山东农业大学学报(自然科学版),2026,57(4):741-749 VOL.57 NO.4 2026
Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition) doi:10.3969/j.issn.1000-2324.2026.04.015

新疆棉蚜田间种群对6种药剂的抗性检测

谢 盼[1],王思妍[1],李红月[1],高雯雯[1],李紫英[2],丁佳琪[1],冯蓓蓓[1],谢 新[3],沙帅帅[1*]

1. 喀什大学,南疆作物生物育种与智慧栽培研究中心,新疆 喀什 844000
2. 塔里木大学,塔里木盆地生物资源保护利用兵团重点实验室,新疆 阿拉尔 843300
3. 新疆生产建设兵团第三师图木舒克市农业发展服务中心,新疆 图木舒克市 844000

摘 要: 为掌握新疆喀什地区棉蚜(*Aphis gossypii* Glover)田间种群对常用杀虫剂的抗性现状,于棉花生长季在岳普湖县、巴楚县、伽师县、麦盖提县、莎车县和喀什市采集棉蚜田间种群,采用叶片浸渍法测定其对高效氯氟氰菊酯、联苯菊酯、啶虫脒、吡虫啉、毒死蜱和阿维菌素的毒力及抗性倍数。结果表明,喀什市种群对吡虫啉为中抗(RR=10.16),巴楚、伽师、麦盖提县种群为低抗,岳普湖和莎车县种群为敏感;对啶虫脒,6个种群均敏感。伽师县种群对毒死蜱为中抗(RR=12.29),麦盖提县为低抗,巴楚和莎车县为耐药,其余均敏感。部分地区种群对拟除虫菊酯类出现耐药至低抗,如伽师、巴楚县对高效氯氟氰菊酯的RR分别为4.01和3.72;莎车、巴楚县对联苯菊酯的RR分别为8.10和5.14。对阿维菌素,喀什市与莎车县表现出耐药,其余均敏感。总之,喀什地区棉蚜田间种群已普遍对多种药剂产生低至中抗水平,需依据区域抗性差异,制定轮换用药策略,并结合绿色防控措施延缓抗性发展。

关键词: 喀什地区;棉蚜;杀虫剂;抗性检测;田间种群;抗药性

中图法分类号: S435.622+.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2324(2026)04-0741-09

Resistance Detection of Cotton Aphid (*Aphis gossypii* Glover) Field Populations to Six Insecticides in Xinjiang

XIE Pan[1], WANG Si-yan[1], LI Hong-yue[1], GAO Wen-wen[1], LI Zi-ying[2], DING Jia-qi[1], FENG Bei-bei[1], XIE Xin[3], SHA Shuai-shuai[1*]

1. *Kashi University,Southern Xinjiang Research Center for Crop Bio-Breeding and Smart Cultivation, Kashi 844000,China*
2. *Tarim University,Key Laboratory of Integrated Pest Management in Southern Xinjiang Corps , Alar 843300,China*
3. *Agricultural Development Service Center,Third Division of Xinjiang Production and Construction Corps,Tumushuke 844000,China*

Abstract: To understand the current resistance status of field populations of cotton aphids *(Aphis gossypii* Glover) to commonly used insecticides in the Kashi region of Xinjiang, this study collects field populations of cotton aphids during the cotton growing season in Yuepuhu County, Bachu County, Jiashi County, Maigaiti County, Shache County, and Kashi City. It uses the leaf-dip method to determine their toxicity and resistance ratios to beta-cypermethrin, bifenthrin, acetamiprid, imidacloprid, chlorpyrifos, and abamectin. The results indicate that the population in Kashi City exhibits moderate resistance to imidacloprid (RR=10.16), while the populations in Bachu, Jiashi, and Maigaiti Counties show low resistance, and those in Yuepuhu and Shache Counties remain sensitive. For acetamiprid, all six populations are susceptible. The Jiashi County population displays moderate resistance to chlorpyrifos (RR=12.29), while the Markit County population exhibits low resistance. The Bachu and Shache County populations are resistant, and the rest remain sensitive. Some regional populations demonstrate tolerance to low resistance against pyrethroids. For example, Jiashi and Bachu Counties have RR values of 4.01 and 3.72, respectively. For bifenthrin, Yarkant and Bachu Counties show RR values of 8.10 and 5.14. For abamectin, the Kashgar City and Shache County populations show tolerance, while the remaining populations are sensitive. In summary, field populations of cotton aphids in the Kashi region have generally developed low to moderate resistance to multiple pesticides. It is necessary to formulate a rotation strategy based on regional resistance differences and integrate green control measures to delay the development of resistance.

