



稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺的抗性监测及其 抗氯虫苯甲酰胺种群对其他双酰胺类 杀虫剂的交互抗性

王 立¹, 董蓓蓓¹, 刘思彤^{1,2}, 陈韵箫¹, 杨凤霞¹, 张 帅³, 高聪芬^{1,*}

(1. 南京农业大学植物保护学院, 绿色农药创制与应用技术国家地方联合工程研究中心, 南京 210095;

2. 云南农垦产业研究院有限公司, 昆明 650106; 3. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100026)

摘要:【目的】本研究旨在明确稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 对氯虫苯甲酰胺的抗性水平、抗性稳定性及其抗氯虫苯甲酰胺种群对其他双酰胺类杀虫剂是否存在交互抗性。【方法】采用稻苗浸渍法测定我国 9 省(自治区)稻纵卷叶螟 32 个田间种群对氯虫苯甲酰胺和四唑虫酰胺的抗性, 并测定了两个氯虫苯甲酰胺抗性种群对其他双酰胺类杀虫剂的交互抗性, 以及湖南攸县、安徽潜山、安徽庐江和广西兴安田间种群在室内不接触药剂饲养后对氯虫苯甲酰胺的抗性稳定性。【结果】2019–2022 年间, 稻纵卷叶螟田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗性逐年上升, 2022 年首次监测到庐江、兴安、武穴、丹阳和潜山种群对氯虫苯甲酰胺达到高水平抗性(102.3~135.1 倍), 其他种群亦达到中等水平抗性(10.3~97.1 倍); 2019–2021 年监测的所有田间种群对四唑虫酰胺均表现为敏感, 2022 年所监测种群对四唑虫酰胺达到中等水平抗性(41.9~98.0 倍)。交互抗性试验结果表明, 对氯虫苯甲酰胺抗性约 100 倍的浙江嘉兴和安徽潜山种群对氟氯虫双酰胺、四唑虫酰胺、溴氰虫酰胺、环丙虫酰胺和四氯虫酰胺也表现出 31.6~100.5 倍中等至高水平抗性。稻纵卷叶螟田间种群在室内不接触药剂连续饲养 2~4 代后, 对氯虫苯甲酰胺的抗性表现出快速下降的现象。【结论】稻纵卷叶螟田间种群对氯虫苯甲酰胺和四唑虫酰胺已产生中等至高水平抗性, 且对氯虫苯甲酰胺产生抗性的稻纵卷叶螟田间种群对其他 5 种双酰胺类药剂也存在中等至高水平的交互抗性; 鉴于当前稻纵卷叶螟田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗性尚不稳定, 建议可通过限制或暂停使用该类药物, 以延缓其抗性发展和延长使用寿命。

关键词: 稻纵卷叶螟; 抗药性监测; 氯虫苯甲酰胺; 交互抗性; 抗性稳定性

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2024)04-0498-09

Monitoring of chlorantraniliprole resistance in the rice leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and the cross-resistance of its chlorantraniliprole-resistant populations to other diamide insecticides

WANG Li¹, DONG Bei-Bei¹, LIU Si-Tong^{1,2}, CHEN Yun-Xiao¹, YANG Feng-Xia¹, ZHANG Shuai³, GAO Cong-Fen^{1,*} (1. State & Local Joint Engineering Research Center of Green Pesticide Invention and Application, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Yunnan Agricultural Reclamation Industry Research Institute Co., Ltd., Kunming 650106, China;

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD1400900)

作者简介: 王立, 女, 1999 年 11 月生, 安徽铜陵人, 硕士研究生, 研究方向为杀虫剂毒理与抗性, E-mail: 13326410949@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: gaocongfen@njau.edu.cn

收稿日期 Received: 2023-06-19; 接受日期 Accepted: 2023-09-13

3. National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100026, China)

Abstract: 【Aim】 The objective of this research is to clarify the resistance level and resistance stability of chlorantraniliprole in the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis*, and to determine whether there are cross-resistance to other diamide insecticides in chlorantraniliprole-resistant populations. 【Methods】 The rice seedling dipping method was adopted to determine the resistance of 32 field populations of *C. medinalis* collected from nine provinces (autonomous regions) to chlorantraniliprole and tetraniliprole, the cross-resistance to other diamide insecticides in two chlorantraniliprole-resistant populations, and the resistance stability when the populations from Youxian, Hunan, Qianshan, Anhui, Lujiang, Anhui and Xing'an, Guangxi were not exposed to chlorantraniliprole in laboratory. 【Results】 The resistance of chlorantraniliprole in *C. medinalis* field populations kept increasing during 2019 – 2022. Lujiang, Xing'an, Wuxue, Danyang and Qianshan populations were monitored for the first time to have developed high level of resistance to chlorantraniliprole (102.3 – 135.1-fold), and other populations also reached moderate level of resistance (10.3 – 97.1-fold) in 2022. To tetraniliprole, all the monitored field populations kept susceptible during 2019 – 2021, while the populations monitored in 2022 have developed moderate level of resistance (41.9 – 98.0-fold). Moreover, the cross-resistance experiment results revealed that Jiaying and Qianshan populations which appeared about 100-fold resistance to chlorantraniliprole also showed 31.6 – 100.5-fold cross-resistance to cyhalodiamide, tetraniliprole, cyantraniliprole, cyclaniliprole and tetrachlorantraniliprole. In addition, the chlorantraniliprole resistance of field populations decreased rapidly after 2 – 4 generations of successive rearing without exposure to insecticides in laboratory. 【Conclusion】 The field populations of *C. medinalis* have developed moderate to high level of resistance to chlorantraniliprole and tetraniliprole. Moderate to high level of cross-resistance to five other diamide insecticides was found in chlorantraniliprole-resistant populations. Besides, the resistance to chlorantraniliprole was unstable in *C. medinalis* field populations. So, we strongly suggested limiting or suspending the application of diamide insecticides in order to delay the resistance development and postpone the application of diamide insecticides in *C. medinalis* control in the future.

