新疆棉田花蓟马种群对11种杀虫剂的抗性

常京宝[1] 徐康安[1] 路 伟[1] 闫 翔[1] 李睿浩[1] 董建豪[1]
樊宗芳[1,2*] 陆宴辉[3*]

（1. 新疆农业大学农学院，棉花教育部工程研究中心，新疆维吾尔自治区高校农林有害生物监测与安全防控重点实验室，乌鲁木齐 830052；2. 新疆农业大学作物学博士后流动站，乌鲁木齐 830052；
3. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害综合治理全国重点实验室，北京 100193）

摘要：为明确新疆维吾尔自治区（简称新疆）棉田花蓟马*Frankliniella intonsa*种群的抗药性现状，采用浸渍法测定11种杀虫剂对东疆哈密种群、北疆博乐、昌吉、石河子种群及南疆阿克苏、喀什、库尔勒种群的毒杀效果，并计算抗性倍数。结果表明：7个花蓟马种群对双丙环虫酯（昌吉种群除外）、溴氰虫酰胺、氯虫苯甲酰胺以及高效氯氟氰菊酯均产生高水平抗性，抗性倍数均大于111.0倍，其中喀什种群对溴氰虫酰胺已产生极高水平抗性，抗性倍数达3 906.6倍。7个花蓟马种群对呋虫胺、吡虫啉（石河子种群除外）和甲氰菊酯均产生中等水平抗性，抗性倍数介于12.5~96.2倍之间。库尔勒种群对虫螨腈产生中等水平抗性，抗性倍数为23.8倍，而其他6个种群对其仍保持敏感水平或低水平抗性，表明该药可作为新疆棉区花蓟马防治的候选杀虫剂。整体而言，南疆、北疆地区花蓟马种群的抗药性水平明显高于东疆种群。

关键词：棉花；花蓟马；杀虫剂；毒力；抗药性

Resistance of flower thrips *Frankliniella intonsa* populations in Xinjiang cotton fields to 11 insecticides

Chang Jingbao[1] Xu Kang'an[1] Lu Wei[1] Yan Xiang[1] Li Ruihao[1] Dong Jianhao[1]
Fan Zongfang[1,2*] Lu Yanhui[3*]

（1. Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests of the University of the Xinjiang Uygur Autonomous Region; Engineering Research Centre of Cotton, Ministry of Education; College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 2. Crop Science Postdoctoral Research Station, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China;
3. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China）

Abstract: To clarify the current status of insecticide resistance in field populations of flower thrips *Frankliniella intonsa* from cotton-growing areas of Xinjiang, the toxicity of 11 insecticides to populations collected from eastern Xinjiang (Hami), northern Xinjiang (Bole, Changji, Shihezi), and southern Xinjiang (Aksu, Kashgar, Korla) was determined using the dipping method, and resistance ratios (RRs) were calculated. The results indicated that the seven populations had developed high-level resistance to afidopyropen (except the Changji population), cyantraniliprole, chlorantraniliprole, and lambda-cyhalothrin, with resistance ratios exceeding 111.0. Among them, the Kashgar population exhibited

基金项目：国家重点研发计划项目（2022YFD1400304），新疆维吾尔自治区人才发展基金“天池英才”引进计划项目，新疆维吾尔自治区“天山英才”三农骨干人才计划项目（2023SNGGGCC016，2023SNGGGCC032）

* 通信作者（Authors for correspondence），E-mail：zfan@xjau.edu.cn，luyanhui@caas.cn

收稿日期：2025-12-11

extremely high resistance to cyantraniliprole, with a RR value of 3 906.6. The seven populations showed moderate resistance to dinotefuran, imidacloprid (except the Shihezi population) and fenpropathrin, with RRs ranging from 12.5 to 96.2. The Korla population developed moderate resistance to chlorfenapyr (RR=23.8), whereas the other six populations remained susceptible or exhibited low levels of resistance (1<RR≤10). These results suggest that chlorfenapyr may serve as a candidate insecticide for the control of *F. intonsa* in Xinjiang cotton fields. Overall, the resistance levels of *F. intonsa* field populations in southern and northern Xinjiang were significantly higher than those in eastern Xinjiang.

Key words: cotton; *Frankliniella intonsa*; insecticide; toxicity; resistance

新疆维吾尔自治区(简称新疆)是我国最重要的棉花*Gossypium hirsutum*产区(陆宴辉,2021),2024年新疆棉花种植面积占全国棉花种植总面积的86.25%,棉花产量占全国棉花总产量的92.20%,在保障国家棉花供给和支撑区域经济发展中具有不可替代的战略地位(翟雪玲和朱佳,2025)。近年来,随着棉花种植规模的持续扩大和种植结构的调整,花蓟马*Frankliniella intonsa*已由棉田次要害虫上升为主要害虫,以锉吸式口器刺吸棉花嫩叶、蕾铃等,造成叶片银白色斑痕、僵铃、裂铃等现象,已成为制约棉花优质、高产的重要因素(姜玉英等,2021;党雯雯等,2023;Song et al.,2024)。棉花花期是花蓟马发生高峰期,发生程度普遍较重,本团队在阿克苏市、库尔勒市、石河子市等主要棉区调查发现,单个花朵内花蓟马数量通常可达200~400头,严重时超过千头(数据未发表),远高于王崟等(2024)提出的棉花花蓟马防治阈值100头/花。

