文章编号：1005-0906(2026)01-0104-07 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20260112

5种杀虫剂对新疆玉米产区亚洲玉米螟的室内毒力测定及田间药效评价

贾尊尊[1],孙健博[1,2],叶晓琴[1],丁新华[1],付开赟[1],吐尔逊·阿合买提[1],李亚文[1],姜卫华[3],安尼瓦尔·库尔班[2],关志坚[4],戴爱梅[5],郭文超[1]

(1.新疆农业科学院植物保护研究所,乌鲁木齐 830091；2.新疆农业大学农学院,乌鲁木齐 830052；3.南京农业大学植物保护学院,南京 210095；4.察布查尔县农业技术推广站,新疆 伊宁 835300；5.博尔塔拉蒙古自治州农业技术推广中心,新疆 博乐 833400)

摘 要：2022、2023年连续两年利用人工饲料混药法开展新疆玉米产区5个地州(市)的亚洲玉米螟种群5种杀虫剂的抗性监测及田间验证。结果表明,室内抗性监测发现,新疆各地区玉米螟对该5种常用杀虫剂多为敏感程度,2022年与2023年结果均发现,昌吉种群(CJ-1、CJ-2)对氯虫苯甲酰胺、四唑虫酰胺、乙多·甲氧虫产生中等水平抗性,抗性倍数(RR)由高到低依次为39.82、19.24、17.99(2022),25.17、10.57、10.33(2023)。田间防效结果与室内抗性监测结果基本一致,5%阿维菌素32.25 mL/hm^2,药后28 d防效最高,为91.86%；10%溴氰虫酰胺(倍内威)可分散油悬浮剂(SC)210 mL/hm^2,药后28 d防效最低,为76.64%。

关键词：玉米；亚洲玉米螟；杀虫剂；抗药性；田间防效

中图分类号：S435.132 **文献标识码**：A

Indoor Toxicity Determination and Field Efficacy Evaluation of Five Insecticides Against *Ostrinia furnacalis*(Guenée) in Maize-Producing Areas of Xinjiang

JIA Zun-zun[1], SUN Jian-bo[1,2], YE Xiao-qin[1], DING Xin-hua[1], FU Kai-yun[1], TURSUN AHEMAT[1], LI Ya-wen[1], JIANG Wei-hua[3], ANWAR KURBAN[2], GUAN Zhi-jian[4], DAI Ai-mei[5], GUO Wen-chao[1]

(1. *Research Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi* 830091; 2. *College of Agronomy, Agricultural University, Urumqi* 830052; 3. *College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing* 210095; 4. *Qapqal County Agricultural Extension Station, Ili* 835300; 5. *Agro- tech Extensionand Service Centre of Bortala Mongolian Autonomous Prefecture, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Bole* 833400, China)

Abstract: This study conducted resistance monitoring of the Asian corn borer(*Ostrinia furnacalis*) to five insecticides in five prefectures(cities) of Xinjiang´s maize-producing regions over two consecutive years(2022 and 2023) using the artificial diet incorporation method, along with field validation. The results showed that indoor resistance monitoring indicated the most populations of the corn borer in Xinjiang remained sensitive to the five commonly used insecticides. However, the Changji population exhibited moderate resistance to chlorantraniliprole, tetraniliprole, and ethiprole·methoxyfenozide in both 2022 and 2023, with resistance ratios(RR) in descending order as follows: 39.82, 19.24, 17.99(2022) and 25.17, 10.57, 10.33(2023). Field efficacy results were largely consistent with indoor resistance monitoring: 5% abamectin applied at 32.25 mL/ha achieved the highest control efficacy of 91.86% at 28 days after application, while 10% cyantraniliprole(SC) (Baineiwei) applied at 210 mL/ha showed the lowest efficacy of 76.64% at 28 days after application.

Key words: Maize; *Ostrinia furnacalis*; Insecticide; Resistance; Field defence effectiveness

录用日期：2024-11-10

基金项目：农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室开放基金项目(KFJJ202202)、新疆维吾尔自治区玉米产业技术体系(XORS)

作者简介：贾尊尊(1990-),汉族,副研究员,博士,研究方向为农业昆虫与害虫防治。E-mail:jiazunzun@163.com

孙健博为本文共同第一作者。E-mail:282276511@qq.com

郭文超为本文通信作者。

亚洲玉米螟*Ostrinia furnacalis*(Guenee)属鳞翅目Lepidoptera,螟蛾科Pyralidae[1],是造成全球玉米减产的主要害虫。该害虫可造成玉米10%～30%产量损失,严重时达到50%以上,对玉米产量和质量产生了严重影响[2]。新疆是典型绿洲生态区,地处我国西北干旱和半干旱区,玉米是该区域重要的粮食作物[3]。随着新疆标准化农田建设程度增高,2021年新疆(含兵团)玉米制种面积已达4.73万hm^2,产量占全国40%以上,新疆现已成为我国第二大玉米制种基地[4]。新疆种植业产业结构调整,加之耕作制度、栽培模式、农区气候环境等多种因素变化,近年来亚洲玉米螟在新疆各区域多次大爆发,该虫在多个地区越冬基数逐年增高[5-8]。杀虫剂已作为防控亚洲玉米螟的主要手段[9-11]。随着杀虫剂频繁施用,亚洲玉米螟的抗性产生不可避免[12-14],亚洲玉米螟的抗性产生已有报道。慕立义等[15-16]发现,玉米螟对氰戊菊酯等药剂产生抗药性,且更易对拟除虫菊酯类及氨基甲酸酯类杀虫剂产生抗性。蔡冬敏等[17]研究发现,玉米螟对噁二嗪类杀虫剂茚虫威、双酰胺类杀虫剂溴氰虫酰胺产生中等抗性水平。支昊宇等[18]研究发现,新疆亚洲玉米螟田间种群对双酰胺类杀虫剂产生低至中等水平抗性,其抗性与鱼尼丁受体基因的表达量增加和突变有关。王志慧等[19]研究发现,新疆亚洲玉米螟各地理种群对溴氰虫酰胺药剂产生了敏感性下降到极高水平抗性。抗性的产生对有效防治玉米螟提出挑战,抗药性的产生必然增加新疆主要玉米种植区玉米螟的防治成本,同时对玉米产业的产品质量安全造成严重影响。本研究连续两年针对田间常用5种杀虫剂,采用混毒饲料法开展亚洲玉米螟的抗性监测,同时通过毒力测定结果筛选出较为适用于田间防控的药剂,开展田间试验验证杀虫剂对亚洲玉米螟的防治效果,为杀虫剂的科学合理使用、可持续治理亚洲玉米螟提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　材　料

