

稻纵卷叶螟化学农药减量增效防治技术进展

陈澄宇^{1,2}, 赵云霞¹, 唐艺婷¹, 张学峰¹, 张凯¹, 车国静², 朱庆², 张霄², 刘媛², 刘贤金^{2*}

1. 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所, 国家农业科学淮安观测实验站, 淮安 223001

2. 江苏省农业科学院农产品质量安全与营养研究所, 江苏省食品质量安全重点实验室, 南京 210014

摘要 稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)是水稻上最具破坏性的害虫之一。综述了稻纵卷叶螟的危害发生、抗药性和化学农药减量增效技术进展。针对稻纵卷叶螟防治, 建议在做好科学选种、科学水肥管理、准确预测预报基础上, 结合生态调控、理化诱控和生物防控等绿色防控技术, 并通过合理选择高效杀虫剂、助剂和高效施药药械以及加强绿色防控基地的示范作用, 达到稻纵卷叶螟农药减量增效的目的。

关键词 稻纵卷叶螟; 农药减量; 绿色防控

稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)属于鳞翅目, 螟蛾科, 广泛分布于亚洲和东非, 可取食水稻、大麦、小麦等植物^[1], 中国各稻区均有发生, 且往往造成暴发性和突发性为害, 严重威胁水稻的产量与品质。农药作为防治作物病虫草害、提高产量的重要农业投入品, 自其问世以来对农业生产作出了巨大贡献, 但在实际使用中往往存在农药过量使用

的情况, 造成农业成本增加、农田生态系统遭到破坏, 给粮食生产安全带来威胁^[2]。习近平总书记多次强调“绿水青山就是金山银山”的绿色发展理念, 对大力推进化学农药减量增效、推行绿色防控技术提出了新的要求^[3]。本文综述中国稻纵卷叶螟危害发生情况及化学农药减量增效技术进展。

收稿日期: 2023-08-02; 修回日期: 2023-09-25

基金项目: 江苏省产学研合作项目(BY2022984); 江苏省自主创新项目(CX(21)3054); 江苏省自然科学基金青年项目(BK20230290); 中国博士后科学基金项目(2022M721400); 淮安市农业科学院科技发展基金项目(HNY202109)

作者简介: 陈澄宇, 助理研究员, 研究方向为害虫绿色防控技术, 电子信箱: chenchengyu@126.com; 赵云霞(共同第一作者), 研究实习员, 研究方向为害虫绿色防控技术, 电子信箱: zhaoyx2021@126.com; 刘贤金(通信作者), 研究员, 研究方向为农产品安全防控技术, 电子信箱: jaasliu@jaas.ac.cn

引用格式: 陈澄宇, 赵云霞, 唐艺婷, 等. 稻纵卷叶螟化学农药减量增效防治技术进展[J]. 科技导报, 2024, 42(6): 79-85;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2024.06.009

1 稻纵卷叶螟危害发生及抗药性

1.1 稻纵卷叶螟生物学、生态学习性

稻纵卷叶螟以幼虫吐丝将水稻叶片纵卷形成虫苞,幼虫在虫苞内取食上表皮和叶肉组织,形成白色透明条纹造成白叶,对水稻光合作用产生影响^[4]。稻纵卷叶螟发育的适宜温度为22~28℃,相对湿度为80%~94%,高温、干旱或低温对其发育均不利。日最高温度超过35℃,湿度低于80%,卵粒干瘪,低龄幼虫存活率低。每年春季,稻纵卷叶螟成虫随季风从南向北迁飞,受温度和降雨的影响降落,秋季则随季风由北向南回迁,主要为害淮河以南的水稻主产区,尤其是华南、江岭和江淮稻区^[5],其大发生主要与成虫迁入量大、垂直气流频繁、降雨多且降雨量大、食物条件适宜取食繁殖有关,田边杂草也有利于稻纵卷叶螟发生^[6-7]。

