

中国水稻纵卷叶螟防控技术进展

杨亚军 徐红星 郑许松 田俊策 鲁艳辉 吕仲贤*

(浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 浙江省植物有害生物防控重点实验室 - 省部共建国家重点实验室培育基地, 杭州 310021)

摘要: 水稻纵卷叶螟是我国水稻上的重要害虫, 近年来给我国水稻生产造成了严重损失。目前, 我国水稻纵卷叶螟主要有 2 种, 即稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis mendinalis* (Guenée) 和稻显纹纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis exigua* (Butler)。本文分别从生态学特性、测报技术和防控技术等方面对水稻纵卷叶螟的防控技术进展进行了综述。水稻纵卷叶螟的防控要坚持“绿色植保”理念, 推行无害化治理; 且应在测报数据分析的基础上, 充分利用农业与物理防治和生物防治相结合的方法, 并配以生态工程技术进行综合治理, 以达到减药控害的目的。

关键词: 水稻纵卷叶螟; 防控; 技术

Progresses in management technology of rice leaffolders in China

Yang Yajun Xu Hongxing Zheng Xusong Tian Junce Lu Yanhui Lü Zhongxian*

(Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, Zhejiang Province, China)

Abstract: Rice leaffolders are important insect pests in paddy fields in China. Their damages caused heavy loss on the rice production. In China, there are two species of rice leaffolders, *Cnaphalocrocis mendinalis* (Guenée) and *Cnaphalocrocis exigua* (Butler). In recent years, many researchers have studied the rice leaffolders and their control technologies. This paper reviewed the related researches on ecological properties, forecast technologies and control technologies of rice leaffolders. Forecast is important for mastering the population information and providing alarm for the pest management. Under the implementing of “greener plant protection”, the agricultural, physical control and biological control methods were encouraged with the technologies of ecological engineering to cater to the aim of reduction in insecticide use and damage by rice leaffolders.

Key words: rice leaffolder; management; technology

水稻是我国重要的粮食作物, 其安全生产对保障国计民生有着非常重要的作用(张启发, 2005)。但水稻在生产过程中常遭受病虫害等外界条件的影响, 产量损失严重。水稻纵卷叶螟取食并纵卷水稻叶片, 给植物的光合作用带来很大影响, 大发生时可造成水稻减产(Khan et al., 1988; 程家安, 1996)。20 世纪 60 年代后, 随着耕作制度的改变、品种更新

和密植高肥等措施的实行, 其在全国范围内发生数量与为害程度逐年加重; 20 世纪 70 年代后在全国主要稻区大发生的频率明显增加; 自 2000 年以来发生日益严重, 年均粮食损失约 76 万 t, 2003 年出现全国性的特大暴发, 而后连年猖獗为害, 2007 年再次全国性的大暴发(刘宇等, 2008)。稻纵卷叶螟发生面积在 2003—2010 年 8 年间有 6 年超过 2 000 万

基金项目: 国家水稻产业技术体系(CARS-01-17), 浙江省植物有害生物防控重点实验室 - 省部共建国家重点实验室培育基地开放基金(2010DS700124-KF1307)

* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: luzxmh2004@aliyun.com, Tel: 0571-86404077

收稿日期: 2014-08-18

hm² (郭荣等, 2013)。目前水稻纵卷叶螟已成为我国水稻上的重要害虫。近年来, 随着“公共植保、绿色植保”理念的推行, 水稻纵卷叶螟的防控技术有了新的发展。本文对水稻纵卷叶螟的防控技术进行了综述, 旨在为水稻纵卷叶螟的有效控制提供理论依据和实践指导。