1.1.1　供试虫源

在2022年、2023年分别于疆维吾尔自治区昌吉回族自治州昌吉市、伊犁哈萨克自治州新源县、霍城县、察布查尔锡伯自治县、巩留县,博尔塔拉蒙古自治州博乐市等地开展越冬虫源调查,并剖杆采集已采收未处理玉米秸秆内越冬代幼虫(表1),每个样点采集200头以上,单头装入打孔EP管内带回室内,后补水待其羽化,使用产卵盒接入羽化成虫,收集卵块后转至养虫盒,使用人工饲料饲养至3龄作为试虫,人工饲料配方引自乔利[20]略作修改。相对敏感种群(SL)于2022年采自新疆喀什疏勒未施用杀虫剂的玉米秸秆中,不接触药剂使用人工饲料饲养至今,于2023年10月建立敏感基线。养虫室条件为温度(26±1) ℃,相对湿度60%,光暗时间为L//D=16 h//8 h。

表1　亚洲玉米螟来源及寄主

Table 1　Sampling sites and host crop for *Ostrinia furnacalis*

采集时间 Date of collection	种群名称 Population	采集地点 Location	经纬度 Latitude and longitude		虫量/百株(头) Hundred-stem insect quantity
			N	E	
2021/10/5	YN	伊犁哈萨克自治州伊宁县曲鲁海村	43°57′49"	81°40′33"	43
2021/10/8	XY-1	伊犁哈萨克自治州新源县塔勒德镇	43°25′33"	83°04′95"	38
2022/3/15	CJ-1	昌吉回族自治州昌吉市三工镇	43°56′07"	87°21′52"	14
2022/4/18	SW-1	塔城地区沙湾市大泉乡	44°22′43"	85°37′18"	23
2022/4/21	WLMQ	乌鲁木齐市新市区西戈壁	43°58′07"	87°29′25"	26
2022/5/7	SL	喀什地区疏勒县塔孜洪乡	39°17′32"	76°09′56"	47
2023/2/27	C	伊犁哈萨克自治州察布查尔县爱新舍里镇	43°48′25"	80°48′26"	40
2023/3/2	L	伊犁哈萨克自治州霍城县兰干乡	44°03′27"	80°52′32"	42
2023/3/10	XY-2	伊犁哈萨克自治州新源县吐尔根乡	43°31′31"	83°29′15"	39
2023/4/9	GL	伊犁哈萨克自治州巩留县巩留镇	43°29′43"	82°14′18"	46
2023/4/12	BB	博尔塔拉蒙古自治州博乐市贝林哈日莫墩乡	44°43′38"	82°24′54"	38
2023/4/16	SW-2	塔城地区沙湾市三道河子镇	44°20′28"	85°37′53"	19
2023/4/17	CJ-2	昌吉回族自治州玛纳斯县凉州户镇	44°16′33"	86°11′32"	11

1.1.2 供试药剂

20%氯虫苯甲酰胺悬浮剂[富美实(上海生农生化股份有限公司)];5%阿维菌素乳油[卫谷(河北兴柏农业科技有限公司)];6%乙基多杀菌素悬浮剂[美国陶氏益农公司(陶氏益农中国有限公司)];10%溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂[美国富美实公司(上海绿泽生物科技有限责任公司)];34%乙多·甲氧虫悬浮剂[陶氏益农(斯品诺)];200 g/L四唑虫酰胺悬浮剂[拜耳作物科学(中国)有限公司]。

1.1.3 田间施药器械

大疆T16植保无人机,深圳大疆创新科技有限公司,该机为电动多旋翼无人机,喷洒系统配备4个液泵及8个喷头,喷头为压力喷头,喷洒流量可调节。作业时喷幅宽度6 m,载药量16 L/架次,作业高度2 m。

1.2 方 法

1.2.1 室内毒力测定

本试验采用饲料混药法并略作修改[21]。药剂配制方法参考中华人民共和国农业行业标准NY/T1154.14-2008。根据预试验确定的浓度按比例用清水将其稀释成6个浓度(3.125、6.25、12.5、25、50、100 mg/L),清水作为对照CK,将人工饲料(3 cm×2 cm)在不同浓度的药液中浸渍10 s,取出晾干后放入P2圆盒(直径5 cm)中,每皿接入玉米螟3龄幼虫10头,以浸泡清水的饲料作为对照。每个处理3次重复。处理48 h后分别检查玉米螟的死亡情况,以毛笔轻触虫体不能正常活动为死亡标准。