花蓟马是一种多食性害虫,寄主范围广泛,可为害多种露地和设施农作物,包括棉花以及多种水果、蔬菜、观赏植物、树木等(樊锐,2023)。目前,由于缺乏高效的天敌昆虫和抗性作物品种,化学防治仍是控制花蓟马种群最关键且有效的手段(张暄翊等,2023)。在农业生产中,新烟碱类(如吡虫啉、噻虫嗪)、拟除虫菊酯类(如高效氯氟氰菊酯)、大环内酯类(如阿维菌素)以及多杀菌素类(如乙基多杀菌素)等杀虫剂被广泛用于花蓟马的田间防治(刘艳等,2024)。然而,随着杀虫剂的长期使用,花蓟马对多种常用杀虫剂产生了不同程度的抗性。如陈炳旭等(2009)在广东省农业科学院白云试验基地开展了花生*Arachis hypogaea*田花蓟马的防治试验,结果显示吡虫啉在施用后8 d的防治效果最好,但仅为76.4%;啜泽润等(2025)在内蒙古自治区(简称内蒙古)鄂尔多斯市测定了乙基多杀菌素、甲维盐和高效氯氟氰菊酯对向日葵*Helianthus annuus*田花蓟马的防治效果,结果表明施用后7 d三种杀虫剂的防治效果均低于80%;王彭等(2016)研究表明,溴氰虫酰胺和吡虫啉对山东省寿光市蔬菜田花蓟马种群的LC_{50}分别是1 223.22 mg/L和1 134.73 mg/L,远高于对花蓟马室内敏感种群的LC_{50}(王燕茹等,2025);李楠等(2022)研究表明,宁夏回族自治区(简称宁夏)银川市苜蓿*Medicago sativa*田花蓟马种群对吡虫啉和溴氰虫酰胺的抗性倍数分别为15.8倍和11.0倍,均产生了中等水平抗性;Fu et al.(2022)研究表明,2016—2020年海南省三亚市豇豆*Vigna unguiculata*田花蓟马种群对多杀菌素从敏感水平上升至中等抗性水平。表明不同地区花蓟马对杀虫剂的抗性问题日益普遍与加剧,因此全面掌握新疆棉区花蓟马的抗药性水平已成为保障棉花安全生产的迫切需求。

目前,针对新疆棉区花蓟马田间种群的抗药性监测仍缺乏系统研究。本研究在新疆7个主要棉花种植区监测花蓟马田间种群对11种常用杀虫剂的抗性水平,揭示花蓟马区域抗药性差异格局,以期为指导新疆棉田科学用药和花蓟马抗药性治理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源和植物:花蓟马敏感种群由云南农业大学提供,在室内用四季豆*Phaseolus vulgaris*豆荚饲养于温度为(25±1) ℃、相对湿度为(65±5)%、光周期为16 L∶8 D的人工气候箱中,期间未接触任何杀虫剂。于2025年7至9月分别自阿克苏、喀什、库尔勒、博乐、昌吉、哈密、石河子7个市的棉田采集田间种群,且每个地区均选择3块棉田进行混采,带回室内饲养1代后,选择羽化2 d且个体大小较一致的健康雌成虫供试。四季豆豆荚购自当地市场,用0.1%次氯酸钠溶液浸泡20 min,用清水反复冲洗8~10遍,去除豆荚中豆子,晾干后供试。

药剂:20%呋虫胺(dinotefuran)悬浮剂,浙江硕果时代农业科技有限公司;350 g/L吡虫啉(imida-

cloprid)悬浮剂,高安市沃秋丰农业有限公司;50 g/L双丙环虫酯(afidopyropen)可分散液剂、10%溴氰虫酰胺(cyantraniliprole)可分散油悬浮剂和200 g/L氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole)悬浮剂,南京杰塔农业科技有限公司;10%高效氯氟氰菊酯(lambda-cyhalothrin)悬浮剂,安吉丰一植保服务有限公司;20%甲氰菊酯(fenpropathrin)乳油,烟台市圣海农业有限公司;10%阿维菌素(abamectin)悬浮剂,河津市丰农乐农业技术服务有限公司;5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(emamectin benzoate,简称甲维盐)悬浮剂,新沂市田宝农资有限公司;240 g/L虫螨腈(chlorfenapyr)悬浮剂,烟台市硕耕农业发展有限公司;6%鱼藤酮(rotenone)微乳剂,潍坊市新锐农资有限公司。

1.2 方法

供试花蓟马种群的抗药性测定参考Rueda & Shelton(2003)生物测定方法,并稍作优化(樊宗芳等,2022;李楠等,2022;Fan et al.,2023)。将供试11种杀虫剂分别用蒸馏水配制成3 000 mg/L的母液,根据预试验结果均设5个系列浓度梯度(表1),用蒸馏水将母液逐级等比稀释,并以蒸馏水作为对照。将5 mL冻存管及长约3 cm、宽约1 cm的新鲜四季豆豆荚分别浸入各杀虫剂系列浓度药液中2 h和15 s,取出放置在室温下自然晾干,随后将豆荚放入对应浓度杀虫剂浸泡过的冻存管内,每管1根豆荚为1个重复,每个浓度3次重复。将羽化2 d的不同种群花蓟马雌成虫转移至冻存管内,每管30头,并用带有孔径74 μm的尼龙纱网和通气孔的冻存管盖封口,以保证空气流通。将各处理试虫放入与1.1相同条件的人工气候箱中,48 h后检查并记录试虫死亡数量,以毛笔尖轻触虫体不能爬动者则视为死亡。计算死亡率,并用SPSS 27.0软件计算各杀虫剂对不同种群花蓟马的抑制中浓度LC_{50}和抗性倍数(resistance ratio,RR),*RR*=杀虫剂对田间抗性种群的LC_{50}/杀虫剂对室内敏感种群的LC_{50}。依据《西花蓟马抗药性监测技术规程》(NY/T 3680—2020)进行抗性水平等级划分,*RR*≤5为敏感;5<*RR*≤10为低抗;10<*RR*≤100为中等抗性;*RR*>100为高抗。为更精细呈现新疆棉区花蓟马种群对杀虫剂抗性水平的空间异质性及极端抗性分布特征,进一步对*RR*>100的高水平抗性区间进行细化,划分100<*RR*≤500、500<*RR*≤1 000、1 000<*RR*≤2 000、*RR*>2 000四个等级。

表1 供试11种药剂对新疆不同花蓟马种群的处理浓度

Table 1 Test concentrations of 11 insecticides used against different *Frankliniella intonsa* populations in Xinjiang　　mg/L