1 水稻纵卷叶螟的生态学特性

1.1 水稻纵卷叶螟的种类

水稻纵卷叶螟有多种, 在东南亚常见的有4种, 分别是稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis mendinalis* (Guenée)、稻显纹纵卷叶螟 *C. exigua* (Butler)、宽纹刷须野螟 *Marasmia patnalis* Bradley 和淡缘刷须野螟 *Marasmia ruralis* (Walker) (Barrion et al., 1991), 我国发生的为稻纵卷叶螟和稻显纹纵卷叶螟 (Khan et al., 1988)。稻纵卷叶螟在国外主要分布在亚洲高温多雨的热带、亚热带及夏季高温多雨的温带地区, 以南亚、东南亚各国为主, 夏威夷、所罗门等太平洋岛屿、澳大利亚, 非洲的马尔加什及坦桑尼亚也有分布; 国内广泛分布于全国各稻区, 北起黑龙江, 西至西藏, 东南至台湾、海南 (张孝羲等, 1980a)。稻显纹纵卷叶螟别名显纹刷须野螟, 国外分布在日本、关岛、加里曼丹岛、菲律宾、越南、泰国、孟加拉、斐济、新几内亚、新不列颠和澳大利亚等地, 国内已在四川、广西、广东和云南等省区发生。四川除盆地边缘山区外, 盆地内均有发生, 以川东南浅丘河谷区和川西平原浅丘区发生为害较重 (潘学贤和汪远宏, 1984)。稻纵卷叶螟与稻显纹纵卷叶螟的区别为: 前者前翅 R₂、R₁ 脉前端耦合, 前翅中横纹较短未达翅缘, 卵椭圆形, 扁平而中稍隆起; 后者前翅 R₂、R₁ 脉独立, 前翅3条横线均达翅缘, 卵中央不隆起, 稍凹陷 (Barrion et al., 1991)。

1.2 水稻纵卷叶螟的生物学特性

稻纵卷叶螟寄主范围较广, 除为害水稻外, 还可害玉米、大麦、小麦、甘蔗、粟等作物, 取食稗、李氏禾、雀稗、双穗雀稗、马唐、狗尾草、蟋蟀草、茅草、芦苇等杂草。以幼虫缀丝纵卷水稻叶片成虫苞, 幼虫匿居其中取食叶肉, 仅留表皮, 形成白色条斑, 致水稻千粒重降低, 秕粒增加, 造成减产。初孵幼虫不结苞, 在分蘖期爬入心叶或嫩叶鞘内侧啃食。在孕穗-抽穗期, 则爬至老虫苞或嫩叶鞘内侧啃食, 这是该虫在增加体重与免遭天敌捕食之间的选择性结果。稻纵卷叶螟喜温暖、高湿, 气温 22~28℃, 相对湿度高于 80% 利于成虫卵巢发育、交配、产卵和卵

的孵化及初孵幼虫的存活, 30℃ 以上或相对湿度 70% 以下, 则不利于其活动、产卵和生存 (张孝羲等, 1980b; 1988)。低湿可以造成稻纵卷叶螟卵重量显著降低、卵粒干瘪、胚胎发育受阻、甚至是卵死亡 (方源松等, 2013)。稻纵卷叶螟卵期 3~6 d, 幼虫期 15~26 d, 蛹期 5~8 d, 雌蛾寿命 5~17 d, 雄蛾 4~16 d (张孝羲等, 1980b; 1988)。

稻显纹纵卷叶螟除为害水稻外, 还取食稗草、游草等杂草。幼虫纵卷稻叶结苞, 取食上表皮及叶肉, 造成黄白色条斑。水稻前期受害, 稻株迟发, 分蘖减少, 严重者不能抽穗。稻显纹纵卷叶螟在广西 1 年可发生 3 代, 四川南部发生 4 代 (浙江农业大学, 1982)。以 3~4 龄幼虫在发生地的小麦田、谷子田或绿肥田、休闲田的稻桩叶鞘外侧和秆内、再生稻苗及沟边、塘边游草的卷苞里越冬, 翌年 4 月底开始化蛹。幼虫活泼, 剥开虫苞查虫时, 迅速向后退缩或翻落地面。老熟幼虫多爬至稻丛基部, 在无效分蘖的小叶或枯黄叶片上吐丝结成紧密的小苞, 在苞内化蛹, 蛹多在叶鞘处或位于株间或地表枯叶薄茧中。成虫日伏夜出, 有强趋光性。该虫喜把卵产在稻叶背面, 常几粒呈双行或单行的鱼鳞状排列; 蛹期 5~14 d, 雌蛾产卵前期 1~7 d, 雌蛾寿命 1~18 d, 雄蛾 1~17 d; 喜温暖、高湿, 气温 22~28℃、相对湿度高于 80% 利于成虫卵巢发育、交配、产卵和卵的孵化及初孵幼虫的存活 (潘学贤和汪远宏, 1984)。