1.2 稻纵卷叶螟对常用杀虫剂抗药性情况

农药长期使用导致稻纵卷叶螟对多种杀虫剂产生了不同程度的抗性。Zheng等^[8]通过稻苗浸渍法明确11种杀虫剂对稻纵卷叶螟的室内毒力,结果表明多杀菌素、阿维菌素和甲维盐毒力最高,昆虫生长调节剂类如虫酰肼和氟铃脲及双酰胺类药剂氯虫苯甲酰胺的毒力次之,随后是有机磷类杀虫剂,杀虫单和苏云金杆菌(Bt)制剂的毒力最低。2012—2013年连续2年用稻苗浸渍法测定南宁、长沙和南京3个地区稻纵卷叶螟对13种化学杀虫剂的敏感性变化,发现稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺、氰氟虫腙、虫酰肼的敏感性在下降,抗生素类杀虫剂(阿维菌素、甲维盐、多杀菌素和乙基多杀菌素)及茚虫威、氟啶脲对稻纵卷叶螟有较高的杀虫毒力,杀虫丹与Bt对稻纵卷叶螟毒力较低^[9]。李增鑫等^[10]采用叶片浸渍法测定2015—2019年于华中10个地区采集的稻纵卷叶螟田间种群对毒死蜱、茚虫威、乙基多杀菌素、阿维菌素、氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺和氟苯虫酰胺共7种杀虫剂的敏感性,结果表明,稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺有敏感性下降趋势。据全国农业技术推广服务中心发布的《2021年全国农业有害生物抗药性监测报告与治理对策》,稻纵卷叶螟种群对氯虫苯甲酰胺、阿维菌素均

为敏感至中等水平抗性,与2020年相比,首次监测到氯虫苯甲酰胺和阿维菌素中抗种群,说明稻纵卷叶螟对两种药剂的抗性均呈上升趋势^[11]。2019—2022年的稻纵卷叶螟抗药性监测结果表明,大多数田间种群对阿维菌素(抗性倍数 $RR=2.4\sim 22.2$)、甲维盐($RR=1.9\sim 40.3$)和乙基多杀菌素($RR=4.2\sim 24.8$)产生了低至中等水平抗性,一些田间种群对毒死蜱产生了低水平抗性($RR=0.9\sim 6.8$)。特别是双酰胺类杀虫剂,2022年监测到对氯虫苯甲酰胺的抗性水平明显升高($RR=64.9\sim 113.7$),而2019—2021年所有测定的田间种群对氯虫苯甲酰胺均表现为敏感或中等抗性水平($RR=1.3\sim 22.1$)^[12]。综上,稻纵卷叶螟对氯虫苯甲酰胺、阿维菌素普遍产生了中等水平抗性,对甲维盐、乙基多杀菌素、毒死蜱等药剂产生了低水平抗性。

2 稻纵卷叶螟化学农药减量增效防治技术

2.1 科学选种

明确种植区的自然条件(水源条件、土壤条件、气候条件等),选择品质好、产量高、抗病虫能力强、抗虫能力强的水稻品种,在此基础上选择叶片硬挺厚实的品种,令稻纵卷叶螟低龄幼虫卷叶困难,降低成活率,减少为害^[13-14]。

2.2 科学肥水管理

进行科学合理的肥水管理可减少稻纵卷叶螟的发生。应根据土壤实际营养情况,科学合理施肥。如水稻生长前期减少氮肥用量、增施镁肥和硅肥,促进水稻生长发育整齐健壮,防止前期生长过旺后期迟熟^[15-17]。多施硅肥还能延长幼虫生育期,降低稻纵卷叶螟幼虫成活率和化蛹率,提高对害虫的抗性^[18-19]。同时,应控制氮肥施用量,若施用过多则导致水稻猛发旺长、叶片肥绿,致使稻纵卷叶螟重发^[20]。此外,应注意控制田间湿度,特别是卵孵化期延长烤田时间或在蛹高峰期灌水,可取得较好的防治效果^[21]。

2.3 加强预测预报

测报是防治的前提和基础,对稻纵卷叶螟进行

准确的预测,实行科学的防治策略,能减轻其为害程度。目前,常用的稻纵卷叶螟种群预测预报方法有田间赶蛾、灯诱、性诱、黄板诱集、食诱及卵巢解剖等^[21]。生产上田间赶蛾法应用最为广泛且准确率高,但因不同田块间水稻长势、品种、栽培方式等不同会导致赶蛾量差异较大且费时费力。选择赶蛾田块时,应根据当地主要栽培方式和水稻品种,选择长势较好、远离城区的稻田,同时赶蛾最好在清晨进行,此时太阳未出露水未干,蛾子起飞高且多,容易计数^[22]。灯诱减轻了工作人员的工作量,且始见期早,虫峰期明显,目前常用的是佳多虫情测报灯和探照灯^[23]。性诱专一性好、操作简单,诱集虫量峰次与田间赶蛾基本一致。利用黄板进行监测,可简单直接的明确田间种群的动态消长规律,黄板距水稻冠层距离越近,诱集效果越好。食诱法灵敏度高,诱虫峰值明显,但专一性不强^[24]。