种群 Population	呋虫胺 Dinotefuran	吡虫啉 Imidacloprid	双丙环虫酯 Afidopyropen	溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	甲氰菊酯 Fenpropathrin	阿维菌素 Abamectin	甲维盐 Emamectin benzoate	虫螨腈 Chlorfenapyr	鱼藤酮 Rotenone
喀什 Kashgar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	24.3	24.3	24.3	1.0	24.3	24.3	24.3	1.0	0.2	0.2	24.3
	72.9	72.9	72.9	10.0	72.9	72.9	72.9	10.0	0.4	0.4	72.9
	218.7	218.7	218.7	100.0	218.7	218.7	218.7	100.0	0.8	0.8	218.7
	656.1	656.1	656.1	1 000.0	656.1	656.1	656.1	1 000.0	1.6	1.6	656.1
	1 968.3	1 968.3	1 968.3	3 000.0	1 968.3	1 968.3	1 968.3	3 000.0	3.2	3.2	1 968.3
阿克苏 Aksu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	1.0	0.1	0.1	8.1
	72.9	72.9	72.9	72.9	72.9	72.9	72.9	10.0	0.2	0.2	24.3
	218.7	218.7	218.7	218.7	218.7	218.7	218.7	100.0	0.4	0.4	72.9
	656.1	656.1	656.1	656.1	656.1	656.1	656.1	1 000.0	0.8	0.8	218.7
	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	3 000.0	1.6	1.6	656.1
库尔勒 Korla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	0.3	0.3	0.3	24.3
	72.9	72.9	72.9	72.9	72.9	72.9	72.9	0.9	0.9	0.9	72.9
	218.7	218.7	218.7	218.7	218.7	218.7	218.7	2.7	2.7	2.7	218.7
	656.1	656.1	656.1	656.1	656.1	656.1	656.1	8.1	8.1	8.1	656.1
	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	24.3	24.3	24.3	1 968.3
博乐 Bole	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	8.1	8.1	2.7	24.3	24.3	24.3	24.3	2.7	0.2	0.2	24.3

续表1 Continued

种群 Population	呋虫胺 Dinotefuran	吡虫啉 Imidacloprid	双丙环虫酯 Afidopyropen	溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	甲氰菊酯 Fenpropathrin	阿维菌素 Abamectin	甲维盐 Emamectin benzoate	虫螨腈 Chlorfenapyr	鱼藤酮 Rotenone
	24.3	24.3	8.1	72.9	72.9	72.9	72.9	8.1	0.4	0.4	72.9
	72.9	72.9	24.3	218.7	218.7	218.7	218.7	24.3	0.8	0.8	218.7
	218.7	218.7	72.9	656.1	656.1	656.1	656.1	72.9	1.6	1.6	656.1
	656.1	656.1	218.7	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	218.7	3.2	3.2	1 968.3
石河子 Shihezi	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.1	0.1	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	1.0	0.2	0.2	0.4
	1.0	1.0	72.9	72.9	72.9	72.9	72.9	10.0	0.4	0.4	0.8
	10.0	10.0	218.7	218.7	218.7	218.7	218.7	100.0	0.8	0.8	1.6
	100.0	100.0	656.1	656.1	656.1	656.1	656.1	1 000.0	1.6	1.6	3.2
	1 000.0	1 000.0	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	1 968.3	3 000.0	3.2	3.2	6.4
昌吉 Changji	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	8.1	1.0	0.1	1.0	1.0	24.3	24.3	1.0	1.0	0.4	1.0
	24.3	10.0	1.0	10.0	10.0	72.9	72.9	10.0	10.0	0.8	10.0
	72.9	100.0	10.0	100.0	100.0	218.7	218.7	100.0	100.0	1.6	100.0
	218.7	1 000.0	100.0	1 000.0	1 000.0	656.1	656.1	1 000.0	1 000.0	3.2	1 000.0
	656.1	3 000.0	1 000.0	3 000.0	3 000.0	1 968.3	1 968.3	3 000.0	3 000.0	6.4	3 000.0
哈密 Hami	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	24.3	24.3	2.7	8.1	8.1	24.3	8.1	0.2	0.2	0.4	2.7
	72.9	72.9	8.1	24.3	24.3	72.9	24.3	0.4	0.4	0.8	8.1
	218.7	218.7	24.3	72.9	72.9	218.7	72.9	0.8	0.8	1.6	24.3
	656.1	656.1	72.9	218.7	218.7	656.1	218.7	1.6	1.6	3.2	72.9
	1 968.3	1 968.3	218.7	656.1	656.1	1 968.3	656.1	3.2	3.2	6.4	218.7
敏感品系 Susceptible strain	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1.6	1.6	0.1	0.1	0.1	0.4	3.2	0.1	0.1	0.2	1.6
	3.2	3.2	0.2	0.2	0.2	0.8	6.4	0.2	0.2	0.4	3.2
	6.4	6.4	0.4	0.4	0.4	1.6	12.8	0.4	0.4	0.8	6.4
	12.8	12.8	0.8	0.8	0.8	3.2	25.6	0.8	0.8	1.6	12.8
	25.6	25.6	1.6	1.6	1.6	6.4	51.2	1.6	1.6	3.2	25.6

1.3 数据分析

利用SPSS 27.0软件进行试验数据分析，利用Origin 2024软件绘制新疆棉区花蓟马对常用杀虫剂的抗性等级热图。

2 结果与分析

2.1 11种常用杀虫剂对花蓟马敏感种群的室内毒力

不同杀虫剂对花蓟马敏感种群的室内毒力不同，其中，甲维盐对花蓟马敏感种群的室内毒力最高，LC_{50}为0.168 mg/L；其次依次是阿维菌素、双丙环虫酯、溴氰虫酰胺、氯虫苯甲酰胺以及虫螨腈，对花蓟马敏感种群的LC_{50}分别为0.305、0.421、0.484、0.539和0.684 mg/L；甲氰菊酯对花蓟马敏感种群的室内毒力最低，其LC_{50}为16.774 mg/L（表2）。

2.2 花蓟马田间种群对11种常用杀虫剂的抗性水平

7个花蓟马种群对新烟碱类杀虫剂均产生了中等水平抗性，其中，对呋虫胺的抗性倍数在14.0~74.3倍之间；喀什种群对吡虫啉的抗性最强，抗性倍数为93.2倍，其次是昌吉种群和哈密种群，抗性倍数分别为88.7倍和82.4倍，石河子种群对吡虫啉仍处于敏感水平，抗性倍数为3.1倍，其余3个种群对吡虫啉的抗性倍数介于12.5~42.0倍之间（表3）。