Keywords: Kashi region; cotton aphid; insecticide; resistance detection; field population; insecticide resistance

收稿日期: 2025-08-13 **修回日期:** 2026-06-19

基金项目: 喀什地区棉蚜抗药性监测及精准防控关键技术研发与示范(KS2024002);喀什地区棉蚜种群动态调查及棉蚜抗药性监测(S202510763046);喀什大学引进人才启动经费(GCC2023ZK-007)

第1作者简介: 谢 盼(1989-),女,硕士研究生,研究方向:植物保护学。E-mail:panxie126@sina.com

***通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:sha_ksu@sina.com

棉蚜(*Aphis gossypii* Glover)是棉花生产中的重要害虫,具有极强的繁殖力和适应性[1]。其成虫和若虫群集为害棉花幼嫩部位,刺吸汁液导致叶片卷曲、植株发育不良,严重时引起幼苗萎蔫甚至枯死。此外,棉蚜分泌的蜜露易诱发煤污病,黑色霉层覆盖叶片,阻碍光合作用,严重影响棉花的产量和品质[2,3]。目前,化学防治仍是控制棉蚜的核心手段[4]。然而,由于棉蚜发生量大、世代周期短,加上田间化学农药的不合理使用,导致其对有机磷类、拟除虫菊酯类、氨基甲酸酯类等药剂在多地失效,严重威胁棉花产业的可持续性[5]。因此,系统评估不同作用机制杀虫剂的毒力效应,是制定抗性治理策略、延长药剂使用寿命和保障棉花安全生产的关键环节。

我国棉蚜抗药性问题由来已久,早在20世纪60年代就有棉蚜对有机磷农药产生高倍抗性的报道[6]。此后,各地陆续发现棉蚜种群对有机磷类杀虫剂产生不同程度的抗性[5]。特别是在新疆棉区,棉蚜抗药性动态备受关注。罗万春等[7]于1990年首次对新疆棉蚜的抗药性进行了监测。2011至2012年间,郭天凤[8]的研究显示,新疆棉蚜种群对多种新烟碱类杀虫剂产生了不同程度的抗药性,其中南疆地区的抗性水平显著超过北疆。赵鹏程等[9]对新疆不同区域棉蚜的监测也表明,棉蚜对吡虫啉和啶虫脒呈现一定抗药性。帕提玛•乌木尔汗等[10]对新疆6个地区棉蚜田间种群的研究表明,棉蚜对拟除虫菊酯类和有机磷类杀虫剂已普遍产生极高水平的抗性,而对新烟碱类、阿维菌素类和氨基甲酸酯类杀虫剂则表现出中等至高水平的抗性。Gul等[11]通过对采自新疆棉田的棉蚜连续施药筛选发现,其对联苯菊酯的抗性水平可达129.18倍。Chen等[12]的研究表明,中国Bt棉主产区的田间棉蚜已对高效氯氟氰菊酯产生了极高水平的抗性。石丹丹[13]在湖北、河南和湖南3省系统监测了15个瓜蚜田间种群的抗性水平,发现部分种群对高效氯氟氰菊酯的抗性达到中等水平(RR=16.96~47.38倍)。张帅等[3]的研究也证实,在新疆沙湾地区棉蚜对溴氰菊酯和吡虫啉已表现出高抗性,而对双丙环虫酯、氟啶虫酰胺等新型药剂仍保持较高敏感性,可作为抗性治理的轮换药。综上,系统开展棉蚜抗药性监测,对制定科学防治策略和延缓抗药性发展具有重要意义。然而,目前关于新疆喀什地区棉蚜田间种群对各类常用杀虫剂的系统抗性检测数据仍属空白。

为此,本研究选取喀什地区6个主要产棉县市(岳普湖县、巴楚县、伽师县、麦盖提县、莎车县和喀什市)的棉蚜田间种群,测定了它们对拟除虫菊酯类(高效氯氟氰菊酯、联苯菊酯)、新烟碱类(啶虫脒、吡虫啉)、大环内酯类(阿维菌素)和有机磷类(毒死蜱)等6种常用杀虫剂的毒力水平,并计算抗性倍数进行抗药性分级评估,以期为喀什棉区棉蚜的抗药性治理和合理用药提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试棉蚜田间种群于2025年6-7月分别采集自新疆喀什地区岳普湖县、巴楚县、伽师县、麦盖提县、莎车县和喀什市的棉田。将田间采集的棉蚜接在室内种植的棉苗上(品种:塔河2号),在温度25±1 ℃、相对湿度70%±10%、光周期L∶D=16∶8 h的人工气候室内繁育2-3代后,用于抗药性测定[14,15]。敏感群体采自喀什大学现代农学院棉花试验田,该田块长期未施用杀虫剂。采集后在相同条件下饲养,不接触任何药剂。

1.2 供试药源

供试药剂均为原药,包括97%高效氯氟氰菊酯(由上海阿达玛斯试剂有限公司提供)、98%联苯菊酯、90%阿维菌素、97%啶虫脒、97%吡虫啉、97%毒死蜱(由北京普西唐生物科技有限公司提供)。

1.3 试验方法

采用叶片浸渍法测定各药剂对棉蚜的生物活性[16],并略作修改。以丙酮为溶剂,将高效氯氟氰菊酯、联苯菊酯、阿维菌素、啶虫脒、吡虫啉和毒死蜱原药分别配制成1 000 mg/L的母液。参照预试验结果,使用含0.1%(V/V)吐温-80的水溶液将各母液等比稀释为5个浓度梯度。