Key words: *Cnaphalocrocis medinalis*; resistance monitoring; chlorantraniliprole; cross-resistance; resistance stability

稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 属于鳞翅目 (Lepidoptera) 螟蛾科 (Pyralidae), 是我国水稻上重要的迁飞性害虫之一, 分布遍及华中、华南、西南、华北和东北五大稻区, 水稻生长后期受其危害, 功能叶被害, 空瘪粒增加, 千粒重下降, 对产量影响最大 (车琳等, 2022)。当前, 化学防治是多数鳞翅目害虫的主要防治措施, 但是由于化学农药长期和不合理使用, 小菜蛾 *Plutella xylostella* (Wang and Wu, 2012)、二化螟 *Chilo suppressalis* 和甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (张帅, 2021) 均已对氯虫苯甲酰胺产生了极高水平的抗性, 而在稻纵卷叶螟上, 2010 – 2013 年有学者连续 3 年对南京、长沙、南宁三地稻纵卷叶螟进行抗药性监测, 发现其对氯虫苯甲酰胺的 LC_{50} 值逐年升高 (Zheng *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2014)。

由于氯虫苯甲酰胺早前在鳞翅目害虫的防治上

取得了优异的效果, 与之具有相同作用机理的邻苯二甲酰胺类杀虫剂也陆续开发上市, 但是由于氯虫苯甲酰胺在鳞翅目害虫上防治效果下降, 鳞翅目害虫对其他邻苯二甲酰胺类杀虫剂也产生抗性的现象得到了广泛关注。此前已有关于小菜蛾 (Wang *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2015)、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Sang *et al.*, 2016) 和番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* (Campos *et al.*, 2015) 上氯虫苯甲酰胺与溴氰虫酰胺之间存在交互抗性的研究, 而在抗氯虫苯甲酰胺的二化螟田间种群中也有研究发现其与氯氟氰虫酰胺、四氯虫酰胺等双酰胺类杀虫剂间存在交互抗性 (赵丹丹等, 2017)。近两年的抗性监测结果显示稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺的抗性逐年升高, 因此有必要研究稻纵卷叶螟对双酰胺类杀虫剂的交互抗性, 制定合理的药剂使用策略以延缓双酰胺类杀虫剂的使用寿命。

本研究通过监测 2019–2022 年我国 9 省(自治区)稻纵卷叶螟 32 个田间种群对氯虫苯甲酰胺和四唑虫酰胺的抗性,旨在明确稻纵卷叶螟对上述两种药剂的抗性水平,以对氯虫苯甲酰胺抗性较高的田间种群为材料,比较其对溴氰虫酰胺、四氯虫酰胺、环丙虫酰胺、四唑虫酰胺以及氟氯虫双酰胺的敏感性变化,以明确稻纵卷叶螟抗氯虫苯甲酰胺种群是否对这 5 种药剂存在交互抗性。此外,因害虫对不同杀虫剂的抗性遗传特性和抗性种群的适合度存在差异,从而表现出不同的抗性稳定性,而抗性是否稳定将直接影响该药剂在田间的使用策略,因此测定稻纵卷叶螟田间抗性种群在室内不接触药剂饲养后对氯虫苯甲酰胺的抗性变化,旨在明确稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺的抗性是否可以稳定遗传,从而为其抗性治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

田间种群于 2019–2022 年 5–9 月采集自广西、江西、湖南、安徽等 9 个省(自治区)27 个地区。相对敏感品系(Cm-S)由南京农业大学昆虫信息生态实验室的刘向东教授于 2019 年馈赠,该品系于 2010 年 9 月采自南京农业大学江浦农场和江苏省农业科学院稻田,在水稻上饲养 3 代后,根据廖怀建等(2012)提出的方法在室内用玉米苗连续饲养了 3 年。之后采用朱阿秀等(2015)提出的方法在室内用小麦苗连续饲养至今,期间不接触任何药剂。饲养条件:温度(27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $70\% \pm 10\%$,光周期 16L:8D。各种群采集信息见表 1。

1.2 供试药剂和试剂

95.3% 氯虫苯甲酰胺原药和 98.7% 溴氰虫酰胺原药由富美实(中国)投资有限公司提供;10% 四氯虫酰胺悬浮剂由沈阳科创化学品有限公司提供;90% 四唑虫酰胺原药由拜耳作物科学(中国)有限公司提供;97% 氟氯虫双酰胺原药由山东海利尔化工有限公司提供;95.71% 环丙虫酰胺由日本石原化学株式会社提供;N,N-二甲基甲酰胺(N,N-dimethylformamide)购自广东光华科技股份有限公司;曲拉通(Triton X-100)购自北京索莱宝生物技术有限公司。

1.3 毒力测定方法

采用稻苗浸渍法进行稻纵卷叶螟的抗药性监测以及抗性稳定性和交互抗性测定,具体方法参照

Endo 等(1993)和 Zheng 等(2011)并稍作改进。采用倍比稀释的方法,依次配制供试药剂系列浓度药液。供试水稻装在塑料杯(直径 7 cm,高 5 cm)培育至 15 日龄(约 20 cm 高),除去枯黄叶和死叶。按照浓度设置,取相应数量水稻苗,将供试水稻叶片完全浸入配好的药液 30 s,取出后自然晾干 30~60 min,以含有 0.1% Triton X-100 的清水作为对照。在培养皿(直径 7 cm)中放入 5 张滤纸,加入 2.0 mL 无菌水保湿,要求既能将滤纸全部润湿,也无明水滴落。剪下约 5 cm 长浸药晾干的稻苗上部叶片放入装有润湿滤纸的培养皿中,每皿 8~10 片叶片。用毛笔轻轻挑取强光下吐丝下垂的稻纵卷叶螟初孵幼虫放于稻叶上,每个培养皿接入 10 头虫,每浓度重复 4 次。取两块黑布(10 cm $\times$ 10 cm)用无菌水喷湿,将喷水面朝上,将培养皿覆盖,盖上皿盖,防止试虫逃逸。试虫放置于温度(27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $70\% \pm 10\%$,光周期 16L:8D 的培养箱中培养。72 h 后检查幼虫死亡情况,用细毛笔轻轻触碰幼虫,使其翻转腹部向上,以幼虫不能自主翻身死亡为标准。