1.2.2 田间药效试验

试验地点位于新疆伊犁哈萨克自治州察布查尔锡伯自治县(N:43°50′10";EL81°11′23")进行。选择播期一致、土质及水肥管理等栽培条件相同、未进行化学防虫的春播玉米田。试验设7个药剂处理和1个清水对照,按照试验推荐剂量设置两个浓度梯度,以田间常用杀虫剂氯虫苯甲酰胺作为常规对照,具体处理如下:5%阿维菌素乳油处理浓度为15、32.25 mL/hm^2;10%溴氰虫酰胺悬浮剂处理浓度为210、300 mL/hm^2;200 g/L四唑虫酰胺悬浮剂处理浓度为105、150 mL/hm^2,其中对照药剂为200 g/L氯虫苯甲酰胺悬浮剂150 mL/hm^2。试验每个处理施药区域87.5 m^2,8个处理共计700 m^2,每个处理3次重复,小区随机排列,每个小区之间设宽3 m保护行,在玉米心叶末期、玉米螟孵化初期使用小型无人机进行叶面喷雾。为防止药液漂移,每个处理间隔行施药。当日天气晴朗,微风,无降雨。施药后28 d调查田间防效。

1.3 数据处理与分析

1.3.1 室内毒力测定

按照Abbott公式计算死亡率和校正死亡率,采用机率值分析法计算毒力回归曲线、LC_{50}(mg/L)、相关系数及95%置信区间。抗性倍数(resistance ratio,RR)为田间种群LC_{50}与敏感品系LC_{50}的比值。抗性水平参照以下标准:RR小于3倍,为敏感性阶段;RR大于等于3倍、小于5倍,为敏感性下降;RR大于等于5倍、小于10倍,为低水平抗性;RR大于等于10倍、小于40倍,为中等水平抗性;RR大于等于40倍、小于160倍,为高水平抗性;RR大于等于160倍,为极高水平抗性。

1.3.2 各药剂处理防治效果

大田药效试验各处理区均于施药后第28天剖秆调查玉米植株被害情况。各处理3次重复,均各自按棋盘式样点取样法取5点,每点调查20株,总计100株,计算虫口减退率和防治效果。采用SPSS 26.0统计分析软件对试验数据进行方差分析,显著性分析采用Duncan氏新复极差法。

虫口减退率=(对照区活虫率-处理区活虫率)/对照区活虫率×100%;

防治效果=(处理区虫口减退率-空白对照虫口减退率)/(100%-对照区虫口减退率)×100%。

2 结果与分析

2.1 新疆玉米产区玉米螟种群的抗性监测

根据杀虫剂的不同作用方式,通过饲料混药法,测定2022年和2023年新疆不同玉米产区玉米螟对5种新疆地区田间常用药剂的敏感性(表2)。

以SL为敏感参照种群,结果显示,2022年所有测试种群中对乙多·甲氧虫仅昌吉种群产生了中等水平抗性,CJ-1抗性倍数为17.99倍;乌鲁木齐种群产生敏感性下降,WLMQ为4.11倍,其他种群保持敏感。对乙基多杀菌素产生了敏感性下降的现象,抗性倍数(RR)由高到低依次为CJ-1 6.76倍、WLMQ 3.32倍,其他种群保持敏感。对药剂四唑虫酰胺产生了低到中等水平抗性的现象,抗性倍数(RR)由高到低依次为CJ-1 19.24倍、SW-1 5.02倍,其他种群保持敏感。对药剂阿维菌素产生了敏感性下降现象,抗性倍数为CJ-1 3.07倍,其他种群保持敏感。对药剂氯虫苯甲酰胺产生了中等水平抗性的现象,抗性倍数(RR)CJ-1为39.82倍,其他种群保持敏感。

2023年与敏感种群SL相比,CJ-2对氯虫苯甲酰胺、四唑虫酰胺、乙多·甲氧虫产生了中等水平抗性,

表2　新疆玉米产区玉米螟对常用杀虫剂的抗性水平

Table 2　Resistance level of *Ostrinia furnacalis* to commonly used insecticides in maize producing areas of Xinjiang