选取健康、大小一致的棉花叶片(第3片真叶),用镊子夹持叶片浸入相应浓度药液中10 s,确保叶片完全浸没。取出后置于无菌滤纸上自然阴干,再将阴干叶片背面向上放置于铺有湿润滤纸的培养皿中。随后,用湿润的0号毛笔挑取

表1 各药剂浓度梯度设置

Table 1 Concentration gradient settings of each agent

药剂名称 Insecticide name	浓度梯度/(mg/L) Concentration gradient
吡虫啉 Imidacloprid	1、2、4、8、16
啶虫脒 Acetamiprid	0.5、1、2、4、8
毒死蜱 Chlorpyrifos	1、2、4、8、16
高效氯氟氰菊酯 Beta-cypermethrin	32、64、128、256、512
联苯菊酯 Bifenthrin	8、16、32、64、128
阿维菌素 Abamectin	0.125、0.25、0.5、1、2

活力强、体型一致的无翅成蚜，每片叶片接入30头。用保鲜膜覆盖培养皿口，并用0号昆虫针在保鲜膜上均匀刺孔以保证通气。将处理好的培养皿置于人工培养箱中饲养。每个处理浓度设3次重复，并以含0.1%吐温−80的水溶液作为空白对照。在处理后24 h检查棉蚜存活状态，记录死亡个体数。棉蚜的死亡判定标准为：附肢无自主运动，且用细毛笔轻触虫体无任何反应[17]。

1.4　数据处理

使用Microsoft Excel 2021统计各处理棉蚜的死亡率，并依据空白对照计算校正死亡率。采用SPSS 27软件计算不同杀虫剂对棉蚜田间种群的LC_{50}值及95%置信区间。参照文献确立的抗性分级标准，将抗性倍数(RR)划分为6个等级：RR<3为敏感水平，3≤RR<5为耐药水平，5≤RR<10为低抗水平，10≤RR<40为中抗水平，40≤RR<160为高抗水平，RR≥160为极高抗水平[18,19]。

死亡率(%)=(死亡虫数÷处理总虫数)× 100

校正死亡率(%)=[(处理组死亡率-对照组死亡率)÷(1-对照组死亡率)]× 100

抗性倍数(RR)=田间种群LC_{50}÷室内敏感种群LC_{50}

为直观展示不同地区棉蚜种群在各类药剂上的抗性差异，基于表2-7所得抗性倍数(RR)数据，使用Python(seaborn包)绘制热图。

2　结果与分析

2.1　不同地区棉蚜田间种群对吡虫啉的抗性水平

由表2可知，喀什地区不同棉蚜田间种群对吡虫啉的LC_{50}在2.037-14.890 mg/L之间。棉蚜种群对吡虫啉的抗性以喀什市种群最高，LC_{50}和抗性倍数分别为14.890 mg/L和10.16倍，达到中抗水平；巴楚县、伽师县和麦盖提县种群为低抗水平；岳普湖县种群的抗性最低，LC_{50}和抗性倍数分别为2.037 mg/L和1.39倍，岳普湖县和莎车县种群对吡虫啉的抗性处于敏感水平。各地区种群抗性高低顺序为喀什市＞麦盖提县＞伽师县＞巴楚县＞莎车县＞岳普湖县。

表2 不同地区棉蚜种群对吡虫啉的抗性

Table 2 Resistance of field populations of *Aphis gossypii* to imidacloprid in different regions

种群 Population	回归方程 Regression equation	LC_{50}/(mg/L)	95%置信区间/(mg/L) 95%Confidence limits	卡方 χ^2	抗性倍数 Resistance factor
敏感种群 Susceptible population	y=−0.242+1.459x	1.465	1.140-1.881	4.526	-
岳普湖县 Yuepuhu County	y=−0.462+1.496x	2.037	1.593-2.604	2.017	1.39
巴楚县 Bachu County	y=−0.944+1.083x	7.432	3.829-16.318	5.389	5.07
伽师县 Jiashi County	y=−0.986+1.103x	7.825	5.800-10.792	3.895	5.34
麦盖提县 Maigaiti County	y=−1.230+1.179x	11.053	8.243-15.260	5.038	7.54
莎车县 Shache County	y=−0.612+1.498x	2.563	2.007-3.218	4.534	1.75
喀什市 Kashi City	y=−1.728+1.473x	14.890	11.522-19.663	1.479	10.16

2.2 不同地区棉蚜田间种群对啶虫脒的抗性水平

由表3可知，喀什地区不同棉蚜田间种群对啶虫脒的LC_{50}值在11.984-26.752 mg/L之间。棉蚜种群对啶虫脒的抗性以喀什市种群最高，LC_{50}和抗性倍数分别为26.752 mg/L和2.39倍，其次为莎车县、伽师县、麦盖提县和巴楚县种群，岳普湖县种群的抗性最低，LC_{50}和抗性倍数分别为11.984 mg/L和1.07倍；6个地区棉蚜种群对啶虫脒的抗性均处于敏感水平。各地区种群抗性高低顺序为喀什市＞莎车县＞伽师县＞麦盖提县＞巴楚县＞岳普湖县。