1.4 数据分析

采用 POLO-Plus 数据统计软件计算毒力回归线的 LC_{50} 值及其 95% 置信限、斜率 b 值及其标准误、卡方值。抗性倍数的计算为:抗性倍数(resistance ratio, RR) = 杀虫剂对所测种群的 LC_{50} 值/杀虫剂对相对敏感性品系的 LC_{50} 值。抗药性水平分级标准参考水稻二化螟抗药性监测技术规程 NY/T 2058-2014(中华人民共和国农业部,2014),RR = 5.1~10.0 倍为低水平抗性;RR = 10.1~100.0 倍为中等水平抗性;RR > 100.0 倍为高水平抗性。交互抗性倍数(cross-resistance ratio, CR) = 测试药剂对氯虫苯甲酰胺田间抗性种群的 LC_{50} 值/测试药剂对氯虫苯甲酰胺相对敏感品系的 LC_{50} 值。

2 结果

2.1 2019–2022 年稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺的抗性水平

2019–2022 年共监测了我国 9 省(自治区)30 个稻纵卷叶螟田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗性,结果显示:2019 年所监测的 4 个田间种群对氯虫苯甲酰胺均处于敏感水平(1.3~2.7 倍);2020 年,分别来自安徽无为和江苏扬州的两个种群对氯虫苯甲酰胺产生了低水平抗性(7.5~7.8 倍),而其他 6 个田间种群对氯虫苯甲酰胺仍处于敏感水平(1.6~4.9

倍)；2021 年,广西宾阳种群和湖南湘潭种群对氯虫苯甲酰胺产生了中等水平抗性(13.4 ~22.1 倍),湖南邵东种群和安徽无为种群产生了低水平抗性(5.9 ~9.7 倍),而浙江诸暨种群和江苏扬州种群仍处于敏感水平(3.2 ~4.8 倍)；2022 年,分别来自广西兴安、江苏丹阳、安徽潜山、安徽庐江和湖北武穴的 5 个田间种群对氯虫苯甲酰胺已达高水平抗性(102.3 ~135.1 倍),其他 6 个监测种群对氯虫苯甲酰胺也产生了中等水平抗性(10.3 ~97.1 倍)(表 2)。从 4 年的监测结果来看,我国稻纵卷叶螟田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平逐年上升,2022 年首次监测到田间种群对氯虫苯甲酰胺产生了高水平抗性。

表 1 2019 –2022 年稻纵卷叶螟田间种群的采集信息
Table 1 Collecting information of the field populations of *Cnaphalocrocis medinalis* during 2019 –2022

种群 Population	采集地 Collecting locality	经纬度 Longitude and latitude	采集时间 (年.月.日) Collecting date (year. month. day)	采集代次 Collected generation	虫态(采集个体数量) Developmental stage (number of individuals collected)
GG22	广西贵港 Guigang, Guangxi	23.0°N, 109.6°E	2022.06.14	3	成虫 Adult (500)
XA22	广西兴安 Xing'an, Guangxi	25.5°N, 110.7°E	2022.06.16	3	成虫 Adult (500)
BY21	广西宾阳 Binyang, Guangxi	23.2°N, 108.8°E	2021.05.19	3	幼虫 Larva (150), 成虫 Adult (180)
YJ20	广东阳江 Yangjiang, Guangdong	21.9°N, 112.0°E	2020.06.09	3	幼虫 Larva (40)
LZ20	广东雷州 Leizhou, Gaungdong	20.9°N, 110.1°E	2020.05.21	3	幼虫 Larva (80)
SG19	广东韶关 Shaoguan, Guangdong	24.8°N, 113.6°E	2019.06.21	3	幼虫 Larva (80)
TH22	江西泰和 Taihe, Jiangxi	26.8°N, 114.9°E	2022.06.09	3	成虫 Adult (600)
NC22	江西南昌 Nanchang, Jiangxi	28.6°N, 116.0°E	2022.09.21	6	成虫 Adult (150)
YX22	湖南攸县 Youxian, Hunan	27.1°N, 113.3°E	2022.06.13	3	成虫 Adult (200)
HS22	湖南衡山 Hengshan, Hunan	27.4°N, 112.6°E	2022.09.22	6	成虫 Adult (400)
XT21	湖南湘潭 Xiangtan, Hunan	27.8°N, 113.0°E	2021.07.17	3	幼虫 Larva (350), 蛹 Pupa (30)
SD21	湖南邵东 Shao dong, Hunan	27.3°N, 111.8°E	2021.08.11	4	幼虫 Larva (406)
LY21	湖南浏阳 Liuyang, Hunan	28.2°N, 113.6°E	2021.08.13	4	幼虫 Larva (210)
JX22	浙江嘉兴 Ji axing, Zhejiang	30.9°N, 120.7°E	2022.09.09	6(4)	成虫 Adult (1 000)
ZJ21	浙江诸暨 Zhuji, Zhejiang	29.7°N, 120.3°E	2021.08.16	5(3)	幼虫 Larva (180)
ZJ20	浙江诸暨 Zhuji, Zhejiang		2020.07.18	4(2)	成虫 Adult (300), 卵块 Egg mass
QS22	安徽潜山 Qianshan, Anhui	30.7°N, 116.7°E	2022.08.30	6(4)	成虫 Adult (600)
QS19	安徽潜山 Qianshan, Anhui		2019.07.17	4	幼虫 Larva (230)
LJ22	安徽庐江 Lujiang, Anhui	31.3°N, 117.2°E	2022.09.12	6(4)	成虫 Adult (600)
WW21	安徽无为 Wuwei, Anhui	31.3°N, 117.9°E	2021.08.18	5(3)	幼虫 Larva (780)
WW20	安徽无为 Wuwei, Anhui		2020.08.22	5	幼虫 Larva (420)
DZ20	安徽东至 Dongzhi, Anhui	30.1°N, 117.0°E	2020.08.09	4	幼虫 Larva (38)
DY22	江苏丹阳 Danyang, Jiangsu	31.9°N, 119.5°E	2022.08.24	6(4)	幼虫 Larva (1 110)
NJ21	江苏南京 Nanjing, Jiangsu	32.1°N, 118.8°E	2021.09.20	6	幼虫 Larva (36)
YZ21	江苏扬州 Yangzhou, Jiangsu	32.4°N, 119.4°E	2021.09.16	6	幼虫 Larva (152)
YZ20	江苏扬州 Yangzhou, Jiangsu		2020.08.25	6	幼虫 Larva (41)
CZ20	江苏常州 Changzhou, Jiangsu	31.8°N, 120.0°E	2020.07.30	5	幼虫 Larva (57)
DY20	江苏丹阳 Danyang, Jiangsu	32.0°N, 119.6°E	2020.07.28	5	幼虫 Larva (480)
YZ19	江苏仪征 Yizheng, Jiangsu	32.3°N, 119.2°E	2019.08.08	5	幼虫 Larva (300)
WX22	湖北武穴 Wuxue, Hubei	30.0°N, 115.7°E	2022.09.11	6	成虫 Adult (500)
QC21	湖北蕲春 Qichun, Hubei	30.2°N, 115.4°E	2021.08.20	6	幼虫 Larva (31)
YC19	重庆永川 Yongchuan, Chongqing	29.4°N, 105.9°E	2019.06.21	3	幼虫 Larva (80)