药剂 Insecticide	年份 Year	种群 Population	测试个数(头) Number of tests	b值±SE Slope	LC_{50}及置信区间(mg/L) LC_{50}(95%FL)	卡方值(自由度) χ^2(df)"	抗性倍数 Resistance ratio
乙多·甲氧虫	2022	SL	210	0.81 ± 0.15	3.03(0.31 ~ 25.68)	3.48(3)	–
		XY-1	210	1.26 ± 0.18	5.90(0.85 ~ 19.78)	6.944(3)	1.95
		CJ-1	210	1.55 ± 0.28	54.43(36.82 ~ 91.40)	2.155(3)	17.99
		YN	210	0.81 ± 0.15	4.40(1.92 ~ 8.17)	2.707(3)	1.45
		WLMQ	210	2.33 ± 0.32	12.43(8.98 ~ 16.85)	2.390(3)	4.11
		SW-1	210	1.28 ± 0.18	6.22(3.86 ~ 9.58)	1.629(3)	2.06
	2023	SW-2	210	1.26 ± 0.17	6.39(3.96 ~ 9.89)	3.811(3)	2.11
		CJ-2	210	0.89 ± 0.16	31.26(17.56 ~ 67.75)	0.507(3)	10.33
		L	210	0.73 ± 0.15	4.36(1.66 ~ 8.61)	2.84(3)	1.44
		C	210	1.27 ± 0.18	5.24(3.17 ~ 8.10)	2.911(3)	1.73
		GL	210	1.11 ± 0.17	4.95(2.79 ~ 8.08)	0.676(3)	1.64
		XY-2	210	0.80 ± 0.14	2.48(0.91 ~ 4.80)	4.4(4)	0.82
		BB	210	0.81 ± 0.15	4.64(2.04 ~ 8.62)	3.192(3)	1.53
乙基多杀菌素	2022	SL	210	1.23 ± 0.18	1.10(1.20 ~ 2.57)	1.699(4)	–
		XY-1	210	1.64 ± 0.22	1.94(1.26 ~ 2.83)	4.499(4)	1.76
		CJ-1	210	1.06 ± 0.14	7.46(4.53 ~ 11.82)	4.775(4)	6.76
		YN	210	1.82 ± 0.25	1.83(0.71 ~ 3.75)	7.341(4)	1.65
		WLMQ	210	1.67 ± 0.20	3.67(1.37 ~ 7.98)	8.653(3)	3.32
		SW-1	210	1.35 ± 0.18	1.89(1.13 ~ 2.88)	2.081(4)	1.71
	2023	SW-2	210	1.18 ± 0.16	1.84(1.03 ~ 2.93)	2.688(4)	1.67
		CJ-2	210	0.45 ± 0.12	6.08(1.71 ~ 16.95)	1.151(4)	5.51
		L	210	0.81 ± 0.13	2.48(1.12 ~ 4.48)	2.351(4)	2.25
		C	210	0.60 ± 0.12	2.62(0.85 ~ 5.56)	6.109(4)	2.38
		GL	210	1.02 ± 0.15	1.13(0.52 ~ 1.97)	2.523(4)	1.02
		XY-2	210	0.82 ± 0.14	0.96(0.34 ~ 1.89)	1.317(4)	0.87
		BB	210	0.62 ± 0.12	1.562(0.44 ~ 3.4)	1.924(4)	1.42
四唑虫酰胺	2022	SL	210	1.11 ± 0.17	4.26(3.18 ~ 10.79)	2.642(3)	–
		XY-1	210	1.03 ± 0.16	5.10(2.74 ~ 8.49)	2.76(3)	1.20
		CJ-1	210	0.69 ± 0.16	81.98(36.09 ~ 433.73)	2.093(3)	19.24
		YN	210	0.80 ± 0.15	8.37(4.09 ~ 15.85)	1.679(3)	1.96
		WLMQ	210	0.87 ± 0.15	6.10(3.03 ~ 10.89)	0.373(3)	1.43
		SW-1	210	1.02 ± 0.16	21.40(12.85 ~ 38.54)	0.827(3)	5.02
	2023	SW-2	210	0.94 ± 0.16	19.63(11.38 ~ 36.90)	1.588(3)	4.60
		CJ-2	210	0.67 ± 0.15	45.04(21.00 ~ 169.08)	0.587(3)	10.57
		L	210	0.68 ± 0.14	5.73(2.22 ~ 11.82)	0.691(3)	1.35
		C	210	0.74 ± 0.15	5.60(2.36 ~ 10.95)	0.994(3)	1.31
		GL	210	0.71 ± 0.15	4.55(1.71 ~ 9.12)	0.607(3)	1.07
		XY-2	210	0.80 ± 0.15	5.85(2.71 ~ 10.89)	0.484(3)	1.37
		BB	210	0.75 ± 0.15	4.74(1.94 ~ 9.16)	0.982(3)	1.11
阿维菌素	2022	SL	210	1.15 ± 0.99	0.14(0.00 ~ 0.47)	1.449(3)	–
		XY-1	210	1.47 ± 0.40	0.46(0.09 ~ 0.88)	1.684(3)	1.81
		CJ-1	210	1.20 ± 0.24	0.78(0.26 ~ 1.45)	2.334(3)	3.07
		YN	210	1.66 ± 0.45	0.53(0.13 ~ 0.92)	0.797(3)	2.06
		WLMQ	210	1.20 ± 0.30	0.42(0.07 ~ 0.89)	1.141(3)	1.64
		SW-1	210	1.29 ± 0.38	0.32(0.03 ~ 0.72)	2.384(3)	1.26

续表 2 Continued 2

药 剂 Insecticide	年 份 Year	种 群 Population	测试个数 (头) Number of tests	b值 ± SE Slope	LC_{50}及置信区间 (mg/L) LC_{50}(95%FL)	卡方值 (自由度) χ^2(df)"	抗性倍数 Resistance ratio
阿维菌素	2023	SW-2	210	1.33 ± 0.22	1.52(0.76 ~ 2.47)	0.595(3)	5.96
		CJ-2	210	1.10 ± 0.22	0.82(0.25 ~ 1.57)	1.538(3)	3.20
		L	210	1.06 ± 0.23	0.53(0.11 ~ 1.13)	0.653(3)	2.07
		C	210	0.95 ± 0.22	0.44(0.06 ~ 1.04)	0.59(3)	1.71
		GL	210	1.16 ± 0.31	0.33(0.03 ~ 0.76)	0.758(3)	1.27
		XY-2	210	1.23 ± 0.31	0.40(0.06 ~ 0.85)	0.532(3)	1.55
		BB	210	1.27 ± 0.31	0.49(0.11 ~ 0.98)	0.848(3)	1.94
氯虫苯甲酰胺	2022	SL	210	0.70 ± 0.21	2.23(0.73 ~ 5.86)	2.147(4)	-
		XY-1	210	0.99 ± 0.21	4.42(1.59 ~ 7.53)	2.660(4)	1.98
		CJ-1	210	1.01 ± 0.22	88.91(50.37 ~ 282.67)	1.447(4)	39.82
		YN	210	1.11 ± 0.22	5.15(2.33 ~ 8.16)	2.18(4)	2.30
		WLMQ	210	0.62 ± 0.20	2.01(0.05 ~ 5.37)	1.012(4)	0.90
		SW-1	210	0.56 ± 0.20	2.11(0.02 ~ 5.99)	0.92(4)	0.94
	2023	SW-2	210	0.88 ± 0.21	3.56(0.89 ~ 6.66)	0.792(4)	1.59
		CJ-2	210	0.92 ± 0.24	56.20(33.16 ~ 149.24)	0.43(4)	25.17
		L	210	1.01 ± 0.22	4.34(1.58 ~ 7.36)	2.04(4)	1.94
		C	210	1.19 ± 0.22	5.24(2.55 ~ 8.09)	2.058(4)	2.34
		GL	210	1.12 ± 0.22	5.20(2.40 ~ 8.30)	0.814(4)	2.33
		XY-2	210	1.13 ± 0.22	5.22(2.41 ~ 8.23)	0.924(4)	2.34
		BB	210	0.90 ± 0.21	3.64(0.97 ~ 6.73)	2.252(4)	1.63