2.3 不同地区棉蚜田间种群对毒死蜱的抗性水平

由表4可知，喀什地区不同棉蚜田间种群对毒死蜱的LC_{50}在2.355-15.994 mg/L之间。棉蚜种群对毒死蜱的抗性以伽师县种群最高，LC_{50}和抗性倍数分别为15.994 mg/L和12.29倍，处于中抗水平；其次为麦盖提县，LC_{50}和抗性倍数分别为9.614 mg/L和7.39倍，处于低抗水平；巴楚县和莎车县种群处于耐药水平；喀什市和岳普湖县种群的抗性均处于敏感水平，LC_{50}和抗性倍数分别为2.763 mg/L、2.355 mg/L和2.12倍、1.81倍。各地区种群抗性高低顺序为伽师县＞麦盖提县＞巴楚县＞莎车县＞喀什市＞岳普湖县。

2.4 不同地区棉蚜田间种群对高效氯氟氰菊酯的抗性水平

由表5可知，喀什地区不同棉蚜田间种群对高效氯氟氰菊酯的LC_{50}在57.297-146.993 mg/L之间。棉蚜种群对高效氯氟氰菊酯的抗性以伽师县种群最高，LC_{50}和抗性倍数分别为146.993 mg/L和4.01倍，其次为巴楚县，LC_{50}和抗性倍数分别为136.344 mg/L和3.72倍，处于耐药水平；岳普湖县种群的抗性最低，LC_{50}和抗性倍数分别为57.297 mg/L和1.56倍，除伽师县和巴楚县外，其余4个地区的抗性均处于敏感水平。各地区种群抗性高低顺序为伽师县＞巴楚县＞喀什市＞莎车县＞麦盖提县＞岳普湖县。

2.5 不同地区棉蚜田间种群对联苯菊酯的抗性水平

由表6可知，喀什地区不同棉蚜田间种群对联苯菊酯的LC_{50}在13.484-107.897 mg/L之间。棉蚜种群对联苯菊酯的抗性以莎车县种群最高，LC_{50}和抗性倍数分别为107.897 mg/L和8.10倍，其次为巴楚县，LC_{50}和抗性倍数分别为68.502 mg/L和5.14倍，处于低抗水平；麦盖提县和喀什市种群处于耐药水平；岳普湖县种群的抗性最低，LC_{50}和抗性倍数分别为13.484 mg/L和1.01倍，伽师县和岳普湖县种群的抗性均处于敏感水平。各地区种群抗性高低顺序为莎车县＞巴楚县＞麦盖提县＞喀什市＞伽师县＞岳普湖县。

表3 不同地区棉蚜种群对啶虫脒的抗性

Table 3 Resistance of field populations of *Aphis gossypii* to acetamiprid in different regions

种群 Population	回归方程 Regression equation	LC_{50}/(mg/L)	95%置信区间/(mg/L) 95%Confidence limits	卡方 χ^2	抗性倍数 Resistance factor
敏感种群 Susceptible population	y=−1.026+0.978x	11.190	7.988-16.397	5.317	-
岳普湖县 Yuepuhu County	y=−1.623+1.505x	11.984	9.337-15.597	0.240	1.07
巴楚县 Bachu County	y=−1.242+1.134x	12.443	9.174-17.481	4.316	1.11
伽师县 Jiashi County	y=−1.014+0.767x	20.976	13.404-36.872	0.516	1.87
麦盖提县 Maigaiti County	y=−1.041+0.903x	14.235	9.851-21.893	0.924	1.27
莎车县 Shache County	y=−1.333+0.990x	22.251	10.020-52.362	6.051	1.99
喀什市 Kashi City	y=−1.506+1.055x	26.752	18.710-41.491	2.696	2.39

表4 不同地区棉蚜种群对毒死蜱的抗性

Table 4 Resistance of field populations of *Aphis gossypii* to chlorpyrifos in different regions

种群 Population	回归方程 Regression equation	LC_{50}/(mg/L)	95%置信区间/(mg/L) 95%Confidence limits	卡方 χ^2	抗性倍数 Resistance factor
敏感种群 Susceptible population	y=−0.157+1.376x	1.301	1.000-1.682	2.936	-
岳普湖县 Yuepuhu County	y=−0.491+1.320x	2.355	1.810-3.069	4.462	1.81
巴楚县 Bachu County	y=−0.688+0.888x	5.944	4.206-8.628	1.812	4.57
伽师县 Jiashi County	y=−1.609+1.336x	15.994	12.141-21.712	0.976	12.29
麦盖提县 Maigaiti County	y=−0.961+0.978x	9.614	6.900-13.908	0.712	7.39
莎车县 Shache County	y=−0.772+1.056x	5.383	3.971-7.397	4.040	4.14
喀什市 Kashi City	y=−0.597+1.353x	2.763	2.133-3.590	5.212	2.12