1.3 稻纵卷叶螟的迁飞特性

稻纵卷叶螟具有远距离迁飞特性。在我国东半部地区的越冬北界为 1 月份平均 4℃ 等温线, 相当于北纬 30° 一线, 在北线以北地区, 任何虫态都不能越冬, 每年初发世代的虫源均由南方迁飞而来。其越冬区域可划分为周年繁殖区、越冬区和冬季死亡区 (张孝羲等, 1980a)。稻纵卷叶螟在我国的发生世代随着纬度的升高由南向北依次递减。依据稻纵卷叶螟在我国东半部地区的发生代数、主害代为害时期、越冬情况及水稻栽培制度等, 可区划为海南周年为害区、岭南区、江岭区、江淮区和北方区, 其中江岭区由于早稻栽插、成熟期和虫源迁出期不同, 又可分为岭北和江南 2 个亚区 (张孝羲等, 1980a)。

稻纵卷叶螟的迁飞与气候条件有很大关系, 我国东半部地区稻纵卷叶螟的迁飞方向与季风环流同步进退, 即春夏季随着高空西南气流逐代逐区北移, 秋季又随着高空盛行的东北风大幅度南迁, 从而完成周年的迁飞循环 (张孝羲等, 1980a)。气象条件对稻纵卷叶螟的迁飞影响因子主要是高空气流、温

度、降水和湿度;对近几年稻纵卷叶螟发生情况与对应的气象条件对比分析发现,925 ~ 850 hPa 高度层气流是决定稻纵卷叶螟迁飞方向和速度的主导气流;温度是决定其起飞的主要因子,适宜其迁飞的地面温度为 19 ~ 28℃;降水和下沉气流影响害虫的降落地点,降落高峰期当天和头天有降水的概率为 85.8%;稻纵卷叶螟喜空气潮湿,不喜强光照,适宜的空气湿度为 70% 以上(白先达等,2010)。

稻纵卷叶螟多选择在黄昏 18:30 以后大规模起飞,空中虫群密度在 20:00 ~ 22:00 时最大,迁飞过程可持续到次日 5:00;稻纵卷叶螟主要选择在 500 m 以下高度飞行。空中虫群具有聚集成层的现象,虫层多在 100 ~ 500 m 高度之间形成,有时形成 2 个虫层,成层现象与低空急流关系密切,与温度没有直接关系(高月波等,2008)。交配和食料对于稻纵卷叶螟的再迁飞能力并无影响,在迁飞过程中相当部分雌蛾可进行 1 ~ 5 次以上的再迁飞,卵巢发育、交配可与再迁飞同步进行,卵子发生与飞行共轭现象在稻纵卷叶螟再迁飞期间并不存在(黄学飞等,2010)。根据吊飞的累计飞行时间(accumulative flight duration, AFD)可将稻纵卷叶螟种群划分为居留型(AFD < 40 min)、迁飞型(40 min ≤ AFD ≤ 130 min)和强迁飞型(AFD > 130 min)3 种类型;居留型平均累计飞行时间为 11 min,迁飞型为 82 min,强迁飞型为 232 min(王凤英等,2010)。稻纵卷叶螟具有很强的再迁飞能力,其种群一次迁飞的个体比率均大于 90%,2 次(夜)再迁飞的比率达 70% 以上,一般可进行 4 ~ 5 次(夜)再迁飞,最多可达 9 次(夜);成虫补充营养对再迁飞能力无显著影响,但蜜水可增强成虫的飞行能力(王凤英等,2010)。

1.4 稻纵卷叶螟的人工饲养技术

稻纵卷叶螟的人工饲养技术在 20 世纪就有很多探索,日本学者先后以稻苗、玉米苗及人工饲料饲养该虫(藤吉临等,1980;Shono & Hirano,1989;大村浩之等,2000)。近年来,国内对稻纵卷叶螟的人工饲养技术也进行了研究。吕仲贤等(2010)利用尼龙网室田间大量繁殖稻纵卷叶螟:在田间建立 40 m × 8 m 的尼龙网室,将其横向分割成相互独立的 4 个部分,每隔 25 ~ 30 d 分期在被独立分割的部分内分批连续播种或移栽水稻,正常田间管理;在水稻分蘖盛期在第 1 隔离部分接入稻纵卷叶螟成虫,保留 10% ~ 20% 的高龄幼虫或蛹自然繁殖;在成虫盛发期打开其中 1 个与第 1 隔离部分相邻的第 2 隔离尼龙网,以保持网室内稻纵卷叶螟种群的延续;这