种群一列中的英文缩写表示种群的采集地,数字代表种群的采集年份;采集代次一列中的数字表示稻纵卷叶螟在全国范围内的发生世代,括号内阿拉伯数字代表迁入虫源在本地发生世代;下表同。The English abbreviations in the column of the population represent collecting locality of the population, and the numbers represent the collecting year of the population. The numbers in the column of the collected generation represent the generation of *C. medinalis* in the whole China, and those in brackets represent the generation of emigrant populations in local area. The same for the following tables.

表 2 2019 – 2022 年稻纵卷叶螟田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平
Table 2 Resistance levels of the field populations of *Cnaphalocrocis medinalis* to chlorantraniliprole during 2019 – 2022

种群 Population	采集代次 Collected generation	LC ₅₀ (95% CL) (mg/L)	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	卡方值(自由度) χ^2 (df)	抗性倍数 RR
XA22	3	3.071 (2.384 – 3.706)	3.966 ± 0.677	0.471 (3)	113.7
GG22	3	2.593 (0.781 – 4.300)	2.594 ± 0.425	4.686 (3)	96.0
NC22	6	2.255 (1.669 – 2.917)	2.139 ± 0.333	1.342 (3)	83.5
TH22	3	1.752 (1.183 – 2.452)	1.328 ± 0.197	3.945 (4)	64.9
HS22	6	1.765 (0.569 – 3.071)	2.362 ± 0.378	5.118 (3)	65.4
YX22	3	0.279 (0.125 – 0.464)	1.805 ± 0.288	3.029 (3)	10.3
JX22	6 (4)	2.621 (1.166 – 7.377)	1.440 ± 0.279	3.745 (3)	97.1
LJ22	6 (4)	3.647 (2.607 – 4.876)	1.932 ± 0.315	1.461 (3)	135.1
QS22	6 (4)	2.761 (1.523 – 3.601)	3.081 ± 0.897	2.123 (3)	102.3
DY22	6 (4)	2.868 (1.831 – 4.461)	2.430 ± 0.293	4.557 (3)	106.2
WX22	6	3.060 (2.190 – 4.033)	2.139 ± 0.327	0.826 (3)	113.3
BY21	3	0.598 (0.392 – 0.789)	2.439 ± 0.452	1.733 (3)	22.1
XT21	3	0.362 (0.229 – 0.525)	1.335 ± 0.208	0.914 (4)	13.4
SD21	4	0.228 (0.125 – 0.407)	1.248 ± 0.292	1.662 (4)	8.4
LY21	4	0.134 (0.092 – 0.175)	2.587 ± 0.425	1.343 (3)	5.0
ZJ21	5 (3)	0.087 (0.050 – 0.130)	1.335 ± 0.225	0.363 (4)	3.2
WW21	5 (3)	0.262 (0.140 – 0.436)	0.932 ± 0.156	3.475 (5)	9.7
YZ21	6	0.132 (0.081 – 0.188)	1.516 ± 0.272	1.363 (3)	4.8
YJ20	3	0.057 (0.032 – 0.081)	2.460 ± 0.530	1.818 (3)	2.1
LZ20	3	0.042 (0.025 – 0.062)	1.618 ± 0.254	0.876 (4)	1.6
ZJ20	4 (2)	0.047 (0.029 – 0.066)	1.570 ± 0.236	2.758 (4)	1.7
WW20	5	0.203 (0.121 – 0.291)	1.682 ± 0.290	0.733 (3)	7.5
DZ20	4	0.088 (0.056 – 0.120)	2.243 ± 0.366	3.762 (4)	3.3
YZ20	6	0.210 (0.121 – 0.291)	1.469 ± 0.283	3.762 (4)	7.8
CZ20	5	0.131 (0.087 – 0.172)	2.409 ± 0.422	2.488 (4)	4.9
DY20	5	0.085 (0.058 – 0.119)	1.613 ± 0.245	0.880 (4)	3.1
SG19	3	0.073 (0.032 – 0.116)	2.652 ± 0.445	4.426 (3)	2.7
QS19	4	0.037 (0.020 – 0.052)	3.390 ± 0.626	3.020 (3)	1.4
YZ19	5	0.057 (0.046 – 0.067)	3.967 ± 0.648	0.387 (3)	2.1
YC19	3	0.035 (0.022 – 0.046)	2.907 ± 0.540	0.542 (3)	1.3

LC₅₀ : 致死中浓度 Medium lethal concentration; CL: 置信限 Confidence limit. 抗性倍数 (RR) = 杀虫剂对所测种群的 LC₅₀ 值/杀虫剂对相对敏感品系的 LC₅₀ 值; 种群信息见表 1。Resistance ratio (RR) = LC₅₀ value of the insecticide to the test population/LC₅₀ value of the insecticide to the susceptible strain. The population information were shown in Table 1. 下同。The same below.