随着计算机技术的发展,研究人员利用建模研究使用气象因子、大气环流特征量和海表面温度等预测因子建立病虫害预测模型,现有的稻纵卷叶螟预测模型有判别模型、回归模型、反向传播(BP)神经网络模型和支持向量机(SVM)模型等^[25],但由于这些预测模型的使用需要较高的专业处理技术,所以能够掌握并成功开展测报工作的较少。目前,国内多地开始采用将性诱监测、电子计数和自动传输结合而成的智能性诱监测法,解决了技术人员劳动强度大的问题,且测报效果较好^[26]。

2.4 绿色防控技术

2.4.1 生态调控

田埂或田基种植显花植物为害虫天敌提供场所。在水稻秧苗移栽前30 d,将芝麻、大豆点播到水稻田埂上,三夏期间会有大量捕食性天敌如瓢虫、蜘蛛、隐翅虫等转移到枝叶繁茂的芝麻、大豆上^[27]。研究表明,当田埂种植大豆、芝麻等植物时,与常规田埂相比,其天敌昆虫数量明显增加^[28]。

2.4.2 理化诱控

诱虫灯如佳多频振式杀虫灯具有广谱诱杀性,特别对鳞翅目害虫效果明显,利用佳多灯可有效降低稻纵卷叶螟的为害程度^[29]。性诱剂释放雌成虫性信息素如顺-13-十八碳烯醛、顺-13-十八碳烯

醇和顺-11-十八碳烯醛引诱雄虫,干扰稻纵卷叶螟成虫的雌雄交配,使害虫下代繁殖率降低,或将雄虫引诱到诱捕器内将其杀死达到控害目的,其环保、安全,具高度选择专一性,且使用方便^[30]。每667 m²设置1套稻纵卷叶螟专用诱捕器,内置1枚性诱剂,每30 d左右更换1次诱芯,防控效果可达40%~70%^[31]。食诱剂是根据害虫取食偏好研制成的一种成虫行为调控器,诱虫量大,但持效期短^[32]。

2.4.3 生物防控

1) 释放天敌控害。稻纵卷叶螟的天敌有寄生性天敌和捕食性天敌^[33],寄生性天敌有卵寄生天敌赤眼蜂、幼虫寄生天敌茧蜂、蛹寄生天敌姬蜂^[34],捕食性天敌有青蛙、蜻蜓、豆娘、步甲虫、隐翅虫等^[35]。目前在稻纵卷叶螟控害中应用较多的是稻螟赤眼蜂,该赤眼蜂的环境适应性强,寄生率高,防治效果可达60%~70%。在害虫发蛾的初期,当每亩蛾量达到100~200只时为最佳释放期。研究发现,每亩释放10000只稻螟赤眼蜂,分10个点释放,间距8~10 m,在长1.5 m左右的木竿上固定倒置防水塑料杯,将赤眼蜂卵卡固定于杯内,每点1000粒左右,可取得较好的控治效果^[36]。

2) 使用生物农药。当稻纵卷叶螟发生数量达到防治指标时,可采用Bt、甘蓝夜蛾核型多角体病毒、球孢白僵菌、金龟子绿僵菌、多杀霉素等生物农药来进行防治^[37-43]。在稻纵卷叶螟卵孵化盛期用Bt制剂进行防治,既能有效防治稻纵卷叶螟,又可保护天敌,保护稻田生态平衡。但需要注意,Bt制剂对家蚕高毒,对附近有桑园的地块应谨慎使用^[44]。20%多杀霉素在防治稻纵卷叶螟上表现出良好的速效性和持效性^[45]。

3) 稻田绿色生态种养。稻蛙(虾、鱼、鸭、鳖、蟹)共育等模式^[46],是利用共育生物在田间觅食,起到捕虫、吃草、活水、松土等作用。稻蛙共育与稻鱼、稻鸭相比是近年来新兴的生态种养产业,蛙类可以吞食稻纵卷叶螟的卵、幼虫和成虫,对蚜虫、稻飞虱等也有很好的捕食性。投放幼蛙需要提前在田埂边安置防逃网,并在稻田挖保护沟或保护坑,为蛙提供必要的庇护场所^[47]。虽然生态种养区在减少害虫的同时,一些天敌及有益生物也会被吃