表5 不同地区棉蚜种群对高效氯氟氰菊酯的抗性

Table 5 Resistance of field populations of *Aphis gossypii* to beta-cypermethrin in different regions

种群 Population	回归方程 Regression equation	LC_{50}/(mg/L)	95%置信区间/(mg/L) 95%Confidence limits	卡方 χ^2	抗性倍数 Resistance factor
敏感种群 Susceptible population	y=−2.188+1.399x	36.635	28.329-47.301	3.194	-
岳普湖县 Yuepuhu County	y=−2.679+1.524x	57.297	44.920-73.134	3.180	1.56
巴楚县 Bachu County	y=−3.142+1.472x	136.344	106.407-175.492	1.023	3.72
伽师县 Jiashi County	y=−3.321+1.533x	146.993	115.333-188.335	1.387	4.01
麦盖提县 Maigaiti County	y=−3.372+1.806x	73.716	59.029-92.316	4.363	2.01
莎车县 Shache County	y=−3.326+1.677x	96.389	76.563-121.628	4.247	2.63
喀什市 Kashi City	y=−2.591+1.305x	96.667	74.130-126.398	1.721	2.64

2.6　不同地区棉蚜田间种群对阿维菌素的抗性水平

由表7可知,喀什地区不同棉蚜田间种群对阿维菌素的LC_{50}在0.590-1.836 mg/L之间。棉蚜种群对阿维菌素的抗性以喀什市种群最高,LC_{50}和抗性倍数分别为1.836 mg/L和3.60倍,其次为莎车县,LC_{50}和抗性倍数分别为1.661 mg/L和3.26倍,处于耐药水平;岳普湖县种群的抗性最低,LC_{50}和抗性倍数分别为0.590 mg/L和1.15倍。除喀什市和莎车县种群外,其余4个地区的抗性均处于敏感水平。各地区种群抗性高低顺序为喀什市>莎车县>麦盖提县>伽师县>巴楚县>岳普湖县。

综上,喀什地区6个县市棉蚜田间种群在不同药剂上的抗性倍数差异明显。为便于整体比较与直观展示,我们基于表2-7的数据绘制了热

表6 不同地区棉蚜种群对联苯菊酯的抗性

Table 6 Resistance of field populations of *Aphis gossypii* to bifenthrin in different regions

种群 Population	回归方程 Regression equation	LC_{50}/(mg/L)	95%置信区间/(mg/L) 95%Confidence limits	卡方 χ^2	抗性倍数 Resistance factor
敏感种群 Susceptible population	y=−1.467+1.304x	13.324	10.215-17.399	2.328	-
岳普湖县 Yuepuhu County	y=−1.548+1.370x	13.484	7.571-24.390	5.331	1.01
巴楚县 Bachu County	y=−2.134+1.162x	68.502	50.761-95.739	1.681	5.14
伽师县 Jiashi County	y=−2.060+1.406x	29.191	22.631-37.915	1.506	2.19
麦盖提县 Maigaiti County	y=−2.053+1.182x	54.488	40.770-74.629	2.839	4.09
莎车县 Shache County	y=−3.004+1.477x	107.897	82.782-145.455	3.390	8.10
喀什市 Kashi City	y=−2.215+1.327x	46.717	35.779-62.020	4.635	3.51

表7 不同地区棉蚜种群对阿维菌素的抗性

Table 7 Resistance of field populations of *Aphis gossypii* to abamectin in different regions

种群 Population	回归方程 Regression equation	LC_{50}/(mg/L)	95%置信区间/(mg/L) 95%Confidence limits	卡方 χ^2	抗性倍数 Resistance factor
敏感种群 Susceptible population	y=0.417+1.428x	0.510	0.362-0.700	0.419	-
岳普湖县 Yuepuhu County	y=0.224+0.967x	0.590	0.366-0.884	3.364	1.15
巴楚县 Bachu County	y=0.159+1.377x	0.766	0.548-1.053	0.314	1.50
伽师县 Jiashi County	y=−0.053+1.345x	1.094	0.787-1.509	3.665	2.15
麦盖提县 Maigaiti County	y=−0.100+1.285x	1.197	0.851-1.662	2.448	2.35
莎车县 Shache County	y=−0.379+1.718x	1.661	1.253-2.202	0.398	3.26
喀什市 Kashi City	y=−0.317+1.203x	1.836	1.297-2.586	2.060	3.60

图(图1),展示了各地区在6种常用杀虫剂上的抗性分布格局。结果表明,喀什市棉蚜在吡虫啉上表现为中抗,而岳普湖与莎车县仍保持敏感;伽师和巴楚县在菊酯类药剂上的抗性相对较高;喀什市与莎车县则在阿维菌素上表现出耐药迹象。

3 讨论

在棉蚜防治过程中,由于杀虫剂的不合理使用,导致棉蚜种群敏感性普遍下降,防控难度显著增加[20]。系统评估田间种群对不同药剂的抗性水平,是制定科学、有效防治策略的基础。本