7个花蓟马种群对双丙环虫酯普遍产生了高水平抗性（昌吉种群除外，抗性倍数为91.7倍），抗性倍数介于111.0~2 061.1倍之间，其中，库尔勒种群对其的抗性水平最高，抗性倍数已达2 061.1倍（表3）。

7个花蓟马种群对双酰胺类杀虫剂均产生了高水平抗性，其中，喀什种群和博乐种群对溴氰虫酰胺的抗性最高，抗性倍数分别达到了3 906.6倍和

3 097.4倍；阿克苏种群对氯虫苯甲酰胺的抗性最高，抗性倍数达到3 165.4倍（表3）。

表2 11种杀虫剂对花蓟马敏感种群的室内毒力

Table 2 Laboratory toxicity of 11 insecticides against a susceptible population of Frankliniella intonsa

杀虫剂 Insecticide	回归方程 Regression equation	LC_{50}（95%置信限） LC_{50} (95% confidence limits)/(mg/L)	*P*
呋虫胺 Dinotefuran	y=1.233x−1.270	10.714（8.794−13.568）	0.710
吡虫啉 Imidacloprid	y=1.258x−1.284	10.490（8.468−13.470）	0.588
双丙环虫酯 Afidopyropen	y=1.250x−0.470	0.421（0.338−0.521）	0.300
溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	y=1.140x−0.360	0.484（0.385−0.614）	0.944
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	y=1.551x−0.416	0.539（0.452−0.647）	0.295
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	y=1.345x−0.477	2.261（1.861−2.765）	0.178
甲氰菊酯 Fenpropathrin	y=1.333x−1.633	16.774（13.749−20.661）	0.703
阿维菌素 Abamectin	y=1.759x−0.908	0.305（0.258−0.356）	0.233
甲维盐 Emamectin benzoate	y=1.089x−0.843	0.168（0.118−0.218）	0.636
虫螨腈 Chlorfenapyr	y=1.745x−0.288	0.684（0.581−0.798）	0.597
鱼藤酮 Rotenone	y=1.386x−0.888	4.371（3.550−5.248）	0.076

x和y分别为杀虫剂浓度对数值和死亡概率值。*P*值为卡方拟合优度检验概率值；P>0.05表示观察死亡率与剂量−反应模型预测值无显著差异，即回归模型拟合良好。x and y represent the logarithmically transformed insecticide concentration and the corresponding mortality probability, respectively. The *P* value denotes the probability obtained from chi-square goodness-of-fit test. A P> 0.05 indicates no significant difference between the observed mortality rates and the values predicted by the dose-response model, suggesting that the regression model provides a good fit to the data.

7个花蓟马种群对拟除虫菊酯类杀虫剂产生了中高水平抗性，其中，对高效氯氟氰菊酯产生了高水平抗性，抗性倍数介于151.7~636.2倍之间，对甲氰菊酯均产生了中等水平抗性，抗性倍数介于21.1~96.2倍之间（表3）。

对大环内酯类杀虫剂而言，博乐、石河子、昌吉、喀什和阿克苏种群均对阿维菌素产生了高水平抗性，抗性倍数介于115.8~3 847.4倍之间，哈密种群对其仍处于敏感水平，抗性倍数为3.7倍，库尔勒种群对其产生了中等水平抗性，抗性倍数为70.3倍；昌吉种群和库尔勒种群分别对甲维盐产生了高水平抗性和中等水平抗性，抗性倍数分别为2 701.6倍和70.2倍，其余5个种群对其仍敏感或处于低水平抗性（抗性倍数小于7.8倍）（表3）。

库尔勒种群对吡咯类杀虫剂虫螨腈产生了中等水平抗性，抗性倍数为23.8倍，哈密种群对其产生了低水平抗性，抗性倍数为5.7倍，其余5个种群仍对虫螨腈保持敏感，抗性倍数介于1.2~1.9倍之间（表3）。

7个花蓟马种群对植物源杀虫剂鱼藤酮普遍产生高水平抗性，其中博乐种群和喀什种群对其的抗性最高，抗性倍数分别为409.6倍和342.9倍（表3）。

表3 新疆7个地区棉田花蓟马种群对11种杀虫剂的抗性水平

Table 3 Resistance levels of *Frankliniella intonsa* populations from seven cotton-growing regions of Xinjiang to 11 insecticides

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	回归方程 Regression equation	LC_{50}（95%置信限） LC_{50} (95% confidence limits)/(mg/L)	*P*	抗性倍数 Resistance ratio
呋虫胺	哈密 Hami	y=0.495x−1.416	729.127（423.616−1 632.478）	0.871	68.1
Dinotefuran	博乐 Bole	y=0.789x−2.029	373.938（259.570−607.432）	0.671	34.9
	石河子 Shihezi	y=0.400x−0.870	149.591（77.198−345.414）	0.850	14.0
	昌吉 Changji	y=1.326x−3.436	391.244（302.259−547.067）	0.130	36.5
	喀什 Kashgar	y=0.603x−1.322	156.223（97.742−234.031）	0.451	14.6
	阿克苏 Aksu	y=0.614x−1.423	207.923（133.308−319.467）	0.220	19.4
	库尔勒 Korla	y=1.086x−3.151	796.225（596.221−1 132.891）	0.352	74.3
吡虫啉	哈密 Hami	y=0.617x−1.812	864.108（547.811−1 639.892）	0.931	82.4
Imidacloprid	博乐 Bole	y=0.705x−1.865	440.462（284.218−820.047）	0.790	42.0
	石河子 Shihezi	y=0.559x−0.848	32.912（20.302−53.869）	0.192	3.1
	昌吉 Changji	y=0.597x−1.772	930.040（560.161−1 714.122）	0.700	88.7
	喀什 Kashgar	y=0.716x−2.141	977.920（645.513−1 748.843）	0.215	93.2
	阿克苏 Aksu	y=0.751x−1.589	130.668（89.790−181.957）	0.417	12.5

