29	18.19±2.06 ab
啶虫脒 Acetamiprid	0.52±0.02 a	- 2.38±2.38	27.95±2.43 ab	9.23±6.36	16.62±5.81 a	- 22.92±14.58	15.00±6.96 a	- 35.92±8.64	6.73±4.41 bc
呋虫胺 Dinotefuran	0.95±0.05 a	- 29.54±2.88	8.84±2.99 de	18.95±2.99	25.49±3.39 a	- 2.48±4.18	26.51±13.43 a	- 28.10±5.23	11.91±3.84 ab
噻虫胺 Clothianidin	0.69±0.04 a	- 25.97±3.27	11.32±3.56 de	10.69±8.69	17.75±9.02 a	- 2.22±5.88	27.42±11.14 a	- 11.39±13.27	22.88±11.06 ab
噻虫嗪 Thiamethoxam	0.63±0.03 a	- 13.33±7.70	20.42±4.37 abcd	13.33±3.85	20.47±2.29 a	0.00±10.18	31.00±3.22 a	- 34.44±7.29	7.66±4.16 bc
烯啶虫胺 Nitenpyram	0.68±0.05 a	- 13.06±0.28	20.46±1.42 abcd	11.11±8.01	18.50±6.38 a	- 24.31±21.26	14.17±11.19 a	- 34.72±4.09	7.37±2.92 abc
吡蚜酮 Pymetrozine	0.83±0.09 a	- 30.00±5.09	8.59±3.45 de	15.56±11.11	22.18±11.15 a	- 11.11±21.20	25.08±6.55 a	- 22.22±11.11	15.51±9.66 ab
螺虫乙酯 Spirotetramat	0.63±0.01 a	- 19.26±4.51	16.19±2.23 bcd	24.81±2.43	30.98±0.84 a	- 7.78±16.81	25.96±7.22 a	- 13.33±10.18	21.71±8.88 ab
丁硫克百威 Carbosulfan	0.73±0.13 a	- 4.58±5.75	26.45±4.06 abc	15.14±4.25	21.91±4.98 a	- 19.86±7.82	16.13±8.20 a	- 26.11±3.89	13.17±4.25 ab
氟啶虫胺胍 Sulfoxaflor	0.65±0.04 a	- 7.04±6.30	24.77±4.03 abc	21.85±8.52	28.33±7.32 a	- 10.74±20.11	25.43±4.88 a	- 15.93±10.74	19.85±9.30 ab
氟啶虫酰胺 Flonicamid	0.83±0.12 a	- 17.93±7.35	16.91±6.22 bcd	25.42±5.04	31.27±5.89 a	- 2.44±8.16	27.91±9.27 a	- 16.42±11.07	19.67±8.87 ab
双丙环虫酯 Afidopyropen	0.68±0.08 a	- 22.08±8.11	14.29±4.40 cd	7.50±3.82	15.12±1.81a	- 24.17±20.87	15.94±4.85 a	- 12.50±18.75	21.92±14.60 ab
苦参碱 Matrine	0.65±0.09 a	- 26.67±6.67	10.82±5.53 de	8.89±8.01	16.18±8.10 a	- 17.78±8.01	17.33±9.33 a	2.22±4.44	32.61±4.57 a
清水 (对照) Water (CK)	0.65±0.05 a	- 42.22±2.22	0.00±0.00 e	- 8.89±2.22	0.00±0.00 a	- 46.67±20.00	0.00±0.00 a	- 45.56±4.01	0.00±0.00 c