样可以连续生产大量并且处于同一年龄的幼虫供试验用。另外,廖怀建等(2012)建立了利用玉米苗饲养稻纵卷叶螟的方法;Xu et al. (2012)设计了稻纵卷叶螟的人工饲料配方,饲养的幼虫存活率为 22%;郭文卿等(2013)和徐杨洋等(2013)发现分析稻纵卷叶螟对不同人工饲料中氮糖的营养需求和水稻叶片全营养成分有利于其人工饲料的优化;王业成等(2013)对稻纵卷叶螟人工饲料进行了优化,25.6% 的供试初孵幼虫能完成发育并化蛹,幼虫期平均为 26.9 d,蛹重为 16 ~ 22 mg。

雷妍圆等(2008)分别采用玻璃产卵箱、木框纱网罩、塑料袋和简易产卵装置进行稻纵卷叶螟卵的收集,其中简易产卵装置的效果较好,单雌产卵量达 45.35 粒,采卵率达 97.33%。郑许松等(2010)也比较了卵的不同收集方法,发现烧杯 + 湿纱布产卵法获得的稻纵卷叶螟单雌产卵量比塑料袋和塑料杯采卵的方法提高了 80% ~ 90%,雌雄成虫寿命延长了 1.69 ~ 2.33 d;且烧杯 + 湿纱布产卵法的稻纵卷叶螟成虫均将卵产在纱布上,几乎不在烧杯壁和滤纸上产卵,集卵率高且操作方便。

1.5 稻纵卷叶螟对药剂的敏感性

由于农药的长期不合理使用,稻纵卷叶螟先后对有机磷、有机氯、氨基甲酸酯类的农药产生抗性(林秀秀等,2012)。苏建坤等(2003)发现,稻纵卷叶螟抗药性水平的变化在杀虫剂之间差异较大,年度间呈波状起伏。胡本进等(2008)研究表明杀虫单(monosultap)对稻纵卷叶螟活性很低;丙溴磷(profenofos)和三唑磷(triazophos)对稻纵卷叶螟的室内活性也不高,但在田间应用中,丙溴磷对其防效较好;阿维菌素(abamectin)、氟虫腈(fipronil)、氟铃脲(hexaflumuron)对稻纵卷叶螟的田间防效均较好;氟铃脲是昆虫几丁质合成抑制剂,田间防效较好,但速效性不如氟虫腈、阿维菌素、丙溴磷、三唑磷等药剂。Zheng et al. (2011a)测定了稻纵卷叶螟对 11 种杀虫剂的敏感性,其中抗生素类杀虫剂如阿维菌素、甲维盐和多杀菌素对稻纵卷叶螟幼虫的毒力最高;虫酰肼(tebufenozide)、氟铃脲及氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole)也有很高的毒力,其次是有机磷类杀虫剂如毒死蜱(chlorpyrifos)、三唑磷与啶硫磷(quinalphos);杀虫单和 Bt 制剂的毒力较低。稻纵卷叶螟地理种群对杀虫剂的敏感性差异在抗生素类和昆虫生长调节剂类杀虫剂中表现不显著;对有机磷类杀虫剂、氯虫苯甲酰胺、杀虫单和 Bt 的敏感性有一定差异,但并不大(Zheng et al., 2011a)。稻纵

卷叶螟对不同 Cry 蛋白的敏感性与选择性均有一定差异 (Yang et al., 2012)。

随着稻纵卷叶螟对多种药剂产生抗药性,以及治螟磷(sulfotep)、氟虫腈、三唑磷被禁止使用,急需寻找对其具有较高杀虫活性的安全杀虫剂。郑雪松(2011)和周国辉等(2012)利用稻纵卷叶螟的敏感性筛选用于化学防治的药剂。由于稻纵卷叶螟对药剂的敏感性下降、抗性上升是多种因素综合造成的,因此要加强其抗性监测,合理使用农药,加强综合治理,以减少杀虫剂的用量,降低药剂选择压力,减缓抗药性的产生和发展,进而延长药剂使用寿命(林秀秀等,2012)。选择性农药的使用还会造成稻纵卷叶螟的再猖獗问题(刘芳,2007;戈林泉等,2014),为此稻田使用农药时应全面考虑,合理选用农药,避免稻纵卷叶螟再猖獗。