续表3 Continued

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	回归方程 Regression equation	LC_{50}（95%置信限） LC_{50} (95% confidence limits)/(mg/L)	*P*	抗性倍数 Resistance ratio
	库尔勒Korla	y=0.920x−2.104	194.254(142.806−258.651)	0.382	18.5
双丙环虫酯	哈密Hami	y=0.733x−1.224	46.727(32.722−70.027)	0.316	111.0
Afidopyropen	博乐Bole	y=0.826x−2.080	329.286(193.362−795.213)	0.275	782.2
	石河子Shihezi	y=0.806x−2.231	584.917(411.948−907.589)	0.323	1 389.4
	昌吉Changji	y=0.442x−0.702	38.606(22.388−70.109)	0.207	91.7
	喀什Kashgar	y=0.797x−2.313	797.707(552.051−1 278.072)	0.486	1 894.8
	阿克苏Aksu	y=0.637x−1.707	476.841(317.264−797.153)	0.976	1 132.6
	库尔勒Korla	y=0.697x−2.049	867.728(570.270−1 532.022)	0.655	2 061.1
溴氰虫酰胺	哈密Hami	y=0.546x−1.514	596.181(327.099−1 640.804)	0.932	1 231.8
Cyantraniliprole	博乐Bole	y=0.581x−1.845	1 499.143(877.130−3 485.470)	0.413	3 097.4
	石河子Shihezi	y=0.918x−2.244	278.052(114.772−678.152)	0.033	574.5
	昌吉Changji	y=0.597x−1.763	891.516(541.807−1 626.962)	0.796	1 842.0
	喀什Kashgar	y=0.579x−1.896	1 890.787(1120.428−3 804.837)	0.141	3 906.6
	阿克苏Aksu	y=0.561x−1.541	555.287(345.488−1 065.914)	0.820	1 147.3
	库尔勒Korla	y=1.004x−2.734	528.197(395.578−719.233)	0.513	1 091.3
氯虫苯甲酰胺	哈密Hami	y=0.521x−1.288	296.049(173.423−669.219)	0.664	549.3
Chlorantraniliprole	博乐Bole	y=0.906x−2.471	532.649(398.288−745.322)	0.206	988.2
	石河子Shihezi	y=0.880x−2.483	662.965(476.441−988.646)	0.138	1 230.0
	昌吉Changji	y=0.533x−1.594	980.552(568.180−1 952.979)	0.337	1 819.2
	喀什Kashgar	y=0.829x−2.483	990.089(679.480−1 628.651)	0.743	1 836.9
	阿克苏Aksu	y=0.747x−2.415	1 706.126(1 104.177−3 196.271)	0.617	3 165.4
	库尔勒Korla	y=0.775x−2.083	486.284(339.267−736.850)	0.642	902.2
高效氯氟氰菊酯	哈密Hami	y=0.807x−2.105	406.255(292.550−587.366)	0.562	179.7
Lambda-cyhalothrin	博乐Bole	y=0.888x−2.251	342.963(256.374−468.124)	0.814	151.7
	石河子Shihezi	y=0.749x−2.147	735.055(503.474−1 197.759)	0.625	325.1
	昌吉Changji	y=0.543x−1.715	1 438.417(817.329−3 597.284)	0.645	636.2
	喀什Kashgar	y=0.742x−2.311	1 308.211(854.652−2 398.207)	0.852	578.6
	阿克苏Aksu	y=0.505x−1.455	757.323(444.034−1 676.823)	0.904	335.0
	库尔勒Korla	y=0.850x−2.467	796.894(565.713−1 232.174)	0.884	352.5
甲氰菊酯	哈密Hami	y=0.702x−1.846	424.523(268.200−827.219)	0.429	25.3
Fenpropathrin	博乐Bole	y=0.956x−2.619	546.587(412.164−751.957)	0.131	32.6
	石河子Shihezi	y=0.684x−2.149	1 383.784(866.609−2 739.908)	0.370	82.5
	昌吉Changji	y=0.542x−1.737	1 612.923(894.348−4 223.312)	0.928	96.2
	喀什Kashgar	y=0.719x−2.281	1 492.714(941.706−2 961.694)	0.363	89.0
	阿克苏Aksu	y=0.617x−1.572	353.41(235.180−561.168)	0.469	21.1
	库尔勒Korla	y=0.774x−2.449	1 453.290(922.309−2 868.820)	0.384	86.6
阿维菌素	哈密Hami	y=1.471x−0.071	1.118(0.597−2.768)	0.015	3.7
Abamectin	博乐Bole	y=0.752x−1.164	35.331(25.537−50.240)	0.727	115.8
	石河子Shihezi	y=0.490x−1.503	1 173.464(659.524−2 443.750)	0.410	3 847.4
	昌吉Changji	y=0.618x−1.773	741.117(475.769−1 221.051)	0.420	2 429.9
	喀什Kashgar	y=0.605x−1.004	45.668(29.594−68.654)	0.113	149.7
	阿克苏Aksu	y=0.495x−1.216	284.688(164.503−533.053)	0.495	933.4
	库尔勒Korla	y=0.715x−0.951	21.428(13.003−47.032)	0.812	70.3
甲维盐	哈密Hami	y=1.601x−0.074	1.112(0.932−1.342)	0.806	6.6
Emamectin benzoate	博乐Bole	y=1.184x−0.075	1.158(0.941−1.460)	0.412	6.9
	石河子Shihezi	y=1.308x−0.151	1.304(1.065−1.646)	0.410	7.8
	昌吉Changji	y=0.286x−0.760	453.870(190.233−1 461.306)	0.681	2 701.6
	喀什Kashgar	y=1.304x−0.252	0.641(0.519−0.777)	0.595	3.8
	阿克苏Aksu	y=0.909x−0.245	0.537(0.408−0.746)	0.909	3.2
	库尔勒Korla	y=0.649x−0.695	11.787(7.564−22.085)	0.762	70.2