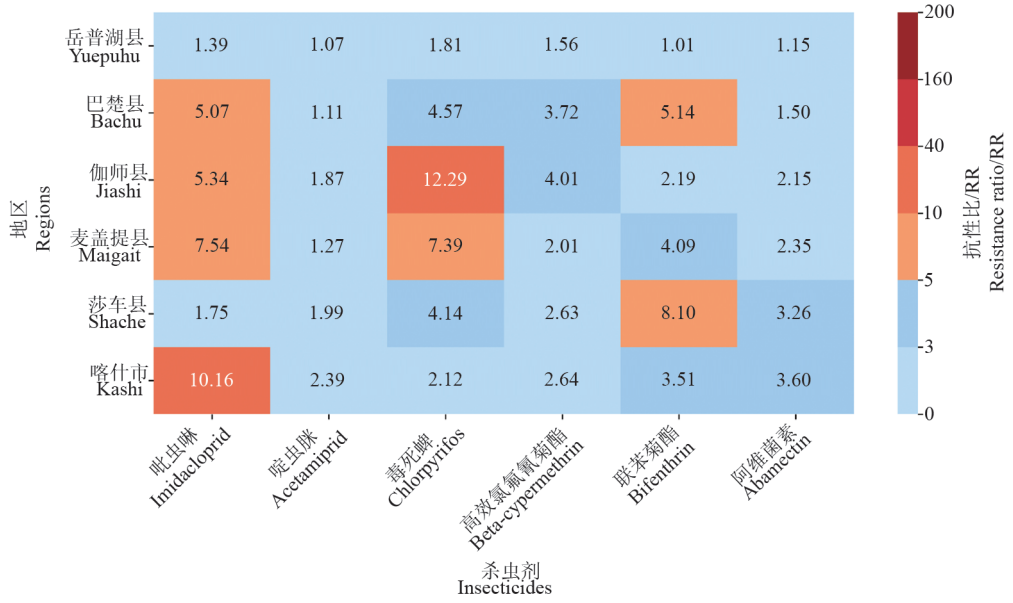


图 1 喀什地区棉蚜田间种群对 6 种常用杀虫剂的抗性倍数（RR）热图

Fig. 1 Heatmap of resistance ratios (RR) of cotton aphid field populations to six commonly used insecticides in the Kashi region

注：不同颜色代表抗性分级：浅蓝代表敏感（RR<3），蓝灰代表耐药（3≤RR<5），橙色代表低抗（5≤RR<10），橙红代表中抗（10≤RR<40），红色代表高抗（40≤RR<160），深红代表极高抗（RR≥160）。

Note: Different colors represent resistance categories: light blue denotes susceptible (RR < 3),blue-gray denotes tolerant (3 ≤ RR < 5), orange denotes low resistance (5 ≤ RR < 10), orange-red denotes moderate resistance (10 ≤ RR < 40), red denotes high resistance (40 ≤ RR < 160), and dark red denotes very high resistance (RR ≥ 160).

研究基于叶片浸渍法的监测结果表明，喀什地区 6 个主要棉花产区的棉蚜田间种群对 6 种常用杀虫剂的抗性水平存在明显区域差异，同一药剂在不同产区的抗性等级亦有差别，这可能与各地的种植结构、药剂使用历史及施药策略密切相关。

吡虫啉和啶虫脒均属于新烟碱类杀虫剂，具有较强的内吸和触杀作用，长期以来在棉蚜防治中应用广泛[21]。近年来，国内监测结果普遍显示棉蚜对吡虫啉的抗性水平快速上升，新疆部分棉区已达到高抗水平[22]。2018 年石河子和伊犁等地的田间调查显示，棉蚜对吡虫啉的抗性已达到 85.2-412 倍[10]。本研究结果发现，喀什市棉蚜种群对吡虫啉已达中抗水平（RR=10.16），巴楚县、伽师县、麦盖提县种群为低抗（RR 分别为 5.07、5.34 和 7.54），而岳普湖县和莎车县种群对吡虫啉仍保持敏感（RR 分别为 1.39 和 1.75）。相比之下，另一新烟碱药剂啶虫脒在本研究测定的所有种群中抗性倍数均未超过 3 倍，表现为敏感水平。这种差异可能与吡虫啉投放历史更长、施用频率更高有关[23,24]。此外，代谢性抗性机制在其中发挥了关键作用，尤其是 P450 单加氧酶的高表达被认为与吡虫啉抗性密切相关，而其对啶虫脒的交互抗性效应相对较弱[25,26]。这可以解释为什么吡虫啉抗性水平显著高于啶虫脒。值得注意的是，新烟碱类药剂之间也可能存在较强的交互抗性，例如高抗吡虫啉的棉蚜品系对啶虫脒和氟啶虫胺腈的交互抗性水平可分别达到 1 776 倍和 260 倍[27]。因此，如果轮换仅局限于不同新烟碱类药剂之间，效果有限，甚至可能加速抗性发展[17,27]。基于此，在制定防治策略时，新烟碱类应与其他作用机制不同的药剂合理轮换或复配，以延缓抗性进一步蔓延。