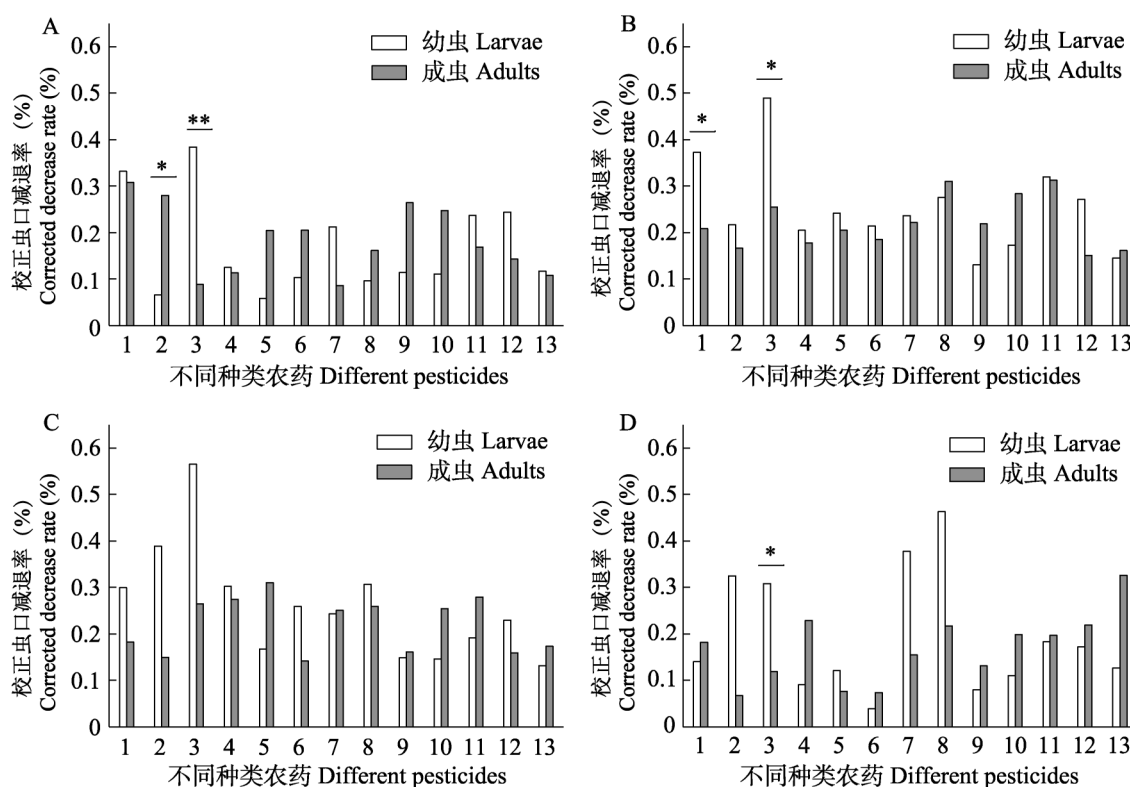


图 1 不同种类农药对多异瓢虫幼虫及成虫校正虫口减退率的影响

Fig. 1 Effects of different pesticides on the corrected decrease rate of *Hippodamia variegata* larvae and adults

A. 药后 3 d; B. 药后 7 d; C. 药后 10 d; D. 药后 14 d.

1: 吡虫啉; 2: 啉虫脒; 3: 呋虫胺; 4: 噻虫胺; 5: 噻虫嗪; 6: 烯啶虫胺; 7: 吡蚜酮; 8: 螺虫乙酯;
9: 丁硫克百威; 10: 氟啶虫胺胍; 11: 氟啶虫酰胺; 12: 双丙环虫酯; 13: 苦参碱。

*和**分别代表同一调查日期同一种农药在 $P<0.05$ 水平上、 $P<0.01$ 水平上对多异瓢虫幼虫、成虫校正虫口减退率的影响具有显著性差异 (独立样本 t 检验法检验)。

A. 3 days after application; B. 7 days after application; C. 10 days after application; D. 14 days after application.

1: Imidacloprid; 2: Acetamiprid; 3: Dinotefuran; 4: Clothianidin; 5: Thiamethoxam; 6: Nitenpyram; 7: Pymetrozine;
8: Spirotetramat; 9: Carbosulfan; 10: Sulfoxaflor; 11: Flonicamid; 12: Afidopyropen; 13: Matrine.

* and ** represent significant differences in the effects of the same pesticide on the corrected decrease rate of *H. variegata* larvae and adults at the same surveying date at the $P<0.05$ level and $P<0.01$ level (independent sample t -test), respectively.

幼虫具有较高的安全性, 13 种农药对多异瓢虫成虫数量的影响均较小, 其中呋虫胺、噻虫胺、噻虫嗪、烯啶虫胺和吡蚜酮对其影响最小。这为新疆地区棉蚜的有效防治和天敌的保护利用提供了重要的科技支撑。

本文研究结果表明, 氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯对棉蚜的防治效果较好, 但氟啶虫酰胺速效性不如氟啶虫胺胍和双丙环虫酯, 药后 3 d 其对棉蚜的防治效果仅为 86.17%, 这与姜伟丽等 (2019) 和张谦等 (2022) 研究结果类似。双丙环虫酯持效期不如氟啶虫胺胍和氟啶虫酰胺, 药后 14 d 对棉蚜的防治效果仅为 73.53%,

这与张谦等 (2022) 研究结果有一定出入, 这可能与施药浓度、试验地区的环境条件以及棉花种植密度不同有关。双丙环虫酯在我国应用于棉蚜防治较晚 (白小宁等, 2019), 棉蚜对氟啶虫胺胍和氟啶虫酰胺的抗性相对较低 (任宗杰等, 2021), 且其对双丙环虫酯的抗性尚未见报道 (Shi *et al.*, 2022)。同时, 氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯分别属于砒亚胺类、新型吡啶酰胺类和丙烯类杀虫剂, 对棉蚜的防治均具有特殊作用机制 (Koo *et al.*, 2015; 杨子辉和田昊, 2020; Watson *et al.*, 2021; Ma *et al.*, 2022)。因此, 氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯的



图 2 不同种类农药对多异瓢虫/棉蚜益害比的影响

Fig. 2 Effects of different pesticides on the ratio of *Hippodamia variegata* to *Aphis gossypii*

A: 药前 0 d (施药当天); B: 药后 3 d; C: 药后 7 d; D: 药后 10 d; E: 药后 14 d.