续表3 Continued

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	回归方程 Regression equation	LC_{50}（95%置信限） LC_{50} (95% confidence limits)/(mg/L)	*P*	抗性倍数 Resistance ratio
虫螨腈	哈密 Hami	y=1.427x−0.848	3.929（3.191−5.108）	0.120	5.7
Chlorfenapyr	博乐 Bole	y=1.601x−0.015	1.021（0.866−1.212）	0.148	1.5
	石河子 Shihezi	y=1.183x−0.071	1.148（0.921−1.464）	0.175	1.7
	昌吉 Changji	y=0.996x−0.120	1.321（1.013−1.686）	0.948	1.9
	喀什 Kashgar	y=1.335x−0.129	0.800（0.656−0.972）	0.978	1.2
	阿克苏 Aksu	y=1.091x−0.073	1.168（0.870−1.802）	0.504	1.7
	库尔勒 Korla	y=0.718x−0.870	16.305（10.408−31.597）	0.421	23.8
鱼藤酮	哈密 Hami	y=1.234x−2.355	81.041（63.792−106.053）	0.188	18.5
Rotenone	博乐 Bole	y=0.766x−2.492	1 790.412（1 134.628−3 575.611）	0.294	409.6
	石河子 Shihezi	y=2.239x−1.776	6.213（5.104−8.774）	0.236	1.4
	昌吉 Changji	y=0.631x−1.707	509.396（338.505−796.684）	0.229	116.5
	喀什 Kashgar	y=0.651x−2.066	1 498.655（925.045−3 090.886）	0.832	342.9
	阿克苏 Aksu	y=0.866x−2.423	625.190（406.723−1 183.321）	0.139	143.0
	库尔勒 Korla	y=0.734x−2.166	892.826（601.601−1 517.353）	0.179	204.3

x和y分别为杀虫剂浓度对数值和死亡概率值。*P*值为卡方拟合优度检验概率值；*P*>0.05表示观察死亡率与剂量−反应模型预测值无显著差异，即回归模型拟合良好。x and y represent the logarithmically transformed insecticide concentrations and the mortality probability, respectively. The *P* value denotes the probability from chi-square goodness-of-fit test. A *P*>0.05 indicates no significant difference between observed mortality rates and model-predicted values, suggesting that the regression model provides a good fit to the data

2.3 新疆棉区花蓟马种群抗性空间分布特征

基于对新疆棉区花蓟马种群抗药性水平的测定结果，以7级色阶反映新疆棉区花蓟马种群对杀虫剂抗性水平的空间异质性及极端抗性分布特征，发现南疆的喀什、阿克苏、库尔勒种群和北疆的昌吉、博乐、石河子种群的抗药性水平明显高于东疆哈密种群（图1）。南疆的喀什、阿克苏和库尔勒花蓟马种群对多种常用杀虫剂已普遍表现出中等至高水平抗性，部分杀虫剂的抗性倍数已超过2 000倍；北疆的博乐、石河子、昌吉花蓟马种群对供试杀虫剂的抗性水平略低于南疆各种群，且每个种群均对1~3个杀虫剂仍处于敏感水平；东疆哈密花蓟马种群对各种杀虫剂的抗性明显低于南疆和北疆各种群，抗性倍数普遍在100倍以下（图1）。从地理空间分布上看，花蓟马种群的抗药性强度自南向北、自西向东呈梯度下降趋势。

3 讨论

本研究共采集了新疆7个主要棉区的花蓟马种群，并系统评估了其对11种常用杀虫剂的抗性水平，发现当前新疆棉田花蓟马已对多数常用杀虫剂普遍产生中等至高水平抗性，且抗性程度在区域间差异明显，反映出花蓟马在新疆棉区正面临较严峻的抗药性风险。常用杀虫剂对花蓟马敏感种群的室内毒力测定结果显示，甲维盐对花蓟马的室内毒力最高，LC_{50}为0.168 mg/L，甲氰菊酯（16.774 mg/L）、呋虫胺（10.714 mg/L）和吡虫啉（10.490 mg/L）对花蓟马的室内毒力较低。基于与本研究相同来源的花蓟马敏感种群，樊宗芳等（2021）研究表明甲维盐对其室内毒力也较高，LC_{50}为0.197 mg/L。这表明本研究所采用的方法成熟，试验结果稳定性好。

新疆棉区花蓟马种群对新烟碱类杀虫剂吡虫啉和呋虫胺已普遍产生中等水平抗性，据王燕茹等（2025）报道阿瓦提县和和什力克乡棉田花蓟马种群对吡虫啉的抗性倍数分别为14.1倍和32.6倍，达到了中等水平抗性，与本研究结果一致。新疆棉花田7个花蓟马种群对双丙环虫酯（昌吉种群除外）、溴氰虫酰胺和氯虫苯甲酰胺均表现为高水平抗性。双丙环虫酯是登记用于防治棉田棉蚜*Aphis gossypii*的新型杀虫剂，本团队在新疆田间走访调查过程中发现该杀虫剂施用频率高、覆盖范围广，可能是驱动与棉蚜伏蚜同期发生的花蓟马抗药性发展与演化的关键因素。新疆棉花田7个花蓟马种群对拟除虫菊酯类杀虫剂甲氰菊酯、高效氯氟氰菊酯普遍产生中高水平抗性。啜泽润等（2025）在内蒙古向日葵田开展花蓟马田间防治试验，发现高效氯氟氰菊酯在施用后7 d的防治效果最好，但仍低于80%，表明内蒙古向日葵田花蓟马种群对高效氯氟氰菊酯产生了一

定程度的抗性;安格尔(2024)研究表明,内蒙古呼和浩特市苜蓿田花蓟马对拟除虫菊酯类杀虫剂联苯肼酯产生了高水平抗性,其抗性倍数为134.22倍。本研究中,新疆棉花田7个花蓟马种群对阿维菌素普遍产生高水平抗性,尤其是石河子、昌吉和阿克苏种群,抗性倍数分别达3 847.4倍、2 429.9倍和933.4倍。张暄翊等(2022)对宁夏盐池县黄花菜*Hemerocallis citrina*田花蓟马种群进行防治试验,结果显示阿维菌素在施用后3 d的防治效果最好,但仍低于70%,表明该地区花蓟马种群已对阿维菌素产生了一定的抗性。整体而言,南疆花蓟马种群的抗药性水平略高于北疆种群,且南疆、北疆种群的抗药性水平明显高于东疆种群,推测其原因可能与棉花种植面积、害虫发生情况以及用药频次和强度有关。南疆和北疆作为新疆棉花主产区(占全疆棉花总面积的99%以上),大面积集中连片种植模式导致蓟马等害虫种群密度高,致使频繁、高强度使用杀虫剂进行防治;相比之下,东疆棉花种植面积占全疆的比率不到1%(新疆维吾尔自治区统计局,2022),花蓟马等害虫发生相对较轻,杀虫剂使用频率和强度较低,这可能是东疆花蓟马抗药性发展较缓慢的主要原因。