掉,如共育区稻鸭在吃害虫时也会吃掉蛙类、蜘蛛等天敌,蛙类会吃掉蜘蛛等,但不会像化学农药使用后直接杀灭天敌,生态种养区天敌种群及数量仍多于常规稻田^[48]。

2.5 科学使用化学农药

化学防治因其高效、快速的优点在生产实践中尚不能被完全取代,特别是稻纵卷叶螟大发生年份,化学防治不可或缺^[49]。通过化学农药的科学合理使用,可在一定程度上减少农药使用量,减轻农药污染。

2.5.1 优化用药策略

稻纵卷叶螟对水稻产量的影响在水稻不同生育期有所不同。分蘖期时叶片受害,在一定程度的为害范围内,作物具有一定的补偿能力^[50],且此时植株主要进行营养生长,对水稻产量影响较小,但孕穗后水稻开始进行生殖生长,稻叶受害,光合作用减弱导致幼穗发育不良,空壳率提高,影响水稻干物质积累,对产量有较大影响。因此,可通过在不同水稻生长时期分别设定经济阈值指导杀虫剂的使用。

2.5.2 选用高效药剂

使用高效药剂是减药增效的重要途径。高效、低毒及持效期长的药剂使用能减少施药次数,减少施药剂量,提高防治效果。用氯虫苯甲酰胺、四氯虫酰胺、氟苯虫酰胺对水稻种子进行拌种处理,可长时间有效防控稻纵卷叶螟^[31]。在稻纵卷叶螟卵孵化高峰期使用 200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂、30% 茚虫威水分散粒剂、24% 甲氧虫酰肼悬浮剂、10% 阿维·甲虫肼悬浮剂、40% 氯虫·噻虫嗪水分散粒剂和 25% 甲维·茚虫威水分散粒剂等药剂,可控制稻纵卷叶螟一个发生世代的为害,且对水稻生长无任何不良影响^[31]。新上市的双酰胺类药剂四唑虫酰胺在杀虫和保叶上均表现出良好的效果^[51],对农药减量有较积极的意义。将化学农药与生物农药混配使用,不仅能提高防治效果,同时降低化学农药使用量,如江苏镇江地区将 150 g/L 茚虫威悬浮剂与 22% 氰氟虫腙悬浮剂用量分别减半与短稳杆菌和 Bt 混用表现出对稻纵卷叶螟较高的防效^[52]。生物源壳聚糖具有杀虫、杀菌及调节作物生长等作

用,有研究将其改良为纳米载体作为甲维盐涂层,增强甲维盐的光稳定性,显著提高了对稻纵卷叶螟的防治效果^[53]。

2.5.3 合理使用桶混助剂

农药助剂不具有农药活性和有效成分,但加入农药中能提高或改善农药使用效果,提高农药利用率。在田间喷施农药前将助剂和农药混合后喷施可减少药液挥发、提高药剂展布能力、提高药剂渗透能力从而提高杀虫效果^[28]。如在农药减量 50% 的情况下,使用助剂“激健”能明显提升农药的防治效果^[54]。

2.5.4 选用高效施药器械

在施药器械上,目前植保无人机替代人工喷雾,能够降低用水量和人工成本,大大提高施药效率,解决了害虫防治窗口期短、农村劳力紧张及用工成本高等问题^[55]。

2.5.5 把握合适施药时机

稻纵卷叶螟大发生情况下,把握好卵孵高峰期至低龄幼虫期施药关键期^[26]。选择早晨太阳未出露水未干前和傍晚进行施药,药效较好,阴天和微雨天气全天均可施药。施药期间保持田间 3~4 d 灌浅水 5 cm 左右,若已播绿肥不能灌水或在晒田期间,用药量应适当增加^[21]。

3 结论

开展稻纵卷叶螟防治农药减量增效技术研究,要坚持“预防为主,综合治理”的植保方针,系统研究稻纵卷叶螟危害发生规律,坚持“绿色植保”的理念,合理采用生态调控、理化诱控及生物防控的绿色防控技术,科学使用化学药剂,达到化学农药减量增效的效果。在掌握技术的基础上,采取统防统治,加大推进以生态调控和生物防治为主的绿色防控基地建设,在试验示范基地和技术辐射区进行示范和推广应用,充分发挥示范引领作用。