1: 吡虫啉; 2: 啶虫脒; 3: 呋虫胺; 4: 噻虫胺; 5: 噻虫嗪; 6: 烯啶虫胺; 7: 吡蚜酮; 8: 螺虫乙酯;
9: 丁硫克百威; 10: 氟啶虫胺腈; 11: 氟啶虫酰胺; 12: 双丙环虫酯; 13: 苦参碱; 14: 清水。

图中数据为平均值±标准误, 数值后不同小写字母代表同一调查日期不同种类农药对多异瓢虫/棉蚜益害比的影响具有显著性差异 ($P<0.05$, 经 Duncan 氏新复极差法检验)。

A: 0 day before application (the day of application); B: 3 days after application; C: 7 days after application; D: 10 days after application; E: 14 days after application.

1: Imidacloprid; 2: Acetamiprid; 3: Dinotefuran; 4: Clothianidin; 5: Thiamethoxam; 6: Nitenpyram; 7: Pymetrozine; 8: Spirotetramat; 9: Carbosulfan; 10: Sulfoxaflor; 11: Flonicamid; 12: Afidopyropen; 13: Matrine; 14: Water.

The data in the figure are mean $\pm$ SE, and followed by the different lowercase letters represent significant differences in the effects of different pesticides on the ratio of *H. variegata* to *A. gossypii* at the same surveying date ($P<0.05$, Duncan's new multiple range).

轮换施用有利于降低棉蚜的抗药性, 氟啶虫酰胺的持效期较长, 可应用于棉蚜的发生初期, 双丙环虫酯和氟啶虫胺腈的速效性好, 可应用于棉蚜的暴发期。

不同种类农药同时施用能够减少农药的施

用量、施用频次和提高对害虫的防治效果 (Saini *et al.*, 2017; 谢婷等, 2020)。如在致死浓度下, 当吡虫啉: 吡蚜酮复配比例为 1:1 时对棉蚜的防治为协同作用, 其能够显著降低棉蚜种群的增长速率 (Somar *et al.*, 2019), 氟啶虫酰胺与吡

蚜酮 1:1 复配对瓜蚜的共毒系数最大, 对其毒性增效作用最为明显(王欢欢等, 2019)。此外, 增效剂也可以通过影响农药的物理性质, 如通过降低在叶片上的表面张力、减小接触角和提高农药持留量达到农药减量增效的目的(靳改龙, 2018; 景亮亮等, 2021)。如 0.15% Fieldor Max EC 与吡虫啉同时施用, 当吡虫啉用量较常规用量减少 10%-20%, 对棉蚜的防治效果仍显著高于常规用量(张谦等, 2021); Wang 等(2022)研究发现部分增效剂也可直接影响与棉蚜抗药性相关的酶, 从而对氟啶虫胺胍防治棉蚜起到增效作用, 但双丙环虫酯与增效剂的复配仅在烟粉虱(Kumar *et al.*, 2018)、玉米蚜(张晓翔等, 2020)等方面具有研究, 在棉蚜防治方面还有待研究。综上, 研究农药与农药或者农药与增效剂复配能够作为控制棉蚜抗药性管理的有效替代方案(Nawaz *et al.*, 2022)。

农药对多异瓢虫具有致死与亚致死作用, 能够影响其生长发育、繁殖与捕食从而降低其生防效果(Rahmani and Bandani, 2016; Skouras *et al.*, 2019)。因此, 对农药的选择不仅应考虑对棉蚜的防治效果, 还应考虑其对天敌的安全性及种群数量的影响(Gaber *et al.*, 2015)。本实验期间为多异瓢虫在自然条件下的产卵高峰期(姜岩等, 2023a), 因此药后 14 d 调查的试验小区多异瓢虫幼虫数量及虫口减退率几乎均为负值, 在今后类似研究应该增加对卵的影响调查。本文结果表明, 除啉虫脒、呋虫胺和螺虫乙酯以外, 其余 10 种农药对多异瓢虫幼虫具有较高的安全性, 这与 Kou 等(2021)、刘佳美等(2021)、黄庆超等(2021)、南杰等(2022)研究结果类似。13 种农药对多异瓢虫成虫校正虫口减退率的影响均较小, 其中呋虫胺、噻虫胺、噻虫嗪、烯啶虫胺和吡蚜酮对其影响最小。测试的 13 种农药中 10 种在药后 14 d 对多异瓢虫成虫处理小区的数量仍具有显著性影响, 因此, 关于农药对处理小区多异瓢虫种群数量的影响, 需要延长调查时间, 系统长期的观察。本研究中吡虫啉(药后 7 d)、啉虫脒(药后 3 d)和呋虫胺(药后 3、7 和 14 d)对多异瓢虫幼虫和成虫校正虫口减退

率的影响具有显著性差异, 这与黄庆超(2020)研究结果类似。同时, 由于多异瓢虫种群数量会随着蚜虫数量变化而变化(姜岩等, 2023b), 在施药后多异瓢虫成虫可能由于蚜虫数量急剧下降导致其因缺乏食物而飞离试验区, 因此用多异瓢虫成虫校正虫口减退率评价不同种类农药对其的危害作用, 结果将会偏大。但这结合以上研究更能表明, 同一种农药对多异瓢虫幼虫危害程度较成虫可能更大。因此, 在施药时需基于田间多异瓢虫幼虫和成虫的发生期选择施药时间以降低农药对其危害作用。