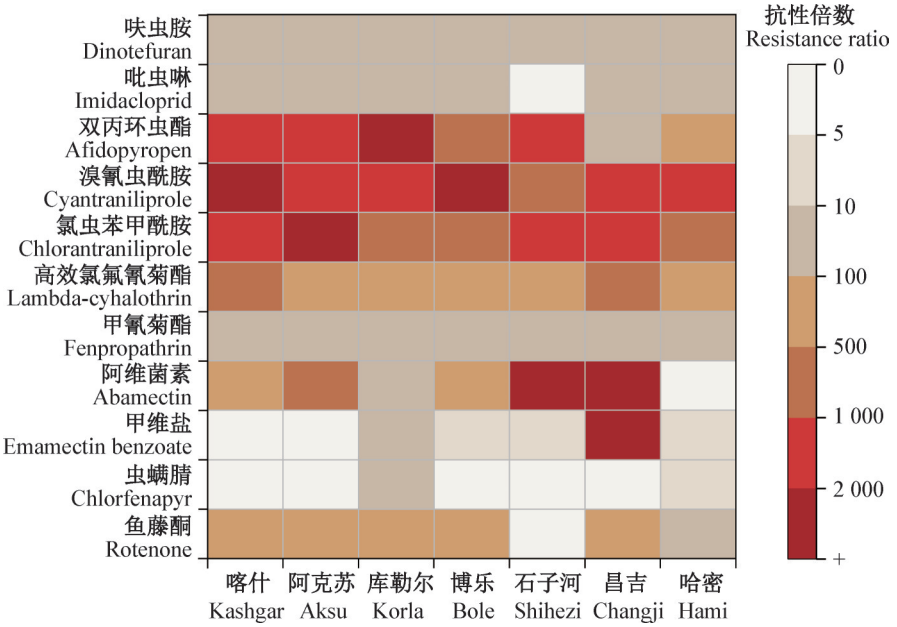


图1 新疆7个棉区花蓟马对常用杀虫剂的抗性等级分布

Fig. 1 Distribution of resistance levels of *Frankliniella intonsa* populations from seven cotton-growing regions of Xinjiang regions to commonly used insecticides

新疆棉田花蓟马种群对11种杀虫剂的抗性监测结果显示,南疆、北疆种群的抗药性水平明显高于东疆种群。7个花蓟马种群对双丙环虫酯、溴氰虫酰胺和氯虫苯甲酰胺普遍产生了极高水平抗性,多数种群对高效氯氟氰菊酯和阿维菌素达高水平至极高水平抗性,在棉田花蓟马防治中要谨慎使用上述杀虫剂种类。除库尔勒种群外的6个种群对虫螨腈均保持敏感或低水平抗性,表明虫螨腈可作为新疆棉田花蓟马防治的候选杀虫剂;昌吉种群对甲维盐产生了极端高水平抗性,库尔勒种群对其产生中等水平抗性,其余5个种群对其仍处于敏感或低水平抗性,在低抗区可轮换施用甲维盐和虫螨腈,以延缓花蓟马抗药性的发展速度。后续需进一步加强新疆棉田花蓟马的抗药性监测,为其预防与治理提供科学依据。

参 考 文 献(References)

An GE. 2024. Molecular mechanism analysis of resistance to pyrethroid insecticides in *Frankliniella intonsa*, an important pest of alfalfa. Master thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University (in Chinese) [安格尔. 2024. 苜蓿重要害虫花蓟马(*Frankliniella intonsa* Trybom)对拟除虫菊酯类杀虫剂产生抗性的分子机理解析. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学]

Bureau of Statistics of Xinjiang Uyghur Autonomous Region. 2022. Xinjiang statistical yearbook: 2021. https://tjj.xinjiang.gov.cn/tjj/nyypu/list_nj1.shtml (in Chinese) [新疆维吾尔自治区统计局. 2022. 新疆统计年鉴: 2021年. https://tjj.xinjiang.gov.cn/tjj/nyypu/list_nj1.shtml]

Chen BX, Dong YZ, Lu H, Zhou GY. 2009. Screening and field trial of pesticides for flower thrips (*Frankliniella intonsa*) in peanut. Jour-

nal of Peanut Science, 38(3): 1−5 (in Chinese) [陈炳旭, 董易之, 陆恒, 周桂元. 2009. 花生花蓟马室内药剂筛选及田间药效试验. 花生学报, 38(3): 1−5]

Chuai ZR, Chen XL, Qu H, Zhang WB, Zhang J, Zhao J, Su YJ, Zhang Y, Li HP. 2025. Evaluation of insecticide virulence and efficacy against *Frankliniella intonsa* in sunflower. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 46(1): 12−16, 33 (in Chinese) [啜泽润, 陈学亮, 渠汇, 张文兵, 张键, 赵君, 苏雅杰, 张圆, 李海平. 2025. 杀虫剂对向日葵田花蓟马的毒力及防效评价. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 46(1): 12−16, 33]

Dang WW, Liu B, Chu D, Lu YH. 2023. Dominated species and the predation assessment of natural enemies on thrips in cotton fields in Xinjiang. Scientia Agricultura Sinica, 56(17): 3347−3357 (in Chinese) [党雯雯, 刘冰, 褚栋, 陆宴辉. 2023. 新疆棉田蓟马的捕食性天敌优势种类筛选与控害功能评价. 中国农业科学, 56(17): 3347−3357]

Fan R. 2023. Insecticide sensitivity and reproductive competition of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* under CO_2 stress. Master thesis. Kunming: Yunnan Agricultural University (in Chinese) [樊锐. 2023. CO_2胁迫下西花蓟马和花蓟马的药剂敏感性及生殖竞争的研究. 硕士学位论文. 昆明: 云南农业大学]

Fan R, Fan ZF, Sun ZX, Chen YP, Gui FR. 2023. Insecticide susceptibility and detoxification enzyme activity of *Frankliniella occidentalis* under three habitat conditions. Insects, 14(7): 643