2 水稻纵卷叶螟的测报技术

预测预报技术是害虫防控工作中重要的一环。在稻田、绿肥田及田边、沟边等害虫主要越冬场所调查稻桩、再生稻、落谷稻、冬稻及杂草上的幼虫和蛹的越冬情况;从灯下或田间始见蛾开始,至水稻齐穗期对成虫及雌蛾卵巢发育进度调查;各代产卵高峰期开始(迁入代在蛾出现高峰当天,本地虫源在蛾出现高峰后2 d),至3龄幼虫期为止,开展卵、幼虫种群消长及发育进度调查。在田间蛾量突增后2~3 d开始普查卵量;在各代2~3龄幼虫盛期开始普查幼虫发生程度;各代受害基本定局后进行残留虫量和稻叶受害率(程度)普查。根据虫源地的残留量及发育进度,结合本地雨季和高空大气流场的天气预报,分析迁入虫源多少,预测发生趋势。根据田间蛾量,结合雨季的长短、雨日、雾露、温度、湿度情况,结合水稻生育期和长势等进行综合分析并预测发生量;根据卵量,考虑气候、天敌等影响因子,运用稻纵卷叶螟生命表进行分析并预报发生量(GB/T 15793—2011)。我国植保部门长期开展相关虫源的调查工作,预测预报稻纵卷叶螟的发生,为其防控提供了重要的信息保障。用于测报的田间稻纵卷叶螟成虫调查方式主要有以下4种。

2.1 田间赶蛾法

田间赶蛾法是目前水稻纵卷叶螟测报上应用最广泛的一项技术,具有预测准确率高的优点。生产上通常采用田间系统赶蛾法来预测稻纵卷叶螟的发生时期和发生程度,从灯下或田间始见蛾开始,至水稻齐穗期。具体为:选取不同生育期和好、中、差3

种长势的主栽品种类型田各1块,每块田调查面积为50~100 m²,手持长2 m的竹竿沿田埂逆风缓慢拨动稻丛中上部(水稻分蘖中期前同时调查周边杂草),用计数器计数飞起蛾数,隔天上午9:00以前进行一次。有风时要逆风进行,太阳出来后宜顺阳光赶蛾。计数蛾量时,应根据蛾的颜色和起飞时的形态、飞行速度、距离等进行辨认,把稻螟蛉、螟虫等剔除。应用赶蛾法要注意选好田块、固定人员,重视田边杂草中赶蛾等(陈仕高,2007;卜锋等,2012)。

2.2 灯光诱集法

在稻纵卷叶螟的监测中,由于灯诱种群年动态与实际发生动态具有一致性,灯光诱捕成为害虫种群监测的重要途径,自20世纪60年代以来,我国已陆续采用黑光灯、高压汞灯、白炽灯等对其进行诱捕(赵建伟等,2008)。2002年起,佳多虫情测报灯在全国推广使用,成为稻纵卷叶螟监测的主要工具(梁伟群和丘思娟,2007)。近年来国内专家也在探索使用其它的灯诱设备如探照灯诱虫器等。探照灯诱虫器能有效监测稻纵卷叶螟种群动态,其数量变化规律与佳多灯基本一致,监测峰次多于佳多灯(蒋春先等,2011)。

2.3 性信息素诱集法

稻纵卷叶螟和稻显纹纵卷叶螟的性信息素均已开发,并逐步应用于农业生产(温治尧,1983;徐玉峰等,2010;姚士桐等,2011)。性信息素诱集法监测的稻纵卷叶螟蛾出现高峰与赶蛾法相比,具有峰次多、高峰明显的特点(徐丽君等,2013)。稻显纹纵卷叶螟全年蛾量以单盆单灯平均计算,性诱是灯诱的18.5倍,最高达31倍以上;且稻显纹纵卷叶螟的性诱剂,用于测报具有灵敏度高、准确性强、持效期长、稳定性好、使用简便等优点(温治尧,1983)。