多异瓢虫对棉蚜的捕食功能反应符合 Holling II 反应(王伟等, 2008), 其捕食一头棉蚜只需要 3.34 min, 每日最大捕食量为 172.6 头棉蚜(姚举等, 2005)。多异瓢虫/蚜虫益害比是反映多异瓢虫对蚜虫控制作用的一个重要指标(郭佩佩等, 2022), 本文发现测试的 13 种农药对棉蚜的危害作用大于对多异瓢虫的, 药后 14 d 13 个处理小区多异瓢虫/棉蚜益害比均显著高于对照组, 这与李娜等(2021)的研究结果类似。因此, 在调查日期内施用本研究选用的 13 种农药不会降低处理小区多异瓢虫对棉蚜的控制作用。氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯处理小区多异瓢虫/棉蚜益害比显著高于其余 10 种农药, 可将其轮换施用, 在短时间内将棉蚜的数量控制在经济阈值以下。同时, 将生物防治与化学防治相结合, 通过持续关注多异瓢虫/棉蚜益害比数值, 利用多异瓢虫对棉蚜进行防治。此外, 若多异瓢虫/棉蚜益害比较低, 可考虑人工助迁适量多异瓢虫使棉蚜数量持续被控制(李艳兵等, 2022)。以上措施可减少棉蚜的抗药性及农药对多异瓢虫的危害。

农药价格是农民选择施药种类的主要因素(王建华等, 2013), 氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯单价较高, 农民接受度不高(张谦等, 2022), 这是影响它们应用于棉蚜防治的重要原因。呋虫胺等农药价格相对较低, 更受农民的喜爱, 但氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯较呋虫胺对棉蚜的防治效果好且持效期长, 其施用一次的防治效果可能相当于施用呋虫胺两

次。因此,以不同种类农药作为因素,每公顷施药成本/每公顷棉花产量作为评价指标,挑选出经济效益较高的农药应用于棉蚜的实际防治中有待探究。同时,农药在防治害虫过程中所造成的生态代价也需考量(门兴元等,2020)。

综上所述,本文以农药对棉蚜的防治效果、多异瓢虫安全性和处理小区多异瓢虫种群数量的变化为切入点,在符合害虫综合管理策略 IPM 前提下,筛选出氟啶虫胺胍、氟啶虫酰胺和双丙环虫酯等农药对棉蚜的防治效果较好,对多异瓢虫幼虫安全性较高、对成虫种群数量影响较小且多异瓢虫/棉蚜益害比较高。同时,对本文后续相关的研究内容进行了阐述,以期使施药者能够更加科学、全面的选择所施用农药的种类以及用量。

参考文献 (References)