2.2 2019 – 2022 年稻纵卷叶螟对四唑虫酰胺的抗性水平

2019 – 2022 年共监测了我国 9 省 (自治区) 23 个稻纵卷叶螟田间种群对四唑虫酰胺的抗性水平, 结果显示: 2019 – 2021 年, 17 个田间种群对四唑虫酰胺均表现为敏感水平 (0.5 ~ 3.9 倍); 2022 年 6 个田间种群对四唑虫酰胺的抗性倍数为 41.9 ~ 98.0 倍, 达到中等水平抗性 (表 3)。从 4 年的监测结果来看, 我国稻纵卷叶螟田间种群对四唑虫酰胺的抗性急速上升, 抗药性最高的安徽潜山种群 QS22 对四唑虫酰胺的抗性已近百倍。

2.3 抗氯虫苯甲酰胺田间种群对双酰胺类杀虫剂的交互抗性水平

采用稻苗浸渍法分别测定了稻纵卷叶螟室内相

对敏感品系及浙江嘉兴种群 JX22 和安徽潜山种群 QS22 两个稻纵卷叶螟田间抗性种群 (RR 分别为 97.1 和 102.3 倍) 对四唑虫酰胺、溴氰虫酰胺、四氯虫酰胺、环丙虫酰胺和氟氯虫双酰胺的抗性水平。结果显示, 浙江嘉兴种群 JX22 对其余 5 种双酰胺类杀虫剂的抗性从高到低依次为氟氯虫双酰胺 (91.5 倍)、溴氰虫酰胺 (87.3 倍)、环丙虫酰胺 (55.9 倍)、四唑虫酰胺 (49.0 倍)、四氯虫酰胺 (31.6 倍); 安徽潜山种群 QS22 对其余 5 种双酰胺类杀虫剂的抗性从高到低依次为氟氯虫双酰胺 (100.5 倍)、四唑虫酰胺 (98.0 倍)、溴氰虫酰胺 (96.9 倍)、环丙虫酰胺 (64.1 倍)、四氯虫酰胺 (33.3 倍) (表 4)。表明抗氯虫苯甲酰胺稻纵卷叶螟田间种群对其他 5 种双酰胺药剂存在明显的交互抗性, 对氯虫苯甲酰胺约

表 3 2019 – 2022 年稻纵卷叶螟田间种群对四唑虫酰胺的抗性水平

Table 3 Resistance levels of the field populations of <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> to tetraniliprole during 2019 – 2022					
种群 Population	采集代次 Collected generation	LC ₅₀ (95% CL) (mg/L)	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	卡方值(自由度) χ^2 (df)	抗性倍数 RR
GG22	3	1. 023 (0. 461 – 1. 625)	1. 730 ± 0. 472	2. 685 (3)	46. 5
XA22	3	0. 921 (0. 413 – 1. 227)	3. 739 ± 1. 171	1. 535 (3)	41. 9
TH22	3	1. 248 (0. 749 – 3. 429)	1. 251 ± 0. 324	0. 593 (3)	56. 7
JX22	6 (4)	1. 079 (0. 235 – 1. 832)	2. 577 ± 0. 447	4. 847 (3)	49. 0
QS22	6 (4)	2. 157 (1. 424 – 3. 536)	1. 908 ± 0. 492	0. 771 (3)	98. 0
LJ22	6 (4)	1. 538 (0. 650 – 3. 731)	1. 918 ± 0. 254	8. 179 (3)	69. 9
BY21	3	0. 040 (0. 026 – 0. 056)	1. 749 ± 0. 313	1. 392 (3)	1. 8
LY21	4	0. 050 (0. 033 – 0. 067)	1. 936 ± 0. 296	2. 480 (4)	2. 3
WW21	5 (3)	0. 052 (0. 036 – 0. 072)	1. 691 ± 0. 297	0. 238 (3)	2. 4
NJ21	6	0. 053 (0. 035 – 0. 069)	2. 675 ± 0. 568	0. 894 (3)	2. 4
QC21	6	0. 081 (0. 040 – 0. 131)	2. 062 ± 0. 329	3. 354 (3)	3. 7
LZ20	3	0. 027 (0. 015 – 0. 043)	1. 827 ± 0. 264	5. 039 (4)	1. 4
YJ20	3	0. 023 (0. 017 – 0. 031)	1. 748 ± 0. 242	2. 258 (4)	1. 2
ZJ20	4 (2)	0. 075 (0. 052 – 0. 099)	2. 069 ± 0. 291	1. 765 (4)	3. 9
WW20	5	0. 057 (0. 035 – 0. 078)	2. 226 ± 0. 418	2. 240 (4)	3. 0
DZ20	4	0. 053 (0. 028 – 0. 076)	2. 065 ± 0. 430	3. 729 (4)	2. 4
CZ20	5	0. 071 (0. 043 – 0. 099)	1. 936 ± 0. 367	2. 231 (4)	3. 7
DY20	5	0. 049 (0. 032 – 0. 067)	1. 670 ± 0. 254	2. 478 (4)	2. 6
YZ20	6	0. 017 (0. 008 – 0. 028)	1. 270 ± 0. 228	3. 551 (4)	0. 8
SG19	3	0. 028 (0. 023 – 0. 034)	2. 765 ± 0. 350	1. 134 (3)	1. 3
QS19	4	0. 011 (0. 0075 – 0. 015)	1. 653 ± 0. 279	1. 043 (3)	0. 5
YZ19	5	0. 030 (0. 025 – 0. 035)	4. 894 ± 0. 854	0. 461 (3)	1. 4
YC19	3	0. 015 (0. 010 – 0. 019)	2. 411 ± 0. 431	2. 031 (3)	0. 7