随着计算机技术发展越来越快,信息化和智能化技术应用已成为有害生物监测和防治技术发展的重要趋势。近年来,卫星遥感和全球定位系统、生物识别、物联网等技术已被广泛研究用于有害生

物防控,如实现害虫快速监测、害虫种类识别等^[56-58]。随着现代植保技术的信息化、智能化发展,害虫监测、危害分析、预警和治理的水平会逐步提高,并最终实现农业害虫信息化防治。

参考文献(References)

- [1] Yang Y, Liu X, Xu H, et al. Effects of host plant and insect generation on shaping of the gut microbiota in the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis*[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 824224.
- [2] Li Z, Shao X, Lee P W, et al. Green pesticide R&D in China[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023, 71(14): 5417-5418.
- [3] 杨普云, 王凯, 厉建萌, 等. 以农药减量控害助力农业绿色发展[J]. *植物保护*, 2018, 44(5): 95-100.
- [4] Padmavathi C, Katti G, Padmakumari A P, et al. The effect of leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) [Lepidoptera: Pyralidae] injury on the plant physiology and yield loss in rice[J]. *Journal of Applied Entomology*, 2013, 137(4): 249-256.
- [5] 包云轩, 曹云, 谢晓金, 等. 中国稻纵卷叶螟发生特点及北迁的大气背景[J]. *生态学报*, 2015, 35(11): 3519-3533.
- [6] Kumari A, Prasad R. Impact of abiotic factors on incidence of rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée) in agro-climatic condition of Ranchi, Jharkhand[J]. *Journal of Eco-friendly Agriculture*, 2022(1): 17.
- [7] Li C M, Xu J, Liu Q, et al. Potential influence of carbohydrate and amino acid intake by adults on the population dynamics of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae)[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2021, 20(7): 1889-1897.
- [8] Zheng X, Ren X, Su J. Insecticide Susceptibility of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in China[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2011, 104(2): 653-658.
- [9] Zhang S K, Ren X B, Wang Y C, et al. Resistance in *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) to new chemistry insecticides[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2014, 107(2): 815-820.
- [10] 李增鑫, 李亮, 朱坤森, 等. 华中地区稻纵卷叶螟对7种杀虫剂的敏感性监测[J]. *华中农业大学学报*, 2021, 40(2): 130-141.
- [11] 任宗杰, 秦萌, 郭永旺, 等. 2021年全国农业有害生物抗药性监测报告与治理对策(水稻、玉米部分)[J]. *中国植保导刊*, 2022, 42(3): 54-60.
- [12] Sun Y, Liu S, Ling Y, et al. Insecticide resistance monitoring of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and its mechanism to chlorantraniliprole[J]. *Pest Management Science*, 2023, 79(9): 3290-3299.
- [13] Punithavalli M, Muthukrishnan N M, Rajkuma M B. Defensive responses of rice genotypes for resistance against rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis*[J]. *Rice Science*, 2013, 20(5): 363-370.
- [14] Punithavalli M, Muthukrishnan N M, Rajkumar M B. Influence of rice genotypes on folding and spinning behaviour of leaffolder (*Cnaphalocrocis medinalis*) and its interaction with leaf damage[J]. *Rice Science*, 2013, 20(6): 442-450.
- [15] Ge L, Wan D, Xu J, et al. Effects of nitrogen fertilizer and magnesium manipulation on the *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2013, 106(1): 196-205.
- [16] Javvaji S, Telugu M U, Venkata R D B, et al. Characterization of resistance to rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis*, in mutant Samba Mahsuri rice lines[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2021, 169(9): 859-875.
- [17] Rizwan M, Atta B, Rizwan M, et al. Silicon plays an effective role in integrated pest management against rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. *Pakistan Journal of Zoology*, 2021, 54: 569-576.
- [18] Han Y, Lei W, Wen L, et al. Silicon-mediated resistance in a susceptible rice variety to the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. *PLoS One*, 2015, 10(4): e120557.
- [19] Ye M, Song Y, Long J, et al. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(38): E3631-E3639.
- [20] Ge L Q, Wan D J, Xu J, et al. Effects of nitrogen fertilizer and magnesium manipulation on the *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2013, 106(1): 196-205.
- [21] 杨亚军, 徐红星, 郑许松, 等. 中国水稻纵卷叶螟防控技术进展[J]. *植物保护学报*, 2015, 42(5): 691-701.
- [22] 卜锋, 包志军, 徐优良, 等. 稻纵卷叶螟测报技术改进探讨[J]. *中国植保导刊*, 2012, 32(7): 42-45.