毒死蜱是一种有机磷类杀虫剂，具有胃毒和触杀作用[28]。由于其毒性较高且常用剂型对环境安全性较低，毒死蜱在农业生产中的使用量逐年降低。2020 年，崔丽等[29]发现山东、河北和河南的 7 个棉蚜种群对毒死蜱处于敏感至低水平抗性。本研究中，喀什地区大部分棉蚜种群对毒死蜱的抗性亦维持在较低水平。岳普湖县、喀什市种群仍属敏感（RR 分别为 1.81 和 2.12），莎车县、巴楚县处于耐药水平（RR 分别为 4.14 和 4.57）。值得关注的是，伽师县棉蚜种群对毒死

蜱已出现中等程度抗性（RR=12.29），麦盖提县种群也达低抗水平（RR=7.39）这些结果表明，在局部地区毒死蜱仍有防治价值，但应限制使用频率，避免进一步抗性积累。

高效氯氟氰菊酯和联苯菊酯属于拟除虫菊酯类杀虫剂，以触杀作用为主，见效快，已广泛用于各类农业害虫的防治[28,30]。然而，棉蚜对菊酯类药剂的抗药性问题近年来日趋严重。本研究监测结果显示，喀什地区部分棉蚜种群已对菊酯类产生抗性。其中，莎车县和巴楚县种群对联苯菊酯达到低抗水平（RR 分别为 8.1 和 5.14）。伽师县和巴楚县种群对高效氯氟氰菊酯则呈现耐药水平（RR 分别为 4.01 和 3.72）。其余地区目前对菊酯类仍以敏感为主，但抗性风险不容忽视。有报道指出，新疆哈密等 6 个地区棉蚜对高效氯氟氰菊酯的抗性最高已达 353-4 942 倍，属于高抗水平[10]，这预示着棉蚜对菊酯类的抗性可能在短期内迅速提升。本研究表明，虽然大部分地区仍处于敏感水平，但应警惕潜在的抗性风险，并通过减少菊酯类用药次数及与不同作用机制药剂轮换使用来延缓抗性发展。

阿维菌素通过干扰虫体神经传导发挥作用，是棉蚜防治的一种选择药剂。近年来部分地区棉蚜对阿维菌素的抗性也在上升。2017 年安静杰等[31]报道，河北保定、邯郸和沧州的棉蚜种群对阿维菌素的抗性达中等至高水平（RR=7.5-108.7）。帕提玛•乌木尔汗等[10]对新疆多个棉区的监测同样发现，2018 年棉蚜对阿维菌素的抗性普遍达到中高等水平，最高抗性倍数超过 220 倍。本研究发现，喀什地区棉蚜种群对阿维菌素的抗药性整体尚处较低水平。除喀什市（RR=3.6）和莎车县（RR=3.26）已出现耐药迹象外，其余如岳普湖、巴楚、伽师、麦盖提县种群对阿维菌素仍保持敏感（RR 分别为 1.15、1.5 和 2.15）。鉴于其他地区已有高抗案例，喀什地区应开展连续监测，并降低施用频率，与其他药剂合理配合使用，以延缓棉蚜对阿维菌素产生更高抗性的进程。

综上，喀什地区主要产棉区在棉蚜防治中应减少吡虫啉的使用量和频率。鉴于本研究中各地棉蚜种群对啶虫脒仍保持敏感，该药剂可作为替代选择，但需注意两者均属新烟碱类，存在潜在交互抗性风险。为降低单一作用机制药剂带来的选择压力，应在防治策略中合理引入作用机制不同的药剂，如阿维菌素或毒死蜱，并结合区域推广的绿色防控措施，以延缓抗性的进一步发展。

4 结论

本研究系统评估了新疆喀什地区主要棉花产区棉蚜田间种群对 6 种常用杀虫剂的抗性现状。结果表明：（1）部分地区棉蚜对吡虫啉已产生低至中等水平抗性，而对啶虫脒整体上仍保持敏感；（2）多数地区棉蚜对毒死蜱表现为敏感或仅有耐药，但伽师县已检测到中抗水平；（3）个别地区的棉蚜种群对高效氯氟氰菊酯和联苯菊酯出现耐药或低抗；（4）喀什市和莎车县棉蚜对阿维菌素表现出耐药，其余地区则仍处于敏感水平。总体上，喀什地区棉蚜抗药性表现出明显的区域差异性和药剂特异性，本研究结果为制定差异化的药剂使用策略和区域性抗性治理措施提供了科学依据。

参考文献

[1] Nawaz A, Razzaq F, Razzaq A, et al. Compatibility and synergistic interactions of fungi, Metarhizium anisopliae, and insecticide combinations against the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae)[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1):4843.

[2] Zhao C, Escalante C, Jacobson A L, et al. Metatranscriptomic and metagenomic analyses of cotton aphids (*Aphis gossypii*) collected from cotton fields in Alabama, USA[J]. Frontiers in Insect Science, 2025, 5: 1461588.

[3] 张 帅,秦 萌,任宗杰,等.新型杀虫剂对新疆抗药性棉蚜的田间防效[J].中国植保导刊,2023,43 (04): 72-75.