RR分别为25.17、10.57、10.33倍；对乙基多杀菌素产生了低水平抗性，RR为5.51倍；对阿维菌素表现为敏感性下降，RR为3.20倍。SW-2对阿维菌素产生了低水平抗性，RR为5.96倍，四唑虫酰胺表现为敏感性下降，RR为4.60倍；其余各地理种群对其他所测药剂(乙多·甲氧虫、乙基多杀菌素、四唑虫酰胺、阿维菌素、氯虫苯甲酰胺)均表现为敏感水平。

2.2 新疆玉米产区玉米螟种群的田间药效

表3 不同药剂处理对玉米螟的田间药效

Table 3 Field effects of different chemical treatments on *Ostrinia furnacalis*

处理编号 Processing number	药 剂 Insecticide	施药剂量 (mL/hm²) Application dose	虫量/百株(头) Hundred-stem insect quantity	用药后28 d 28 day after application	
				虫口减退率(%) Reducing rates for the pest	校正防效(%) Control efficacy
1	CK	-	42	(-8.70±1.97) E e	-
2	20%氯虫苯甲酰胺SC	150	42	(77.41±1.98) CD d	79.26±1.52 CD d
3	5%阿维菌素SC	32.25	43	(91.16±0.82) A a	91.86±0.73 A a
4	5%阿维菌素SC	15	44	(87.06±1.07) AB ab	88.11±0.85 AB b
5	10%溴氰虫酰胺OD	300	41	(85.26±1.18) AB bc	86.68±1.06 B bc
6	10%溴氰虫酰胺OD	210	43	(74.62±1.58) D d	76.64±1.42 D d
7	200g/L四唑虫酰胺SC	150	43	(84.87±0.53) AB bc	86.07±0.56 B bc
8	200g/L四唑虫酰胺SC	105	44	(82.22±1.85) BC c	83.69±1.44 BC c

注：表中数值为3次重复的平均值±标准误。同列数据后不同大小写字母分别表示在0.01、0.05水平下不同处理间的差异显著性(邓肯氏新复极差法)

Note: The values in the table are the mean ± standard error of three replicates. After the same column of data, different uppercase and lowercase letters indicate significant differences between different treatments at the 0.01 and 0.05 levels, respectively(Duncan´s new multiple range method)

根据室内抗药性监测结果,筛选出较适用于防控的药剂进行田间施药,通过药后第28天对田间玉米进行调查(表3)。田间试验表明,基于室内监测结果获得的4种杀虫剂在田间均有较好的防治效果。尤其是5%阿维菌素,在较低的施药剂量32.25、15 mL/hm^{2}下,防效均达到91.86%±0.73%、88.11%±0.85%;200g/L四唑虫酰胺SC防效达到86.07%±0.56%;10%溴氰虫酰胺300 mL/hm^{2}防效达到86.68%±1.06%。

3　结论与讨论

基于对5种常用杀虫剂的室内抗性监测及4种杀虫剂室外田间防效结果分析,新疆部分地区玉米螟已对四唑虫酰胺、氯虫苯甲酰胺杀虫剂产生了不同程度的抗药性,尤其是新疆昌吉州,对20%氯虫苯甲酰胺SC、10%溴氰虫酰胺OD产生了高等水平的抗药性。5%阿维菌素作为生物药剂田间防治效果较好,多地区的种群在抗性监测结果表现敏感。5%阿维菌素、34%乙多·甲氧虫悬浮剂可推荐作为玉米螟防控药剂。应注意双酰胺类杀虫剂的田间使用频率,注意轮换用药以防止亚洲玉米螟抗药性的产生。

昆虫对杀虫剂产生抗性是伴随杀虫剂对昆虫的选择作用而产生的,杀虫剂的选择是抗性进化的主要动力[23],杀虫剂的使用不可避免导致抗药性的产生。害虫抗药性监测可直接指导田间杀虫剂正确合理使用,对害虫抗药性变化动态进行密切的跟踪监测,是预防抗药性发展、制定出抗性治理方案的重要依据[24]。新疆玉米种植面积逐年增高,成为我国第二大制种玉米基地,尤其是新疆维吾尔自治区昌吉回族自治州,塔城地区和博尔塔拉蒙古自治州,是杀虫剂使用频率高的区域,这些区域的玉米有害生物除了玉米螟外,玉米蚜虫、双斑萤叶甲、棉铃虫及玉米叶螨也发生较为严重,玉米螟作为主要防控或者兼性防控的对象,受到了较高的药剂选择压力。前期调查发现[25],新疆玉米生产常用杀虫剂主要以菊酯类、烟碱类为主,不同地区用药存在差异,依照前期杀虫剂用药调查,针对部分本地区使用频率较低的杀虫剂开展室内毒力测定及室内敏感基线的建立。