表 4 2 个稻纵卷叶螟田间种群对 6 种双酰胺类杀虫剂的抗性水平

Table 4 Resistance levels of two field populations of <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> to six diamide insecticides						
品系/种群 Strain/ Population	杀虫剂 Insecticide	试虫数 Number of test insects	LC ₅₀ (95% CL) (mg/L)	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	卡方值 (自由度) χ^2 (df)	交互抗性 倍数 CR
Cm-S	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	280	0. 027 (0. 018 – 0. 038)	1. 637 ± 0. 233	0. 444 (4)	1. 0
	四氯虫酰胺 Tetrachlorantraniliprole	240	0. 046 (0. 039 – 0. 049)	14. 017 ± 4. 338	2. 824 (3)	1. 0
	四唑虫酰胺 Tetraniliprole	280	0. 022 (0. 015 – 0. 056)	2. 371 ± 0. 415	7. 712 (4)	1. 0
	溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	240	0. 020 (0. 010 – 0. 031)	1. 327 ± 0. 267	1. 883 (3)	1. 0
	环丙虫酰胺 Cyclaniliprole	240	0. 011 (0. 008 – 0. 014)	3. 475 ± 0. 658	1. 867 (3)	1. 0
	氟氯虫双酰胺 Cyhalodiamide	240	0. 019 (0. 014 – 0. 024)	3. 510 ± 0. 612	1. 079 (3)	1. 0
JX22	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	240	2. 621 (1. 166 – 7. 377)	1. 440 ± 0. 279	3. 745 (3)	97. 1
	四氯虫酰胺 Tetrachlorantraniliprole	240	1. 452 (1. 068 – 1. 738)	4. 848 ± 1. 101	2. 265 (3)	31. 6
	四唑虫酰胺 Tetraniliprole	240	1. 079 (0. 235 – 1. 832)	2. 577 ± 0. 447	4. 847 (3)	49. 0
	溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	280	1. 745 (1. 012 – 2. 547)	1. 596 ± 0. 329	2. 829 (4)	87. 3
	环丙虫酰胺 Cyclaniliprole	240	0. 615 (0. 435 – 0. 773)	3. 221 ± 0. 586	1. 346 (3)	55. 9
	氟氯虫双酰胺 Cyhalodiamide	240	1. 739 (1. 112 – 2. 424)	1. 822 ± 0. 345	1. 756 (3)	91. 5
QS22	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	240	2. 761 (1. 523 – 3. 601)	3. 081 ± 0. 897	2. 123 (3)	102. 3
	四氯虫酰胺 Tetrachlorantraniliprole	240	1. 533 (0. 918 – 2. 028)	2. 941 ± 0. 647	2. 807 (3)	33. 3
	四唑虫酰胺 Tetraniliprole	240	2. 157 (1. 424 – 3. 536)	1. 908 ± 0. 492	0. 771 (3)	98. 0
	溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	240	1. 937 (0. 803 – 2. 777)	3. 514 ± 0. 717	3. 053 (3)	96. 9
	环丙虫酰胺 Cyclaniliprole	280	0. 705 (0. 437 – 0. 892)	3. 826 ± 0. 951	3. 276 (4)	64. 1
	氟氯虫双酰胺 Cyhalodiamide	240	1. 910 (1. 262 – 2. 494)	2. 776 ± 0. 559	0. 380 (3)	100. 5

交互抗性倍数 (CR) = 测试杀虫剂对氯虫苯甲酰胺田间抗性种群的 LC₅₀ 值/测试药剂对敏感品系 (Cm-S) 的 LC₅₀ 值。Cross-resistance ratio (CR) = LC₅₀ value of the tested insecticide to the chlorantraniliprole-resistant field population/LC₅₀ value of the tested insecticide to the susceptible strain (Cm-S)。

100 倍抗性的稻纵卷叶螟田间种群,对氟氯虫双酰胺、溴氰虫酰胺和环丙虫酰胺的交互抗性水平较高,而对四氯虫酰胺的交互抗性水平较低。

2.4 稻纵卷叶螟田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗性稳定性

采用稻苗浸渍法分别测定了湖南攸县种群 YX22、安徽潜山种群 QS22、安徽庐江种群 LJ22 和广西兴安种群 XA22 4 个抗氯虫苯甲酰胺的稻纵卷叶螟田间种群在室内不接触药剂条件下的抗性变

化。结果显示,安徽潜山种群 QS22 和安徽庐江种群 LJS22 在室内饲养 1 代后,对氯虫苯甲酰胺的抗性分别由 102.3 倍和 135.1 倍的高水平抗性下降至 41.4 和 52.9 倍的中等水平抗性;湖南攸县种群 YX22 在室内不接触药剂饲养 1 代后,抗性倍数由 >59.3 倍下降至 10.3 倍, F₃ 代继续下降至 4.6 倍;广西兴安种群 XA22 在室内饲养 3 代以后,对氯虫苯甲酰胺的抗性倍数由 113.7 倍下降至 3.1 倍(表 5)。

表 5 无选择压力下稻纵卷叶螟田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗性稳定性
Table 5 Resistance stability of the field population of *Cnaphalocrocis medinalis* to chlorantraniliprole without selection pressure

种群 Population	代次 Generation	试虫数 Number of test insects	LC ₅₀ (95% CL) (mg/L)	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	卡方值(自由度) χ^2 (df)	抗性倍数 RR
YX22	F ₁		> 1.600			> 59.3
	F ₂	240	0.279 (0.125 – 0.464)	1.805 ± 0.288	3.029 (3)	10.3
	F ₃	240	0.125 (0.071 – 0.193)	1.643 ± 0.375	0.611 (3)	4.6
QS22	F ₁	240	2.761 (1.523 – 3.601)	3.081 ± 0.897	2.123 (3)	102.3
	F ₂	240	1.117 (0.639 – 3.475)	1.076 ± 0.294	0.745 (3)	41.4
LJ22	F ₁	240	3.647 (2.607 – 4.876)	1.932 ± 0.315	1.461 (3)	135.1
	F ₂	240	1.428 (0.752 – 2.182)	2.004 ± 0.569	1.282 (3)	52.9
XA22	F ₁	240	3.071 (2.384 – 3.706)	3.966 ± 0.677	0.471 (3)	113.7
	F ₄	240	0.084 (0.065 – 0.104)	2.245 ± 0.301	2.242 (3)	3.1

3 讨论

我们的监测结果显示,2019 – 2020 年大部分稻纵卷叶螟田间种群对氯虫苯甲酰胺仍处于敏感阶段,仅来自江淮稻区的江苏扬州和安徽无为的两个种群对其产生了低水平抗性;2021 年,各地种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平持续上升,来自岭南区广西宾阳和江岭区湖南湘潭的两个种群对其抗性发展为中等水平;2022 年我们首次监测到对氯虫苯甲酰胺产生 100 倍以上高水平抗性的田间种群,主要分布在广西、江苏、安徽和湖北 4 省(自治区),并且高抗种群已占 2022 年所有监测种群数的 45.5%,其他 6 个监测种群也均对氯虫苯甲酰胺表现为 10.3 ~ 97.1 倍的中等水平抗性,表明稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺的抗性处于迅速上升阶段(表 2)。并且据各地植保站反映,近两年氯虫苯甲酰胺对稻纵卷叶螟的防效显著下降,太仓市在稻纵卷叶螟中重发生年份(2017, 2020 – 2021 年)的药效试验发现氯虫苯甲酰胺对稻纵卷叶螟的防效由 96.0% 降为 72.0% (李磊和陈璐, 2022)。