[4] Zhang Y, Wang X, Bian Z, et al. Application of flavonoid compounds suppresses the cotton aphid, *Aphis gossypii*[J]. Frontiers in Plant Science, 2025, 16: 1545499.

[5] Lv M, Wang W, Fang F, et al. The changes in cross-resistance, fitness, and feeding behavior in *Aphis gossypii* as their resistance to sulfoxaflor declines[J]. Insects, 2024, 15(12): 920.

[6] 龚坤元,张桂林,翟桂英.棉蚜对"1059"抗药性的测定[J].昆虫学报,1964,13(01):1-8.

[7] 罗万春,凌 冰,岳留强,等.新疆棉蚜抗药性研究[J].植物保护学报,1990(03):283-288.

[8] 郭天凤.新疆棉区棉蚜对新烟碱类杀虫药剂抗性监测、风险评估及抗性机制的研究[D].北京:中国农业大学,2014.

[9] 赵鹏程,李 焱,闫文静,等.新疆棉蚜不同地理种群对杀虫剂的敏感性[J].石河子大学学报(自然科学版),2018,36(02):159-163.

[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].植物保护学报,2019,45(06):273-278.

[11] Gul H, Güncan A, Abbas A, et al. Insecticide resistance eolution negatively affects the fitness of *Aphis gossypii* Glover during selection on cotton plants under laboratory conditions[J]. Plants, 2025, 14(16): 2527.

[12] Chen X, Tie M, Chen A, et al. Pyrethroid resistance associated with M918 L mutation and detoxifying metabolism in *Aphis gossypii* from Bt cotton growing regions of China[J]. Pest Management Science, 2017, 73(11): 2353-2359.

[13] 石丹丹.华中地区瓜蚜抗药性监测及其对高效氯氟氰菊酯抗性机理研究[D].武汉:华中农业大学,2022.

[14] Kaya C, Çağatay N S, Margaritopoulos J T, et al. Neonicotinoid resistance in populations of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) in cotton plantation areas of turkey[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2023, 47(5): 623-632.

[15] Wang Z J, Liang C R, Shang Z Y, et al. Insecticide resistance and resistance mechanisms in the melon aphid, *Aphis gossypii*, in Shandong, China[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2021, 172: 104768.

[16] Li R, Cheng S, Chen Z, et al. Establishment of toxicity and susceptibility baseline of broflanilide for *Aphis gossypii* Glove[J]. Insects, 2022, 13(11): 1033.

[17] 柳建伟,张东海,陈晋忠,等.棉蚜对12种杀虫剂的敏感性测定[J].农药,2012,51 (08):613-615.

[18] Hu J, Chen F, Wang J, et al. Multiple insecticide resistance and associated metabolic-based mechanisms in a *Myzus persicae* (Sulzer) population[J]. Agronomy, 2023, 13(9): 2276.

[19] 安静杰,党志红,高占林,等.河北省棉蚜对新烟碱类杀虫剂敏感基线及抗药性水平[J].河北农业大学学报,2018,41(04):112-116.

[20] Wang K Y, Guo Q L, Xia X M, et al. Resistance of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) to selected insecticides on cotton from five cotton production regions in Shandong, China[J]. Journal of Pesticide Science, 2007, 32(4): 372-378.

[21] Jeschke P, Nauen R. Neonicotinoids—from zero to hero in insecticide chemistry[J]. Pest Management Science: Formerly Pesticide Science, 2008, 64(11): 1084-1098.

[22] 李 娜.不同杀虫剂对新疆棉田蚜虫及天敌种群发生的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2021.

[23] Bass C, Denholm I, Williamson M S, et al. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2015, 121: 78-87.

[24] Ullah F, Xu X, Gul H, et al. Impact of imidacloprid resistance on the demographic traits and expressions of associated genes in *Aphis gossypii* Glover[J]. Toxics, 2022, 10(11): 658.

[25] Lv Y, Wen S, Ding Y, et al. Functional validation of the roles of cytochrome P450s in tolerance to thiamethoxam and imidacloprid in a field population of *Aphis gossypii*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2022, 70(45): 14339-14351.

[26] Chen X, Shi X, Wang H, et al. The cross-resistance patterns and biochemical characteristics of an imidacloprid-resistant strain of the cotton aphid[J]. Journal of Pesticide Science, 2015, 40(2): 55-59.

[27] 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(05):947-957.

[28] 马广民.聊城麦蚜田间种群对6种杀虫剂的抗性监测[J].中国植保导刊,2024,44(10):89-92.

[29] 崔 丽,吕宝顺,芮昌辉,等.华北地区棉蚜对5种杀虫剂的敏感性监测[J].农药科学与管理,2022,43(01):29-35.

[30] 张 帅,马 艳,闵 红,等.华北棉区主要害虫抗药性监测与治理技术示范[J].昆虫学报,2016,59(11):1238-1245.

[31] 安静杰,高占林,党志红,等.河北省不同地区棉蚜种群对6种杀虫剂的抗性动态[J].农药学学报,2021,23(06):1123-1131.