2.4 黄板诱集法

黄板诱集法可客观反映稻纵卷叶螟田间种群消长规律,具有测报相对简单、安装方便、成本相对较低等优点,其预测稻纵卷叶螟的发生趋势同赶蛾法基本一致(常晓丽等,2013)。黄板的高度同诱集稻纵卷叶螟的效果有着直接关系,距离水稻冠层越近,诱集效果越好(姚士桐等,2012;常晓丽等,2013)。

3 水稻纵卷叶螟的防治措施

水稻纵卷叶螟的防治应采取农业防治为基础,通过合理使用农药,协调化学防治与保护利用自然天敌的矛盾,将幼虫为害控制在经济允许水平之下。

3.1 农业防治措施

3.1.1 合理的水肥管理

首先应根据实际土壤营养状况,科学合理施肥。水稻生长前期,减施氮肥、增施硅肥和镁肥,防止前期猛发旺长,后期恋青迟熟;促使水稻生长发育健壮、整齐,适期成熟,提高水稻本身的耐虫能力,缩短为害期(Lu et al., 2007; Ge et al., 2013)。氮肥施用基肥和分蘖肥占 60%, 穗期肥占 40% (钟旭华等, 2007)。其次应科学管水,适当调节搁田时期,降低幼虫孵化期的田间湿度,或在化蛹高峰期灌深水 2~3 d, 均可产生较好的防治效果。最后要及时收获,减少虫源。连作早稻收割时,第 3 代成虫羽化较少,但随着夏收时间的推迟,从早稻田羽化的成虫逐日增加。因此,应根据水稻成熟程度和虫情,抓紧夏收,及时翻耕灌水,将蛹消灭在羽化之前,以减少第 3 代虫源,减轻对晚稻的为害。

3.1.2 选用抗(耐)虫的高产良种

利用品种对病虫害的抗(耐)性是害虫综合治理的重要策略之一。国内对水稻品种的抗(耐)虫性进行了大量研究(巍薇等, 2010)。水稻叶片的叶型、物理及生化性状与抗虫性有关(王元翔等, 2008; Punithavalli et al., 2013a; b)。田卉(2013)评价了重庆稻区 8 个品种对稻纵卷叶螟的抗性,结合产量损失情况,发现对其抗(耐)性较好的为冈优 3 号和陵优 1 号。在选用稻种时,在高产、优质的前提下,应选择叶片厚硬、主脉坚实的抗虫品种,使低龄幼虫卷叶困难,成活率低,达到减轻为害的目的。我国已经培育出多种转 Bt 基因抗虫水稻,其体内表达杀虫蛋白,对稻纵卷叶螟具有较高的杀虫作用(Chen et al., 2005; 2011; Zheng et al., 2011b; 韩海亮等, 2013),目前 Bt 水稻尚未推广种植,但可作为防治稻纵卷叶螟的储备技术。

3.1.3 水稻生长早期弃治稻纵卷叶螟

作物被害虫为害后,在一定程度的为害范围内,具有一定的补偿作用。水稻被稻纵卷叶螟为害后,也表现出很强的自然补偿作用(金德锐, 1984; 胡国文等, 1993)。模拟剪叶试验表明,一定程度的剪叶可使水稻增产(沈建新等, 2008; 吴降星等, 2013)。水稻分蘖期剪叶模拟稻纵卷叶螟为害,水稻各项生长指标、叶绿素含量、产量与对照均无显著差异,剪叶 10%~20% 均有增产;拔节期剪叶各处理叶绿素含量均显著高于对照,剪叶 40% 以上时叶绿素含量显著升高,每穗实粒数显著下降;产量与对照无显著差异,剪叶 10% 时略有增产;孕穗末期剪叶 30% 以