Fan ZF, Chen YP, Fan R, He SQ, Gui FR. 2022. Comparison of responses of *Frankliniella occidentalis* and *F. intonsa* (Thysanoptera: Thripidae) to chlorfenapyr and tolfenpyrad under elevated CO_2. Acta Entomologica Sinica, 65(6): 718−729 (in Chinese) [樊宗芳, 陈亚平, 樊锐, 和淑琪, 桂富荣. 2022. 高CO_2浓度下西花蓟马和花蓟马对虫螨腈和唑虫酰胺的响应比较. 昆虫学报, 65(6): 718−729]

Fan ZF, Song JL, Gui FR, He SQ. 2021. Effect of five insecticides on toxicity and physiological enzyme activities of *Frankliniella occidentalis* and *F. intonsa*. Journal of Biosafety, 30(3): 206−212 (in Chinese) [樊宗芳, 宋洁蕾, 桂富荣, 和淑琪. 2021. 5种杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力及其生理酶活性的影响. 生物安全学报, 30(3): 206−212]

Fu BL, Tao M, Xue H, Jin HF, Liu K, Qiu HY, Yang SY, Yang X, Gui LY, Zhang YJ, et al. 2022. Spinetoram resistance drives interspecific competition between *Megalurothrips usitatus* and *Frankliniella intonsa*. Pest Management Science, 78(6): 2129−2140

Jiang YY, Liu J, Zeng J, Xia B, Lu YH. 2021. Monitoring and forecast of cotton pests in China: a review over the past 70 years. Journal of Plant Protection, 48(5): 940−946 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 夏冰, 陆宴辉. 2021. 中国棉花害虫测报: 70年回顾. 植物保护学报, 48(5): 940−946]

Li N, Ma W, Hong B, Wang XP. 2022. Insecticide resistance monitoring of the field populations of thrips on alfalfa in Yinchuan area. Agrochemicals, 61(9): 687−692 (in Chinese) [李楠, 马雯, 洪波, 王新谱. 2022. 银川地区4种苜蓿蓟马田间种群对10种杀虫剂的抗药性测定. 农药, 61(9): 687−692]

Liu Y, Hu JY, Liu SW, Chang XH, Song YQ. 2024. Research progress on resistance of *Frankliniella occidentalis* to frequently-used insecticides. Agrochemicals, 63(10): 703−711 (in Chinese) [刘艳, 呼健洋, 刘少武, 常秀辉, 宋玉泉. 2024. 西花蓟马对常用杀虫剂的抗性研究进展. 农药, 63(10): 703−711]

Lu YH. 2021. Ever-evolving advances in the researches of cotton insect pest management in China. Journal of Plant Protection, 48(5): 937−939 (in Chinese) [陆宴辉. 2021. 与时俱进的中国棉花害虫治理研究. 植物保护学报, 48(5): 937−939]

Rueda A, Shelton AM. 2003. Development of a bioassay system for monitoring susceptibility in *Thrips tabaci*. Pest Management Science, 59(5): 553−558

Song W, Wang JX, Cao LJ, Chen JC, Bao WX, Chen M, Wei SJ. 2024. A chromosome-level genome for the flower thrips *Frankliniella intonsa*. Scientific Data, 11: 280

Wang P, Liu XG, Huang ZY. 2016. Laboratory bioassay of five insecticides on against field dominant populations of thrips. Agrochemicals, 55(7): 527−529 (in Chinese) [王彭, 刘叙杆, 黄正谊. 2016. 5种药剂对不同地区蓟马田间优势种群的敏感度测定. 农药, 55(7): 527−529]

Wang Q, Cao SZ, Li XJ, An XL. 2024. Occurrence characteristics and green prevention and control techniques of cotton pests and diseases in the "Dry Sowing and Wet Germination" mode in Xiaohaizi Reclamation Area in southern Xinjiang. China Cotton, 51(6): 57−59, 62 (in Chinese) [王嵌, 曹栓柱, 李晓君, 安晓龙. 2024. 新疆南疆小海子垦区"干播湿出"棉花病虫害发生特点及绿色防控技术. 中国棉花, 51(6): 57−59, 62]

Wang YR, Chang JB, Xiang H, Cui JJ, Ma DY, Fan ZF, Lu W. 2025. Resistance monitoring of the field populations of *Frankliniella intonsa* (Thysanoptera: Thripidae) to six insecticides in four major cotton growing areas of Xinjiang, Northwest China. Acta Entomologica Sinica, 68(5): 619−625 (in Chinese) [王燕茹, 常京宝, 向豪, 崔金杰, 马德英, 樊宗芳, 路伟. 2025. 新疆四个棉花主栽区花蓟马田间种群对六种杀虫剂的抗性监测. 昆虫学报, 68(5): 619−625]

Zhai XL, Zhu J. 2025. The 2024 annual cotton market analysis and the situation outlook in 2025. China Cotton, 52(7): 1−6, 9 (in Chinese) [翟雪玲, 朱佳. 2025. 2024年棉花市场分析及2025年形势展望. 中国棉花, 52(7): 1−6, 9]

Zhang XY, Guo JR, Zhang YL, Sun JW, Hong B, Jia YX. 2022. Synergistic effect and field efficacy of insecticide combinations on *Frankliniella intonsa*. Agrochemicals, 61(7): 537−541 (in Chinese) [张暄翊, 郭佳茹, 张愉力, 孙建伟, 洪波, 贾彦霞. 2022. 药剂复配对花蓟马的增效作用及田间防效. 农药, 61(7): 537−541]

Zhang XY, Wang K, Hong B, Guo JR, Sun JW, Zhang YL, Jia YX. 2023. Reduction and synergistic effect of spray adjuvants mixed with two kinds of insecticides against *Frankliniella intonsa*. Journal of Environmental Entomology, 45(3): 778−786 (in Chinese) [张暄翊, 王堃, 洪波, 郭佳茹, 孙建伟, 张愉力, 贾彦霞. 2023. 喷雾助剂对2种药剂防治花蓟马的减量增效作用. 环境昆虫学报, 45(3): 778−786]

（责任编辑：李美娟）