本试验对5种田间常用杀虫剂,利用田间亚洲玉米螟相对敏感种群建立了5种杀虫剂的敏感毒力基线,并连续两年对新疆玉米产区亚洲玉米螟进行抗药性监测,明确了不同地区的抗药性水平。抗性监测结果表明,昌吉州的玉米螟种群对多种杀虫剂产生了抗药性,结合玉米螟采集地施药情况调查分析,近年来,新疆地区双酰胺类杀虫剂使用频率升高,尤其是昌吉州,因其存在较大面积的制种玉米,机械化水平较高、高密种植技术的推广导致玉米其他有害生物发生频率升高,玉米田施药频率增加,最终导致该地区亚洲玉米螟对多种杀虫剂的抗性升高。通过连续两年开展亚洲玉米螟对常用杀虫剂的抗性水平的室内监测,结果显示,昌吉种群已对氯虫苯甲酰胺、四唑虫酰胺、乙多·甲氧虫产生中等水平抗性。本研究发现,新疆玉米螟对双酰胺类杀虫剂及其复配剂均有不同程度的抗性,其致死中浓度也存在较大波动性,这可能与药剂的作用方式、作用机理等有关[26-27],也与当地用药背景关系密切。抗药性监测结果表明,伊犁州多地区对5种杀虫剂呈敏感或敏感下降,这与当地杀虫剂施用频率密切相关,该5种杀虫剂可作为当地防控玉米螟的杀虫剂。

基于前期施药现状的调查结果及抗性监测结果,筛选出该地区相对敏感的药剂进行田间防控,发现2017年在新疆伊犁州施用20% 氯虫苯甲酰胺(康宽) 悬浮剂90.0 mL/hm^{2}可达到较好的防治效果[28]。2023年结果表明,该地区该药剂已由前期80 mL/hm^{2}的推荐剂量增加至300 mL/hm^2。本试验以200 g/L氯虫苯甲酰胺150 mL/hm^{2}作为常规药剂处理,其防效仅为79.26%±1.52%。在多个地区研究发现,阿维菌素对玉米螟有较好的控制效果[29-31]。室内监测发现,伊犁地区玉米螟种群对该杀虫剂具有较高的敏感性,田间较低的用药量,均能达到较高的防治效果。玉米螟对10%溴氰虫酰胺OD和200 g/L四唑虫酰胺SC相对敏感,可作为田间的防控药剂。药剂的使用不可避免地导致抗药性的产生,建议杀虫剂轮换使用。

参考文献:

[1] 王振营,鲁新,何康来,等. 我国研究亚洲玉米螟历史、现状与展望[J]. 沈阳农业大学学报,2000(5):402-412.
WANG Z Y, LU X, HE K L, et al. Review of history present situation and prospect of the asian maize borer research in China[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2000(5): 402-412. (in Chinese)

[2] 王振营,王晓鸣. 我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策[J]. 植物保护,2019,45(1):1-11.
WANG Z Y, WANG X M. Current situation, trend and prevention and control measures of maize pests and diseases in China[J]. Plant Protection, 2019, 45(1): 1-11. (in Chinese)

[3] 丁新华,王小武,付开赟,等. 新疆荒漠绿洲主要玉米产区亚洲玉米螟种群时空动态[J]. 植物保护,2025,51(2):268-276,315.
DING X H, WANG X W, FU K Y, et al. Spatiotemporal dynamics evolution of *Ostrinia furnacalis* population in main corn producing areas of Xinjiang desertoasis[J]. Plant Protection, 2025, 51(2): 268-276, 315. (in Chinese)

[4] 李曼,赵文霞,贺娟娟,等. 新疆玉米育繁推一体化发展的探究

[J]. 中国种业,2023(7):16-19.
LI M, ZHAO W X, HE J J, et al. Research on the integrated development of maize breeding, propagation and promotion in Xinjiang[J]. China Seed Industry, 2023(7): 16-19. (in Chinese)

[5] 丁新华,刘芳慧,解玉梅,等. 新疆荒漠绿洲生态区玉米螟田间药效研究及经济效益评价[J]. 新疆农业科学,2016,53(4):663-672.
DING X H, LIU F H, XIE Y M, et al. Field efficacy study and economic benefit evaluation of corn borer in desert oasis ecological area of Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2016, 53(4): 663-672. (in Chinese)

[6] 阿依克孜,丁新华,付开赟,等. 新疆玉米产区三个玉米螟地理种群发育起点、有效积温测定与比较研究[J]. 新疆农业科学,2017,54(10):1863-1874.
AYIKEZ, DING X H, FU K Y, et al. Determination and comparative study on the development starting point and effective accumulated temperature of three geographical populations of corn borer in Xinjiang maize producing area[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(10): 1863-1874. (in Chinese)

[7] 丁新华,汪洋洲,贾尊尊,等. 新疆同域亚洲玉米螟和欧洲玉米螟发生与分布研究[J]. 植物保护,2023,49(4):13-20.
DING X H, WANG Y Z, JIA Z Z, et al. Studies on the occurrence and distribution of Asian corn borer and European corn borer in Xinjiang[J]. Plant Protection, 2023, 49(4): 13-20. (in Chinese)

[8] 丁新华,贾尊尊,王小武,等. 新疆同域亚洲玉米螟和欧洲玉米螟对温度的适应性差异[J]. 昆虫学报,2023,66(5):694-703.
DING X H, JIA Z Z, WANG X W, et al. Differences in temperature adaptability between Asian corn borer and European corn borer in Xinjiang[J]. Acta Entomologicala Sinica, 2023, 66(5): 694-703. (in Chinese)

[9] 周淑香,鲁新,王振营,等. 对不同世代亚洲玉米螟进行化学防治的效果比较[J]. 植物保护,2016,42(4):226-229.
ZHOU S X, LU X, WANG Z Y, et al. Comparison of the effects of chemical control on Asian corn borer in different generations[J]. Plant Protection, 2016, 42(4): 226-229. (in Chinese)