- [23] 李宽, 郑能文, 蒋敏华, 等. 不同监测方法对水稻稻纵卷叶螟的监测效果[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(10): 2364–2367.
- [24] 陆佳浩, 沈方圆, 郑许松, 等. 稻纵卷叶螟食诱剂在水稻上的应用研究初报[J]. 中国稻米, 2022, 28(6): 110–112.
- [25] 葛温伯, 胡高, 陆明红, 等. 适用于我国的稻纵卷叶螟长期预测模型[J]. 植物保护学报, 2020, 47(2): 403–416.
- [26] 周晨, 张海波, 杨荣明, 等. 江苏省稻纵卷叶螟智能性诱监测应用效果探讨[J]. 中国植保导刊, 2023, 43(3): 28–32.
- [27] 赵景, 蔡万伦, 沈栎阳, 等. 水稻害虫绿色防控技术研究的发展现状及展望[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 92–104.
- [28] 钟玲, 郭年梅, 施伟韬, 等. 江西水稻农药减量技术集成优化与推广应用[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(5): 84–86.
- [29] 董阳辉, 张信岳, 陈宝忠, 等. 佳多频振式杀虫灯对农林害虫的防治效果[J]. 浙江农业科学, 2011(3): 636–640.
- [30] Mcneil N J. Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its importance in the use of pheromone traps[J]. Annual Review of Entomology, 1991, 36(1): 407–430.
- [31] 朱凤, 程金山, 张国, 等. 江苏水稻生产全程简约化绿色防控策略研究与应用[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(1): 94–101.
- [32] 杨志香, 朱凤, 王健生, 等. 食诱剂和性诱剂对稻纵卷叶螟的防控效果[J]. 中国植保导刊, 2022, 42(2): 38–40.
- [33] Aggarwal N, Sharma S, Jalali S K. On-farm impact of biocontrol technology against rice stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walker) and rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) in aromatic rice[J]. Entomologia Generalis, 2016, 36(2): 137–148.
- [34] Gurr G M, Read D M, Catindig J L A, et al. Parasitoids of the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* and prospects for enhancing biological control with nectar plants[J]. Agricultural and Forest Entomology, 2012, 14(1): 1–12.
- [35] 章玉苹, 黄炳球. 稻纵卷叶螟天敌的保护与利用[J]. 昆虫天敌, 2000, 22(1): 38–44.
- [36] 王蓉, 肖卫平, 邵昌余, 等. 人工释放稻螟赤眼蜂防治稻纵卷叶螟应用技术研究[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(11): 46–48.
- [37] Ramasubramanian R, Karthi S, Senthil-Nathan S, et al. Effect of bacterial toxin identified from the *Bacillus subtilis* against the *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Crambidae) [J]. Toxin Reviews, 2023, 42(1): 264–274.
- [38] Yang Y, Lu K, Qian J, et al. Identification and characterization of ABC proteins in an important rice insect pest, *Cnaphalocrocis medinalis* unveil their response to Cry1C toxin[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 237: 123949.
- [39] 刘蓉, 赵薇, 农向群, 等. 生物杀虫剂组合在有机水稻种植中的作用效果[J]. 植物保护, 2023, 49(3): 310–316.
- [40] Liu Q, Li C, Han G, et al. Sub-lethal effect of *Cnaphalocrocis medinalis* granulovirus to the growth, reproduction and physiology of host[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2022, 38(4): 982.
- [41] Han G, Liu Q, Li C, et al. Transcriptome sequencing reveals *Cnaphalocrocis medinalis* against baculovirus infection by oxidative stress[J]. Molecular Immunology, 2021, 129: 63–69.
- [42] Hong M, Peng G, Keyhani N O, et al. Application of the entomogenous fungus, *Metarhizium anisopliae*, for leafroller (*Cnaphalocrocis medinalis*) control and its effect on rice phyllosphere microbial diversity[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2017, 101(2): 6793–6807.
- [43] Chen M, Zhao J Z, Ye G Y, et al. Impact of insect-resistant transgenic rice on target insect pests and non-target arthropods in China[J]. Insect Science, 2010, 13(6): 409–420.
- [44] Chen Y, Li M, Islam I, et al. Allelic-specific expression in relation to *Bombyx mori* resistance to Bt toxin[J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2014, 54: 53–60.
- [45] 郭瑞光, 刘昌敏, 罗文辉, 等. 不同生物农药防治稻纵卷叶螟幼虫田间药效试验[J]. 湖北植保, 2021(6): 27–28.
- [46] 朱凤, 杨爱国, 吴惠秋, 等. 虾稻共作田安全用药解决方案初探[J]. 中国农技推广, 2020, 36(9): 70–76.
- [47] 汪勇, 曾涛, 江仕龙, 等. 稻蛙绿色生态种养工程中基础设施建设问题探讨[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(8): 95–98.
- [48] 朱凤姑, 丰庆生, 诸葛梓. 稻鸭生态结构对稻田有害生物群落的控制作用[J]. 浙江农业学报, 2004(1): 41–45.
- [49] Alvi S M, Ali M A, Chaudhary S, et al. Population trends and chemical control of rice leaf folder, *Cnaphalo-*