四唑虫酰胺是一种新型邻甲酰胺基苯甲酰胺类广谱杀虫剂,2020 年在我国登记使用。田间药效试验表明四唑虫酰胺对稻纵卷叶螟具有良好的速效性,持效期也较长,对稻纵卷叶螟的防效优于氯虫苯甲酰胺(陈晓平和王龙, 2022; 胡健等, 2022; 眭丹等, 2022)。2019 – 2021 年监测结果显示,所有的稻纵卷叶螟田间种群对四唑虫酰胺一直处于敏感水平(表 3),这一方面是由于四唑虫酰胺对稻纵卷叶螟各阶段幼虫的室内活性优于氯虫苯甲酰胺,另一方面则与四唑虫酰胺使用时间较短,在稻田使用频次较低有关(倪欢, 2021)。但是 2022 年我们监测的所有稻纵卷叶螟种群均对四唑虫酰胺产生了中等水平的抗性,这也是首次监测到稻纵卷叶螟对四唑虫酰胺产生中等水平抗性(表 3)。据各地植保站提供的信息来看,这几个稻区均未施用过四唑虫酰胺,因此四唑虫酰胺抗性的产生极有可能与氯虫苯甲酰胺抗性种群的交互抗性有关。此外,鉴于稻纵卷叶螟为迁飞性害虫,监测地区以外的其他地区曾施用过四唑虫酰胺也会导致田间种群在迁飞过程中受到四唑虫酰胺的选择压力,从而导致田间种群抗药性的产生。

此前有研究发现抗氯虫苯甲酰胺的小菜蛾田间种群对氟苯虫酰胺存在交互抗性 (Wang *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2015); 抗氯虫苯甲酰胺的斜纹夜蛾 (Sang *et al.*, 2016) 和番茄潜叶蛾 (Campos *et al.*, 2015) 田间种群对溴氰虫酰胺也存在交互抗性。赵丹丹等 (2017) 发现对氯虫苯甲酰胺、氟苯虫酰胺产生中等至高水平抗性的二化螟田间种群对溴氰虫酰胺、四氯虫酰胺和氯氟氰虫酰胺也表现中等至高水平抗性。我们的研究通过测定浙江嘉兴种群和安徽潜山种群两个抗氯虫苯甲酰胺稻纵卷叶螟种群对其他种双酰胺类杀虫剂的抗性, 发现其对其他 5 种双酰胺类杀虫剂存在显著的交互抗性 (表 4)。值得注意的是四唑虫酰胺在我国登记仅两年, 环丙虫酰胺和氟氯虫双酰胺在我国还未取得登记, 稻纵卷叶螟对其已产生中等水平的抗性, 这意味着在这些药剂原定的推荐剂量下, 不能达到理想的防治效果, 因此我们的研究为该药剂在稻田的使用提出了预警。

杀虫剂抗性的稳定性关系到该杀虫剂的抗性治理策略的制定, 因此研究稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺的抗性稳定性对稻纵卷叶螟的抗药性治理十分重要。Wang 等 (2013) 研究发现增城小菜蛾种群在室内不接触药剂饲养后对氯虫苯甲酰胺的抗性衰退速度很快, 仅 6 代抗性就由 2 040 倍下降至 25 倍, 对氯虫苯甲酰胺的抗性表现出不稳定性。Sial 和 Brunner (2012) 研究发现蔷薇斜条卷叶蛾 *Choristoneura rosaceana* 在室内经过氯虫苯甲酰胺筛选 12 代后, 抗性水平升至 G_0 代的 8.5 倍, 而在不接触药剂饲养 6 代后, 抗性水平就由 G_1 代的 6.4 倍降至 1.1 倍。由此可见小菜蛾和蔷薇斜条卷叶蛾在移除药剂选择压后, 对氯虫苯甲酰胺的抗性并不稳定。本研究发现稻纵卷叶螟田间种群在室内不接触药剂连续饲养 2~4 代后, 对氯虫苯甲酰胺的抗性也表现出快速下降的现象, 即稻纵卷叶螟田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗性尚不稳定 (表 5)。

结合对各地用药情况的调查以及本实验室的抗性监测结果, 我们分析稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺产生高水平抗性的原因主要有: (1) 农户经常“见虫打药”, 而稻纵卷叶螟高龄幼虫对药剂的敏感性显著低于低龄幼虫, 且高龄幼虫在稻纵卷叶螟吐丝形成的虫苞内, 更减少了接触药剂的机会, 因此农户往往又会加大药剂施用量; (2) 稻纵卷叶螟是迁飞性害虫, 在迁飞途中会不断受到药剂的选择压力, 从而导致抗药性上升; (3) 稻纵卷叶螟发生区域较轻的地区, 往往会选择在二化螟防治的同时“兼治”稻

纵卷叶螟, 而氯虫苯甲酰胺同样也是二化螟的主要防治药剂, 2016–2020 年抗性监测数据显示, 江西、浙江和湖南地区二化螟对氯虫苯甲酰胺常年保持高水平抗性 (Huang *et al.*, 2020), 因此在对二化螟加大氯虫苯甲酰胺施用剂量的同时无疑增加了氯虫苯甲酰胺对稻纵卷叶螟的选择压力。结合稻纵卷叶螟对双酰胺类杀虫剂的抗性现状, 我们提出以下用药建议: 暂停华南稻区氯虫苯甲酰胺的使用; 长江中下游湘、鄂、赣、皖、浙和苏 6 个稻区在水稻孕穗前限制使用氯虫苯甲酰胺 (每季水稻只用 1 次); 其他双酰胺类杀虫剂应按照氯虫苯甲酰胺的规定使用; 与茚虫威、氰氟虫腙、阿维菌素等作用机理不同且毒力高的杀虫剂轮换使用或合理混用。

参考文献 (References)