上,空壳率显著增加,产量下降(田卉, 2013)。这表明在水稻生长早期,稻纵卷叶螟可以弃治。

3.2 生物防治措施

3.2.1 保护自然天敌

天敌对稻纵卷叶螟数量的控制具有重要作用。稻纵卷叶螟的天敌主要有寄生性天敌和捕食性天敌 2 大类。在其各个虫期都有天敌寄生或捕食,卵期寄生性天敌有拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum* Viggiani、稻螟赤眼蜂 *T. japonicum* Ashmead 等;幼虫期有稻纵卷叶螟盘绒茧蜂 *Cotesia cypris* (Nixon)、螟蛉盘绒茧蜂 *C. ruficrus* (Haliday) 等;蛹期有姬蜂、广大腿蜂等(Rani et al., 2007; Gurr et al., 2012a)。卵期天敌寄生蜂在我国稻区分布很广,浙江、湖南等地 1 年可发生 18~19 代,寄生率高达 50%~80%;幼虫寄生蜂中盘绒茧蜂更为重要,可把幼虫杀死在暴食期之前;捕食性天敌有青蛙、蜻蜓、豆娘、蜘蛛、隐翅虫、步甲虫等(章玉莘和黄炳球, 2000; 沈斌斌, 2005)。因此,应大力提倡保护和利用田间的天敌资源,要积极创造一个有利于自然天敌生存、繁殖和发挥其效能的稻田环境。要避免药剂杀伤天敌,保护稻田生态系统的生物多样性,在一个农业区内,实行合理轮作、间作或混栽,创造不利于害虫发生而利于其天敌繁殖的生态环境,如在田基或田埂上栽黄豆,夏收夏种期间由于黄豆枝叶繁茂,大量蜘蛛、隐翅虫、瓢虫等转至豆株上。在稻田设置性信息素诱杀点诱杀稻纵卷叶螟,这样其它较大面积稻田可不用药或少用药,从而保护了天敌。还可在稻田施药之前,收集寄生天敌的卵块或茧块,放入人工保护器中,让寄生蜂飞出,再回到田间(杨普云和赵中华, 2012)。

3.2.2 释放赤眼蜂

根据当地虫情监测结果,于稻纵卷叶螟迁入代蛾出现高峰期开始放蜂,即在害虫产卵始盛期开始放蜂,每隔 3~4 d 放 1 次,连续放 3 次。放蜂量要根据害虫卵的密度而定,一般放蜂 1~3 万头。放蜂标准为田间鳞翅目害虫(二化螟、稻纵卷叶螟、稻螟蛉、稻苞虫和黏虫等)成虫总量达 150~200 头/667 m²,每 667 m² 放 1 万只蜂,如超过 500 头/667 m² 需放蜂 1.5 万只,如虫量不足 80 头/667 m² 可不防治。放蜂应均匀,放蜂点的多少应根据蜂虫的扩散能力和温度高低、风向、风速等条件而定,一般每 667 m² 为 6~8 个放蜂点,每点间隔 8~10 m,在放蜂点插 1.5 m 高的竹杆一根,将分好的赤眼蜂卡(每份约 1 000~2 000 头蜂)缝在一次性水杯的内侧底部,棉线从杯子底部穿出,捆在竹竿上,杯口向下,悬挂在

竹竿上,杯口距离水稻叶片顶部 10~20 cm;第 2 次放蜂时,只要把蜂卡分好,用胶水把蜂卡粘在杯子的内侧壁上即可。第 1 年晚稻采用生态防治时需配合放置人工卵,在放蜂的同时于杯内放米蛾卵 1 万粒,并喷洒 3% 蜂蜜水 1 次以保持杯内湿度,有利于在田间繁殖 1 代赤眼蜂(黄志农等,2012)。