- Bai XN, Li YS, Yang M, Wang YY, 2020. New pesticides registered in China in 2019. *Agrochemicals*, 59(3): 157–165. [白小宁, 李友顺, 杨锚, 王以燕, 2020. 2019 年我国登记的新农药. *农药*, 59(3): 157–165.]
- Gaber A, Abd-Ella AA, Abou-Elhagag G, Abdel-Rahman Y, 2015. Field efficiency and selectivity effects of selected insecticides on cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) and its predators. *Journal of Phytopathology and Pest Management*, 2(1): 22–35.
- Gong YH, Shi XY, Desneux N, Gao XW, 2016. Effects of spirotetramat treatments on fecundity and carboxylesterase expression of *Aphis gossypii* Glover. *Ecotoxicology*, 25(4): 655–663.
- Guo PP, Patima W, Ren HH, Tuersunayi A, Ma DY, 2022. Influence of releasing *Hippodamia variegata* at different natural enemy/pest ratios on the control and colonization of *Aphids craccivora* on cowpea in protected cultivation. *Chinese Journal of Biological Control*, 38(2): 312–320. [郭佩佩, 帕提玛·乌木尔汗, 任豪辉, 图尔荪阿依·艾散, 马德英, 2022. 释放不同益害比多异瓢虫对设施豇豆豆蚜的防效及定殖影响. *中国生物防治学报*, 38(2): 312–320.]
- Hu D, Zhang H, Luo JC, Li YP, 2019. Study on occurrence dynamics of *Aphis gossypii* and botanical pesticide control technology in Hexi Corridor Region. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 56(1): 38–45. [胡迪, 张宣, 罗进仓, 南宏宇, 李怡萍, 2019. 河西走廊地区棉蚜发生动态及植物源农药药效分析. *新疆农业科学*, 56(1): 38–45.]
- Huang QC, Dai CC, Zhang JP, Chen J, Lu YH, 2021. Toxicities of 21 pesticides against major cotton insect pests and their safety to variegated ladybird *Hippodamia variegata* in Xinjiang. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 1114–1124. [黄庆超, 戴长春, 张建萍, 陈静, 陆宴辉, 2021. 21 种化学药剂对新疆棉田主要害虫毒力及对多异瓢虫的安全性. *植物保护学报*, 48(5): 1114–1124.]
- Huang QC, 2020. Determination of toxicity of insecticides to main pests in cotton field and safety evaluation of *Hippodamia variegata* (Goeze). Master dissertation. Shihezi: Shihezi University. [黄庆超, 2020. 杀虫剂对棉田主要害虫毒力测定及多异瓢虫安全性评价. 硕士学位论文. 石河子: 石河子大学.]
- Isikber AA, 2005. Functional response of two coccinellid predators, *Scymnus levaillanti* and *Cycloneda sanguinea*, to the cotton aphid, *Aphis gossypii* Turkish. *Journal of Agriculture and Forestry*, 29(5): 347–355.
- Jiang H, Wu HX, Chen JJ, Tian YQ, Zhang ZX, Xu HH, 2019. Sulfoxaflor applied via drip irrigation effectively controls cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover). *Insects*, 10(10): 345.
- Jiang WL, Ma YJ, Wang CY, Wang D, Song XP, Zhang ZX, Ma Y, 2019. The control effect of four insecticides on *Aphis gossypii* in three areas. *China Plant Protection*, 39(2): 75–78. [姜伟丽, 马亚杰, 王春义, 王丹, 宋贤鹏, 张职显, 马艳, 2019. 4 种杀虫剂对 3 个地区棉蚜的防治效果. *中国植保导刊*, 39(2): 75–78.]
- Jiang Y, Song BM, Chen X, Li HB, Wang DM, Ahtam U, Pan HS, 2023a. Regulatory effects of *Glycyrrhiza uralensis* strips on population abundances and biocontrol function of *Hippodamia variegata*. *Cotton Science*, 35(1): 39–50. [姜岩, 宋冰梅, 陈鑫, 李号宾, 王冬梅, 阿克旦·吾外士, 潘洪生, 2023a. 甘草带对棉田多异瓢虫种群发生与控害的调控功能. *棉花学报*, 35(1): 39–50.]
- Jiang Y, Chen X, Song BM, Zhang Y, Chen WN, Pan HS, 2023b. Population dynamics of *Hippodamia variegata* and its behavioral response to three leguminous weeds. *Plant Protection*, 49(1): 254–261. [姜岩, 陈鑫, 宋冰梅, 张宇, 程宛楠, 潘洪生, 2023b. 多异瓢虫在 3 种豆科杂草上的种群动态及其趋性行为反应. *植物保护*, 49(1): 254–261.]
- Jiang Y, Xiu CL, Wang DM, Ding RF, Li HB, Pan HS, Liu XN, 2022a. Effects of six aphid species on the development and reproduction of *Hippodamia variegata* (Goeze). *Chinese Journal of Biological Control*, 38(6): 1427–1434. [姜岩, 修春丽, 王冬梅, 丁瑞丰, 李号宾, 潘洪生, 刘小宁, 2022a. 六种蚜虫对多异瓢虫生长发育和繁殖的影响. *中国生物防治学报*, 38(6):