- Campos MR, Silva TB, Silva WM, Silva JE, Siqueira HA, 2015. Susceptibility of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) Brazilian populations to ryanodine receptor modulators. *Pest Manag. Sci.*, 71 (4): 537–544.
- Che L, Jiang QH, Wang Y, Li CG, Yan S, 2022. Comparative analysis of occurrence and control of pests in five rice producing regions in China. *Plant Prot.*, 48(3): 233–241. [车琳, 蒋沁宏, 王也, 李春广, 闫硕, 2022. 我国水稻五大产区虫害发生及防控情况差异的比较分析. 植物保护, 48(3): 233–241]
- Chen XP, Wang L, 2022. Experiment on controlling rice leaf roller with 20% tetrazolamide (Guoteng) SC. *Rural Econ. Sci. Technol.*, 33 (8): 50–53. [陈晓平, 王龙, 2022. 20% 四唑虫酰胺 (国腾) SC 防控稻纵卷叶螟试验. 农村经济与科技, 33(8): 50–53]
- Endo S, Tsurumachi M, Tanaka K, 1993. Changes in insecticide susceptibility of the rice leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee (Lepidoptera: Pyralidae), collected in Kyushu, and differences in susceptibility between Japanese and Malaysian colonies. *Appl. Entomol. Zool.*, 28(2): 125–130.
- Hu J, Gu LL, Qiu XP, Cheng XS, 2022. Control effect of tetraniliprole on *Cnaphalocrocis medinalis*. *Mod. Agrochem.*, 21(5): 70–72. [胡健, 谷莉莉, 仇学平, 成晓松, 2022. 四唑虫酰胺对水稻稻纵卷叶螟的防治效果. 现代农药, 21(5): 70–72]
- Huang JM, Rao C, Wang S, He LF, Zhao SQ, Zhou LQ, Zhao YX, Yang FX, Gao CF, Wu SF, 2020. Multiple target-site mutations occurring in lepidopterans confer resistance to diamide insecticides. *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 121: 103367.
- Li L, Chen L, 2022. Occurrence and control progress of rice leaf roller in Taicang City in recent years. *Shanghai Agric. Sci. Technol.*, (5): 122–124, 140. [李磊, 陈璐, 2022. 太仓市近年稻纵卷叶螟发生情况及防治进展. 上海农业科技, (5): 122–124, 140]
- Liao HJ, Huang JR, Liu XD, 2012. The method for mass rearing of rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* using maize seedlings. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 49(4): 1078–1082. [廖怀建, 黄建荣, 刘向

- 东, 2012. 利用玉米苗饲养稻纵卷叶螟的方法. *应用昆虫学报*, 49(4): 1078–1082]
- Liu X, Wang HY, Ning YB, Qiao K, Wang KY, 2015. Resistance selection and characterization of chlorantraniliprole resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.*, 108(4): 1978–1985.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2014. NY/T 2058-2014. Agricultural Industry Standard of the People's Republic of China. Technological Rules for Monitoring Insecticide Resistance in Striped Stem Borer, *Chilo suppressalis* Walker. China Agriculture Press, Beijing. [中华人民共和国农业部, 2014. NY/T 2058-2014. 中华人民共和国农业行业标准. 水稻二化螟抗药性监测技术规程. 北京: 中国农业出版社]
- Ni H, 2021. Resistance Monitoring in 2019–2020 and Mixed Formulations Screening of Insecticides Control on Rice Leaf Roller (*Cnaphalocrocis medinalis*). MSc Thesis, Nanjing Agricultural University, Nanjing. [倪欢, 2021. 2019–2020 年稻纵卷叶螟的抗药性监测及防治药剂的复配配方筛选. 南京: 南京农业大学硕士学位论文]
- Sang S, Shu BS, Yi X, Liu J, Hu MY, Zhong GH, 2016. Cross-resistance and baseline susceptibility of *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) to cyantraniliprole in the south of China. *Pest Manag. Sci.*, 72(5): 922–928.
- Sial AA, Brunner JF, 2012. Selection for resistance, reversion towards susceptibility and synergism of chlorantraniliprole and spinetoram in obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Pest Manag. Sci.*, 68(3): 462–468.
- Sui D, Li HM, Hong SD, 2022. Control effect of different chemicals on rice leaf roller. *China Plant Prot.*, 42(2): 58–59, 62. [睦丹, 李慧敏, 洪素娣, 2022. 不同药剂对稻纵卷叶螟的防治效果. 中国植保导刊, 42(2): 58–59, 62]
- Wang XL, Khakame SK, Ye C, Yang YH, Wu YD, 2013. Characterisation of field-evolved resistance to chlorantraniliprole in the diamondback moth, *Plutella xylostella*, from China. *Pest Manag. Sci.*, 69(5): 661–665.
- Wang XL, Wu YD, 2012. High levels of resistance to chlorantraniliprole evolved in field populations of *Plutella xylostella*. *J. Econ. Entomol.*, 105(3): 1019–1023.
- Zhang S, 2021. Monitoring results of pesticide resistance of agricultural pests in China in 2020 and suggestions for scientific drug use. *China Plant Prot.*, 41(2): 71–78. [张帅, 2021. 2020 年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议. 中国植保导刊, 41(2): 71–78]
- Zhang SK, Ren XB, Wang YC, Su JY, 2014. Resistance in *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) to new chemistry insecticides. *J. Econ. Entomol.*, 107(2): 815–820.
- Zhao DD, Zhou LQ, Zhang S, Yao R, Qiu YX, Gao CF, 2017. Resistance monitoring and cross-resistance to the diamides in the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Chin. J. Rice Sci.*, 31(3): 307–314. [赵丹丹, 周丽琪, 张帅, 姚蓉, 邱运霞, 高聪芬, 2017. 二化螟对双酰胺类杀虫剂的抗药性监测和交互抗性研究. 中国水稻科学, 31(3): 307–314]
- Zheng XS, Ren XB, Su JY, 2011. Insecticide susceptibility of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in China. *J. Econ. Entomol.*, 104(2): 653–658.
- Zhu AX, Qian Q, Liu XD, 2015. A method for rearing the rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis*) using wheat seedlings. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 52(4): 883–889. [朱阿秀, 钱秋, 刘向东, 2015. 利用小麦苗饲养稻纵卷叶螟的方法. 应用昆虫学报, 52(4): 883–889]

(责任编辑: 赵利辉)