- crocis medinalis* on rice crop[J]. International Journal of Agriculture & Biology, 2003, 5(4): 615–617.
- [50] 金德锐. 水稻对稻纵卷叶螟危害补偿作用的测定[J]. 植物保护学报, 1984(1): 1–7.
- [51] 胡健, 谷莉莉, 仇学平, 等. 四唑虫酰胺对水稻稻纵卷叶螟的防治效果[J]. 现代农药, 2022, 21(5): 70–72.
- [52] 吴琳, 陈永林, 笪骏, 等. 短稳杆菌等对水稻稻纵卷叶螟的防效试验[J]. 农业装备技术, 2019, 45(1): 38–39.
- [53] Liu Y, Jiang F, Zhang Y, et al. Phosphate-modified cellulose/chitosan with high drug loading for effective prevention of rice leaffolder (*Cnaphalocrocis medinalis*) outbreaks in fields[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023: 125145.
- [54] 张浩. 水稻病虫害农药减量控害技术[J]. 农业工程, 2020, 10(10): 110–114.
- [55] Sambaiah A, Reddy A V, Prasanthi L, et al. Development of a plant protection UAV and evaluating its efficacy in managing rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenee)[J]. The Pharma Innovation Journal, 2022, 10(11): 1155–1163.
- [56] 黄清臻. 信息化和智能化技术在有害生物防控中的应用[J]. 中华卫生杀虫药械, 2021, 27(3): 193–197.
- [57] Chen T, Wang R, Du J, et al. CMRD-Net: A deep learning-based *Cnaphalocrocis medinalis* damage symptom rotated detection framework for in-field survey[J]. Frontiers in Plant Science, 2023, 14: 1180716.
- [58] Adhikari B, Senapati R, Mohapatra M, et al. Detection of rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) infestation using ground-based hyperspectral radiometry[J]. Current Science, 2023, 124(8): 964.

Progresses of pesticide reduction techniques and the synergistic effects on the control of rice leaffolders *Cnaphalocrocis medinalis*

CHEN Chengyu^{1,2}, ZHAO Yunxia¹, TANG Yiting¹, ZHANG Xuefeng¹, ZHANG Kai¹, CHE Guojing², ZHU Qing², ZHANG Xiao², LIU Yuan², LIU Xianjin^{2*}

1. Huaiyin Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, China National Agricultural Science Observation and Experiment Station, Huai'an 223001, China
2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Food Quality and Safety, Institute of Food Safety and Nutrition, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China

Abstract *Cnaphalocrocis medinalis* is one of the most destructive pests on rice. Chemical control is an effective method to control this pest insect, but excessive use of chemical pesticides will increase the insecticide resistance and pollute the environment and ecology, so the control technology of chemical pesticide reduction and efficiency enhancement is particularly important. In this paper, the occurrence of *C. medinalis*, its resistance to insecticides and the technology of reducing and increasing the effect of chemical insecticides were reviewed. On the basis of scientific seed selection, scientific water and fertilizer management and accurate forecast, the control of *C. medinalis* was combined with green control technologies such as ecological regulation, physical and chemical control and biological control, and through the rational selection of high-efficiency pesticides, additives and high-efficiency pesticide application equipment, and enhance the demonstration role of green control demonstration base. As a result, the purpose of reducing the dosage and increasing the efficiency of pesticide would be achieved.

Keywords *Cnaphalocrocis medinalis*; pesticide reduction; green prevention and control ●



(责任编辑 陈广仁)