[10] 谭家壮,谭闻锦,梁合,等. 不同药剂及施药方式防治玉米螟田间药效试验[J]. 新农业,2018(17):4-7.
TANG J Z, TAN W J, LIANG H, et al. Field efficacy trials of different insecticides and application methods against corn borer[J]. New Agriculture, 2018(17): 4-7. (in Chinese)

[11] 高晋丽,杨丽莉,刘瑶,等. 亚洲玉米螟发生和防治研究进展[J]. 中国植保导刊,2024,44(10):22-28,40.
GAO J L, YANG L L, LIU Y, et al. Research progress on the occurrence and control of Asian corn borer(*Ostrinia furnacalis*)[J]. China Plant Protection, 2024, 44(10): 22-28, 40. (in Chinese)

[12] 慕立义,王开运. 杀虫剂室内选育亚洲玉米螟抗药性及交互抗性的研究[J]. 植物保护学报,1988(3):209-214.
MU L Y, WANG K Y. Study on insecticide resistance and cross resistance of *Ostrinia furnacalis* in laboratory[J]. Journal of Plant Protection, 1988(3): 209-214. (in Chinese)

[13] 林荣华,王晓军,姜辉,等. 亚洲玉米螟对丁硫克百威的抗性筛选及交互抗性[J]. 昆虫知识,2008(4):570-573.
LIN R H, WANG X J, JIANG H, et al. Resistance screening and cross- resistance of Asian corn borer to carbosulfan[J]. Insect Knowledge, 2008(4): 570-573. (in Chinese)

[14] 支昊宇,丁新华,陈萍,等. 氯虫苯甲酰胺对亚洲玉米螟解毒酶活性及生长发育的影响[J]. 南京农业大学学报,2021,44(1):89-96.
ZHI H Y, DING X H, CHEN P, et al. Effects of chlorantraniliprole on detoxifying enzyme activity and growth and development of *O. furnacalis*[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2021, 44(1): 89-96. (in Chinese)

[15] 慕立义,王开运. 亚洲玉米螟对六六六抗药性及取代药剂的研究[J]. 植物保护学报,1987,14(3):209-215.
MU L Y, WANG K Y. Studies on the resistance of Asian corn borer to BHC and its substitutes[J]. Journal of Plant Protection, 1987, 14(3): 209-215. (in Chinese)

[16] 王开运,慕立义. 亚洲玉米螟对氰戊菊酯抗性遗传的研究[J]. 华东昆虫学报,1995(2):103-105.
MANG K Y, MU L Y. Inheritance of fenvalerate resistance in the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*[J]. East China Journal of Entomology, 1995(2): 103-105. (in Chinese)

[17] 蔡冬敏. 山西地区玉米螟的发生规律及杀虫剂减施增效应用研究[D]. 扬州:扬州大学,2023.

[18] 支昊宇,王智慧,王兴仔,等. 亚洲玉米螟的抗药性监测及双酰胺类药剂抗性靶标分子检测[J]. 新疆农业科学,2021,58(4):690-699.
ZIN H Y, WANG Z H, WANG X Z, et al. Resistance monitoring of Asian corn borer and detection of target molecules for diamide resistance[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2021, 58(4): 690-699. (in Chinese)

[19] 王志慧. 新疆玉米有害生物调查及杀虫剂减施增效的技术研究与应用[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.

[20] 乔利,郑坚武,成卫宁,等. 不同饲料配方对亚洲玉米螟生长发育和繁殖的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008(5):109-112.
QIAO L, ZHENG J W, CHENG W N, et al. Effects of different feed formulations on the growth, development and reproduction of *O. furnacalis*[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2008(5): 109-112. (in Chinese)

[21] 吕圣兰,王有兵,谷少华,等. 化学杀虫剂对草地贪夜蛾毒力的生物测定方法比较[J]. 昆虫学报,2020,63(5):590-596.
LÜ S L, WANG Y B, GU S H, et al. Comparison of bioassay methods for toxicity of chemical insecticides to *Spodoptera frugiperda*[J]. Acta Entomologicala Sinica, 2020, 63(5): 590-596. (in Chinese)

[22] 刘凤沂,李惠陵,邱建友,等. 惠州地区褐飞虱对几种药剂的抗药性监测[J]. 昆虫知识,2010,47(5):991-993.
LIU F Y, LI H L, QIU J Y, et al. Monitoring the resistance of brown planthopper to several insecticides in Huizhou[J]. Insect Knowledge, 2010, 47(5): 991-993. (in Chinese)

[23] 刘晓漫,方勇,贤振华. 农业害虫抗药性监测技术研究进展[J]. 广西农业科学,2010,41(9):931-935.
LIU X M, FANG Y, XIAN Z H. Research progress on pesticide resistance monitoring technology of agricultural pests[J]. Guangxi Agricultural Sciences, 2010, 41(9): 931-935. (in Chinese)

[24] PALUMBI S R. Humans as the world's greatest evolutionary force[J]. Science, 2001, 293: 1786-1790.

(下转第117页)

cultural Boreali-Sinica, 1994, 9(2): 110-114. (in Chinese)

[18] YAMAMURA K, YOKOZAWA M, NISHIMORI M, et al. How to analyze long- term insect population dynamics under climate change: 50-year data of three insect pests in paddy fields[J]. Population Ecology, 2006, 48(1): 31-48.