- 1427–1434.]
- Jiang Y, Xiu CL, Wang DM, Liu J, Pan HS, Liu XN, 2022b. Research progress on biological ecology, conservation and utilization of *Hippodamia variegata* (Goeze). *Chinese Journal of Biological Control*, 38(1): 50–62. [姜岩, 修春丽, 王冬梅, 刘建, 潘洪生, 刘小宁, 2022b. 多异瓢虫生物生态学特性及保育利用研究进展. 中国生物防治学报, 38(1): 50–62.]
- Jin GL, 2018. Control effect of insecticides and the synergistic effect of synergists against *Bemisia tabaci*. Master dissertation. Urumqi: Xinjiang Agricultural University. [靳改龙. 2018. 杀虫剂对烟粉虱的防效及增效剂增效作用研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆农业大学.]
- Jing LL, Chai JF, Zhao BR, Tian XX, Hong B, Jia YX, 2021. Synergistic effect of three kinds of spray adjuvants mixed with three kinds of pesticides on *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 258(5): 1166–1175. [景亮亮, 柴军发, 赵斌荣, 田晓曦, 洪波, 贾彦霞, 2021. 三种喷雾助剂与杀虫剂混配防治烟粉虱的减量增效作用. 应用昆虫学报, 258(5): 1166–1175.]
- Kim JJ, 2007. Influence of *Lecanicillium attenuatum* on the development and reproduction of the cotton aphid, *Aphis gossypii*. *BioControl: Journal of the International Organization for Biological Control*, 52(6): 789–799.
- Kong Y, Liu DR, Xu Y, Wu XB, Gao DL, Zhuang ZX, Chen YJ, 2021. Current situation and prospect of research and development of flufenapyr. *Shandong Chemical Industry*, 50(13): 70–72. [孔月, 刘定蓉, 徐英, 吴希宝, 高德良, 庄占兴, 程圆杰, 2021. 氟啶虫胺肟研究开发现状与展望. 山东化工, 50(13): 70–72.]
- Koo HN, Lee SW, Yun SH, Kim HK, Kim GH, 2015. Feeding response of the cotton aphid, *Aphis gossypii*, to sublethal rates of flonicamid and imidacloprid. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 154(2): 110–119.
- Kou H, Sun YC, Dong ZK, Zhang ZY, 2021. Comparison between sustained effects of spray and injection thiamethoxam on apple aphids and non-target insects in apple orchard. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207: 111307.
- Kumar K, McKenzie CL, Osborne LS, 2018. Effect of foliar application of afidopyropen on *Bemisia tabaci* and *Amblyseius swirskii*. *Arthropod Management Tests*, 43(1): 1–2.
- Li N, Liu B, Lu YH, 2021. Effects of sulfoxaflor on *Aphis gossypii* and natural enemies in Xinjiang cotton field. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 58(11): 2062–2068. [李娜, 刘冰, 陆宴辉, 2021. 氟啶虫胺肟对新疆棉田棉蚜及其天敌种群的影响. 新疆农业科学, 58(11): 2062–2068.]
- Li YB, Guo XH, Nuershiwake A, Patima W, Ma DY, 2022. Effects of artificial migration of *Harmonia axyridis* and chemical control on the control effect of cotton aphid and the population dynamics of natural enemies. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 59(5): 1173–1179. [李艳兵, 郭小虎, 努尔什瓦克·阿达力别克, 帕提玛·乌木尔汗, 马德英, 2022. 人工助迁多异瓢虫和化防 2 种模式对棉蚜的防效及天敌种群动态影响. 新疆农业科学, 59(5): 1173–1179.]
- Liang Y, Zhang S, Shao ZR, Gao XW, 2013. Insecticide resistance in and chemical control of the cotton aphid, *Aphis gossypii* (Glover). *Plant Protection*, 39(5): 70–80. [梁彦, 张帅, 邵振润, 高希武, 2013. 棉蚜抗药性及其化学防治. 植物保护, 39(5): 70–80.]
- Lin J, Xu JC, Ma LL, Yan TY, Yin CX, Lv X, Gao P, 2021. Establish real-time monitoring models of cotton aphid quantity based on different leaf positions in cotton seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(1): 1–10.
- Liu JM, Liu B, Wang PL, Lu YH, 2021. Toxicity of three botanical insecticides to *Aphis gossypii* and their selectivity to *Hippodamia variegata*. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 58(11): 2069–2076. [刘佳美, 刘冰, 王佩玲, 陆宴辉, 2021. 植物源杀虫剂对棉蚜毒力及多异瓢虫的安全性评价. 新疆农业科学, 58(11): 2069–2076.]
- Ma KS, Tang QL, Ling PZ, Li JH, Gao XW, 2022. A sublethal concentration of afidopyropen suppresses the population growth of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Integrative Agriculture*, 21(7): 2055–2064.
- Ma KS, Wang JH, Jie XP, Gao XW, 2021. Status and management strategies of neonicotinoid insecticide resistance in *Aphis gossypii* Glover. *Journal of Plant Protection*, 48(5): 947–957. [马康生, 王静慧, 解晓平, 高希武, 2021. 棉蚜对新烟碱类杀虫剂的抗性现状及其治理策略. 植物保护学报, 48(5): 947–957.]
- Ma YJ, Hu HY, Ma XY, Ren XL, Jang WL, Song XP, Ma Y, 2019. Efficacy of nine kinds of neonicotinoid insecticide to control cotton aphid. *China Cotton*, 46(3): 25–27, 30. [马亚杰, 胡红岩, 马小艳, 任相亮, 姜伟丽, 宋贤鹏, 马艳, 2019. 9 种烟碱类杀虫剂对棉蚜的防治效果研究. 中国棉花, 46(3): 25–27, 30.]
- Men XY, Li LL, Oou YF, Zhang QQ, Lu ZB, Li C, Ge F, 2020. Ecological and economic threshold (EET) and its estimation method. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57 (1): 214–217. [门兴元, 李丽莉, 欧阳芳, 张晴晴, 卢增斌, 李超, 戈峰, 2020. 害虫防治的生态经济阈值及其估算方法. 应用昆虫学报, 57 (1): 214–217.]
- Mohamad SFS, Mohamad S, Aziz AA, 2013. The susceptibility of