[19] 杨宸,何康来,王振营 . 亚洲玉米螟蛀孔和越冬幼虫在玉米上的空间分布[J] . 玉米科学,2021,29(6):157-163 .
YANG C, HE K L, WANG Z Y. Spatial distribution of holes and overwintering larvae of the Asian corn borer in born stalk[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(6): 157-163. (in Chinese)

[20] 刘培斌,王凯,张海东,等 . 辽宁沈阳亚洲玉米螟越冬代发生动态及监测技术研究[J] . 中国植保导刊,2020,40(9):39-43 .
LIU P B, WANG K, ZHANG H D, et al. Study on the occurrence dynamics and monitoring techniques of overwintering generation of Asian corn borer in Liaoning Province[J]. China Plant Protection, 2020, 40(9): 39-43. (in Chinese)

[21] 张鹤,林进添 . 昆虫对全球气候变暖的响应[J] . 环境昆虫学报,2015,37(6):1280-1286 .
ZHANG H, LIN J T. Responses of insects to global warming[J]. Journal of Environmental Entomology, 2015, 37(6): 1280-1286. (in Chinese)

[22] 余金咏,于泉林 . 冀东地区亚洲玉米螟化性探讨[J] . 玉米科学,2013,21(3):140-143,148 .
YU J Y, YU Q L. A preliminary Study on the voltinism of *Ostrinia furnacalis*(Guenée) in the eastern region of Hebei Province[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(3): 140-143, 148. (in Chinese)

[23] 侯月敏,宋显东,王振,等 . 哈尔滨市郊区亚洲玉米螟发生规律与卵块空间分布研究[J] . 植物保护,2018,44(4):151-157 .
HOU Y M, SONG X D, WANG Z, et al. Occurrence rules of *Ostrinia furnacalis* (Guenée) and the spatial distribution of egg masses in the suburbs of Harbin[J]. Plant Protection, 2018, 44(4): 151-157. (in Chinese)

[24] 石凯,李健民,董永义,等 . 越冬代亚洲玉米螟成虫发生动态及其与温度关系初探--以通辽市开鲁县为例[J] . 环境昆虫学报,2020,42(1):121-127 .
SHI K, LI J M, DONG Y Y, et al. Preliminary study on the occurrence dynamics of overwintering adults of *Ostrinia furnacalis* and its relations with temperature--Taking Kailu County of Tongliao City as an example[J]. Journal of Environment Entomology, 2020, 42(1): 121-127. (in Chinese)

[25] 张翠英,刘继敏,成兆金,等 . 气候变化对鲁西南棉铃虫的影响[J] . 中国棉花,2008,35(9):9-20 .
ZHANG C Y, LIU J M, CHENG Z J, et al. Influence of climate change on cotton bollworn in southwest of Shandong Province[J]. China Cotton, 2008, 35(9): 9-20. (in Chinese)

[26] BAKER M B, VENUGOPAL P D, LAMP W O. Climate change and phenology: *Empoasca fabae*(Hemiptera: Cicadellidae) migration and severity of impact[J]. PLoS One, 2015, 10(5): e0124915.

[27] STEFANESCU C, PENUELAS J, FILELLA I. Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin[J]. Global Change Biology, 2003, 9: 1494-1506.

[28] CHEN Q, ZHANG Y D, QI X H, et al. The effects of climate warming on the migratory status of early summer populations of *Mythimna separata*(Walker) moths: A case-study of enhanced corn damage in central-northern China, 1980-2016[J]. Ecology and Evolution, 2019, 9(21): 12332-12338.

[29] COHEN J M, LAJEUNESSE M J, ROHR J R. A global synthesis of animal phenological responses to climate change[J]. Nature Climate Change, 2018, 8: 224-228.

[30] 曾娟 . 中国小地老虎种群动态与发生为害演化趋势分析[D] . 北京:中国农业科学院:2021 .

[31] ZHOU X, HARRINGTON R, WOIWOD P, et al. Effects of temperature on aphid phenology[J]. Global Change Biology, 1995, 1(4): 303-313.

责任编辑:(栾天宇)

(上接第110页)

[25] 王志慧,贾尊尊,付开赟,等 . 新疆玉米有害生物发生、施药现状及减药对策分析[J] . 玉米科学,2021,29(4):97-103 .
WANG Z H, JIA Z Z, FU K Y, et al. Analysis of maize pest occurrence, pesticide application status and pesticide reduction countermeasures in Xinjiang[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(4): 97-103. (in Chinese)

[26] 王兴仔 . 亚洲玉米螟对氯虫苯甲酰胺敏感性差异及机制初探[D] . 南京:南京农业大学,2021 .

[27] 钱梦雅 . 亚洲玉米螟对四唑虫酰胺的抗性机理研究[D] . 合肥:安徽农业大学,2022 .

[28] 丁新华,王娜,王小武,等 . 小型无人机超低量喷雾防治玉米螟田间药效评价[J] . 新疆农业科学,2017,54(3):479-488 .
DING X H, WANG N, WANG X W, et al. Studies on the control effect of ultra low volume aerial spray using unmanned aerial vehicle (UAV) against the corn borer[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(3): 479-488. (in Chinese)

[29] 王利霞,贾文华,段爱菊,等 . 不同药剂对玉米螟的室内药效及毒力测定[J] . 天津农业科学,2014,20(6):103-106 .
WANG L X, JIA W H, DUAN A J, et al. Resistance monitoring and toxicology of Asian corn borer[J]. Tianjin Agricultural Science, 2014, 20(6): 103-106. (in Chinese)

[30] 李人杰,暴连群,张海航,等 . 5%阿维菌素水乳剂防治玉米田玉米螟田间药效试验[J] . 农药,2016,55(5):384-386 .
LI R J, BAO L Q, ZHANG H H, et al. Field efficacy test of 5% abamectin water emulsion against corn borer in corn field[J]. Pesticides, 2016, 55(5): 384-386. (in Chinese)

[31] 常秀辉,班兰凤,罗艳梅,等 . 4种杀虫剂对玉米螟不同生测方法的活性比较[J] . 农药,2015,54(11):840-841 .
CHANG X H, BAN L F, LUO Y M, et al. Comparison of the activity of four insecticides against corn borer by different bioassay methods[J]. Pesticides, 2015, 54(11): 840-841. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)