- aphids, *Aphis gossypii* Glover to lauric acid based natural pesticide. *Procedia Engineering*, 20(53): 20–28.
- National Bureau of Statistics of China, 2021. Announcement of the national bureau of statistics on cotton production in 2021. China Information News, 2021-12-15(001). [国家统计局, 2021, 国家统计局关于 2021 年棉花产量的公告. 中国信息报, 2021-12-15(001).]
- Nan J, Liu B, Lu YH, 2022. Effects of afidopyropen on the life parameters, predatory function and flight ability of variegated ladybird *Hippodamia variegata*. *Journal of Plant Protection*, 49(6): 1799–1808. [南杰, 刘冰, 陆宴辉, 2022. 双丙环虫酯对多异瓢虫生命参数、捕食功能与飞行能力的影响. 植物保护学报, 49(6): 1799–1808.]
- Nawaz A, Razzaq F, Razzaq A, Gogi MD, Fernández-Grandon GM, Tayib M, Ayub MA, Sufyan M, Shahid MR, Qayyum MA, Naveed M, Ijaz A, Arif M, 2022. Compatibility and synergistic interactions of fungi, *Metarhizium anisopliae*, and insecticide combinations against the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Scientific Reports*, 12(1): 4843.
- Pan HS, Jiang YY, Wang PL, Liu J, Lu YH, 2018. Research progress in the status evolution and integrated control of cotton pests in Xinjiang. *Plant Protection*, 44(5): 42–50. [潘洪生, 姜玉英, 王佩玲, 刘建, 陆宴辉, 2018. 新疆棉花害虫发生演替与综合治理研究进展. 植物保护, 44(5): 42–50.]
- Pan Y, Yang C, Gao XW, Peng TF, Bi R, Xi JH, Xin XC, Zhu E, Wu YQ, Shang QL, 2015. Spirotetramat resistance adaption analysis of *Aphis gossypii* Glover by transcriptomic survey. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 124: 73–80.
- Pantima W, Abolizi T, Ma DY, 2021. Effects of neonicotinoids insecticides on adult of *Hippodamia variegata* (Goeze). *Agrochemicals*, 60(11): 816–820. [帕提玛·乌木尔汗, 阿卜力孜·塔伊尔, 马德英, 2021. 新烟碱类杀虫剂对多异瓢虫成虫的影响. 农药, 60(11): 816–820.]
- Pantima W, Jiang Y, Ma DY, 2020. Effects of exposure to imidacloprid direct and poisoned cotton aphids *Aphis gossypii* on ladybird *Hippodamia variegata* feeding behavior. *Journal of Pesticide Science*, 45(1/2): 24–28.
- Peng J, Ma Y, Ma XY, Xi JP, Ma YJ, Li XF, 2010. Substitute varieties and application technology of high toxic pesticides in cotton field. *China Cotton*, 2010, 37(2): 27–30. [彭军, 马艳, 马小艳, 奚建平, 马亚杰, 李希风, 2010. 棉田高毒农药替代品种及使用技术. 中国棉花, 37(2): 27–30.]
- Rahmani S, Bandani AL, 2016. Pirimicarb, an aphid selective insecticide, adversely affects demographic parameters of the aphid predator *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Plant Protection Research*, 56(4): 353–363.
- Ren ZJ, Qin M, Guo YW, Li YP, Zhao Q, Wang FL, Zhang S, 2022. Monitoring report and control measures of national agricultural pesticide resistance in 2021 (wheat, cotton, vegetables section). *China Plant Protection*, 42(4): 68–73. [任宗杰, 秦萌, 郭永旺, 李永平, 赵清, 王凤乐, 张帅, 2022. 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). 中国植保导刊, 42(4): 68–73.]
- Saini DP, Kalyan RK, Ramesh BS, Meena BM, 2017. Field efficacy of ready mix formulations of carbosulfan + bifenthrin 30 EC against sucking pests of cotton. *Indian Journal of Plant Protection*, 45(3): 239–245.
- Shi DD, Liang PZ, Zhang L, Lv HX, Gao XW, You H, Ma KS, 2022. Susceptibility baseline of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) to the novel insecticide afidopyropen in China. *Crop Protection*, 151: 105834.
- Skouras J, Stathas GJ, Demopoulos V, Louloudakis G, Margaritopoulos, 2019. The effect of five insecticides on the predators *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia variegata*. *Phytoparasitica*, 47(2): 197–205.
- Soleimani S, Madadi H, 2015. Seasonal dynamics of: The pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Harris), its natural enemies the seven spotted lady beetle *Coccinella septempunctata* Linnaeus and variegated lady beetle *Hippodamia variegata* Goeze, and their parasitoid *Dinocampus coccinellae* (Schränk). *Journal of Plant Protection Research*, 55(4): 421–428.
- Somar RO, Zamani AA, Alizadeh M, 2019. Joint action toxicity of imidacloprid and pymetrozine on the melon aphid, *Aphis gossypii*. *Crop Protection*, 124: 104850.
- Sun XL, Chen W, Yang QY, Liu CZ, 2016. Virulence and sublethal effects of three insecticides to *Hippodamia variegata*. *Acta Agrestia Sinica*, 24(5): 1094–1099. [孙小玲, 陈威, 杨巧燕, 刘长仲, 2016. 三种杀虫剂对多异瓢虫的毒力及亚致死效应. 草地学报, 24(5): 1094–1099.]
- Wang HH, Zhang CJ, Liu MM, Zhu P, Xue CB, 2019. Toxicities and synergy effects of sulfoxaflor and other ten insecticides against *Aphis gossypii* Glover. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 21(2): 181–186. [王欢欢, 张春姣, 刘梦铭, 朱鹏, 薛超彬, 2019. 氟啶虫胺腈等 11 种杀虫剂对瓜蚜的毒力及协同增效作用. 农药学报, 21(2): 181–186.]
- Wang JH, Wu LH, 2013. Study on the main factors affecting farmers' pesticide application behavior based on the survey data of 986 farmers in five provinces of China // Public Management Sub-Conference Thesis Collection of the 8th China management

- annual conference. Beijing: 222–232. [王建华, 吴林海, 2013. 影响农户农药施用行为主要因素的研究——基于全国五省 986 个农户的调查数据// 第八届中国管理学年会——公共管理分会场论文集. 北京: 222–232.]
- Wang L, Cui L, Wang Q, Chang YP, Huang WL, Rui CH, 2022. Sulfoxaflor resistance in *Aphis gossypii*: resistance mechanism, feeding behavior and life history changes. *Journal of Pest Science*, 95: 811–825.
- Wang W, Yao J, Li HB, 2008. Predatory functional responses of *Aphis gossypii* by three ladybugs. *Chinese Journal of Biological Control*, 24(S1): 15–20. [王伟, 姚举, 李号宾, 2008. 棉田三种瓢虫对棉蚜的捕食功能反应. 中国生物防治, 24(S1): 15–20.]
- Wang ZQ, 2021. Effects of low concentrations of sulfoxaflor and imidacloprid on longevity, fecundity, predation function and flight potential of *Hippodamia variegata*. Master dissertation. Haerbin: Northeast Agricultural University. [王泽群, 2021. 低浓度氟啶虫胺胍与吡虫啉对多异瓢虫成虫寿命繁殖、捕食功能、飞行潜力的影响. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北农业大学.]
- Watson GB, Siebert MW, Wang NX, Loso MR, Sparks TC, 2021. Sulfoxaflor - a sulfoximine insecticide: review and analysis of mode of action, resistance and cross-resistance. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 178: 104924.
- Wu JL, Feng HZ, Ma XY, Wang L, Zhang YL, Wu G, 2020. Screening of fly control agents for cotton aphid in cotton fields in Xinjiang and preliminary report of pesticide reduction and efficiency improvement. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 57(1): 167–172. [吴金龙, 冯宏祖, 马小艳, 王兰, 张亚林, 武刚, 2020. 棉田棉蚜飞防药剂筛选及农药减量增效药效分析. 新疆农业科学, 57(1): 167–172.]
- Xie T, Jing LL, Zhang XX, Zhang Y, Ma Y, Jiang L, Wang XP, Jia YX, 2020. Compatibility of 8 common pesticides with *Lecanicillium lecanii* JMC-01 and the toxicity of different pesticide-*L. lecanii* combinations toxicity to *Bemisia tabaci* nymphs. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(3): 682–689. [谢婷, 景亮亮, 张晓霞, 张英, 马跃, 姜灵, 王新谱, 贾彦霞, 2020. 八种常用农药与蜡蚧轮枝菌 JMC-01 的相容性及对烟粉虱若虫的毒力测定. 应用昆虫学报, 57(3): 682–689.]
- Yang ZH, Tian H, 2020. Design, synthesis and biological activity of flonicamid derivatives. *World Pesticide*, 42(4): 50–53. [杨子辉, 田昊, 2020. 氟啶虫酰胺衍生物的设计合成与生物活性. 世界农药, 42(4): 50–53.]
- Yao J, Ji H, Wang D, Sun SL, Zhang YS, 2005. Study on predation of *Aphis gossypii* by adult *Hippodamia variegata*. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 48(4): 262–264. [姚举, 姬华, 王东, 孙世龙, 张云胜, 2005. 棉田优势天敌多异瓢虫成虫对棉蚜捕食功能的研究. 新疆农业科学, 48(4): 262–264.]
- Zhang Q, Wang SL, Li JF, Wang Y, Feng GY, Dong M, Liu YZ, Liang QL, 2022. Comparison of control effects of different insecticides on cotton seeding aphids. *Agrochemicals*, 61(10): 756–758, 780. [张谦, 王树林, 李金霏, 王燕, 冯国艺, 董明, 林永增, 梁青龙, 祁虹, 2022. 几种杀虫药剂对棉花苗蚜的田间防效比较. 农药, 61(10): 756–758, 780.]
- Zhang Q, Wang Y, Huang SS, Dong M, Feng GY, Wang YQ, Liu X, Liang QL, Liu YZ, Qi H, Wang SL, 2021. Effects of synergist on reduction and synergism of two common nicotine insecticides to control cotton aphids. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 58(8): 1435–1440. [张谦, 王燕, 黄山松, 董明, 冯国艺, 王永强, 刘旭, 梁青龙, 林永增, 祁虹, 王树林, 2021. 增效剂对常用烟碱类杀虫剂防治棉蚜的减量增效作用. 新疆农业科学, 58(8): 1435–1440.]
- Zhang XX, Zheng DC, Liu W, Wang YZ, Fang WZ, 2020. Toxicity test and field control effect of different pesticides against on *Rhopalosiphum maidis* (Fitch). *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 43(5): 27–31. [张晓翔, 郑德春, 刘微, 王永志, 范文忠, 2020. 不同药剂防治玉米蚜室内毒力及田间药效试验. 黑龙江农业科学, 43(5): 27–31.]
- Zhao PC, Li Y, Yan WJ, Zhang YD, Wu N, Wang JG, 2018. Sensitivity of different geographical populations of *Aphis gossypii* (Glover) in Xinjiang to different insecticides. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 36(2): 159–163. [赵鹏程, 李焱, 闫文静, 张玉栋, 吴娜, 王俊刚, 2018. 新疆棉蚜不同地理种群对杀虫剂的敏感性. 石河子大学学报(自然科学版), 36(2): 159–163.]
- Zhong X, Yang YZ, Feng P, Ma QQ, Su Q, Wang XP, Zhang JM, 2022. Transcriptomic profiling of cotton leaves in response to cotton aphid damage. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44(10): 98.