3.2.3 生态工程

“生态工程(ecological engineering)”一词最早由 Odum(1962)提出,意为人为控制调控生态系统中的小部分组分来达到控制由自然力量驱动的系统。后来该理念发展为利用系统方法来设计生态系统达到为人类和自然服务的目的。我国的马世骏(1983;Ma,1985)提出“生态工程是模拟生态系统原理而坚持的符合生产工艺体系”。总而言之,生态工程控制水稻害虫技术主要是通过调节恢复生态系统的均衡性使水稻害虫种群处于相对较低的水平(即经济阈值之下)(杨普云和赵中华,2012;祝增荣等,2012)。生态工程技术是利用害虫和天敌之间的关系设计控制害虫的一项措施,在生态景观层面进行人为设计,平衡生物多样性需求,提升生态系统的服务功能。生态工程控制水稻害虫技术具有实现害虫综合治理(insect pest management,IPM)目标的潜力,主要内容有:田间合理布局增加稻田生物多样性,增加重点天敌;调整化学农药的使用。在稻田害虫防治过程中要改变主要依靠化学杀虫剂观念,转而依靠 IPM 或生态控制的观念,稻田杀虫剂的使用往往会杀死大量的害虫天敌如蜘蛛、寄生蜂等,特别是早期稻田杀虫剂的使用会降低水稻生长后期天敌对害虫的控制作用,所以在水稻生长季特别是早期应避免杀虫剂的使用,以保护稻田害虫天敌。田边种植显花植物或保留开花植物,可以为寄生蜂等天敌提供食料,提高寄生蜂对稻纵卷叶螟等害虫的寄生能力;稻纵卷叶螟盘绒茧蜂成虫通过花蜜和水补充营养可以延长寿命;粉蝶盘绒茧蜂 *Cotesia glomerata* 取食植物花蜜可以提高雌蜂的飞行能力(Gurr et al.,2012a)。蜜源植物的选择要有利于害虫天敌而不利于害虫(Gurr et al.,2012b)。芝麻花可以促进螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 的生殖,但对稻纵卷叶螟的生殖无促进作用(Zhu et al.,2015)。通过设置稻田景观,为害虫天敌提供场所,以提升生态系统在害虫种群数量上的调节作用。在水稻秧苗移栽前 30 d,在田埂上点播芝麻,稻田前期不施农药,既可提高稻田寄生蜂控制稻飞虱、稻纵卷叶螟的能力,又可减少农药的使用,经济、生态和

社会效益明显,此法还具有省工、省时、操作简单等特点(吕仲贤等,2008)。

3.2.4 性信息素

可利用性信息素对水稻纵卷叶螟进行诱集诱杀。我国用于诱杀稻显纹纵卷叶螟的性信息素开发较早,具有灵敏度高、准确性强、持效期长、稳定性好、使用简便等优点,便于稻显纹纵卷叶螟的诱杀(温治尧,1983)。稻纵卷叶螟性信息素在日本、韩国也有开发应用(Kawazu et al.,2011;Kim & Hong,2011)。我国以顺 11-十八碳烯醛、顺 13-十八碳烯醛、顺 11-十八碳烯醇和顺 13-十八碳烯醇为主要组分开发的稻纵卷叶螟性信息素具有较好的诱集效果,在浙江、上海、江西、湖南、湖北、广西、贵州、重庆和海南等地用于测报虫情或诱杀雄蛾(Wu et al.,2013)。

3.2.5 利用微生物治虫

利用生防菌防治稻纵卷叶螟也是一种生态安全的措施。稻纵卷叶螟卵孵化盛期,选用苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis* 可湿性粉剂或悬浮剂,或球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 水分散粒剂,兑水均匀喷雾可有效防治该虫为害(王东贵等,2005;陈莉莉等,2014)。应用生物农药的防治适期,应掌握在初孵幼虫期,但在蚕桑区 Bt 制剂不宜使用,以免家蚕感染。稻纵卷叶螟颗粒体病毒(*Cnaphalocrocis medinalis granulovirus*, CnmeGV)也是一种很有潜力的生物防治药剂(张珊等,2014);与 Bt 联合增效作用明显,初始感染死亡时间较 CnmeGV 单独使用缩短 3 d,感染死亡率提高 20.23%,且持效期在 30 d 以上(刘琴等,2013)。

3.3 应急化学防治

3.3.1 防治策略

根据水稻在分蘖期和穗期易受稻纵卷叶螟为害,尤其是穗期损失更大的特点,药剂防治的策略,应狠治水稻穗期为害世代,但也不可放松分蘖期为害严重的代别。重点做好水稻中后期稻纵卷叶螟主害代的防治。必要时选用高效、低毒、低残留农药,将稻纵卷叶螟危害控制在经济允许水平之下。另外,应选用对天敌安全的药剂品种,不应使用国家禁用的和拟除虫菊酯类农药品种,所选药剂应符合农药安全使用相关标准的规定。当稻纵卷叶螟发生量大、发生期不整齐需多次用药时,应轮换、交替使用农药,以免造成抗药性的出现。

3.3.2 防治指标

稻纵卷叶螟为害所造成的产量损失,因水稻生

育期而不同。分蘖期叶片受害,因其光合产物主要供植株营养生长,作物有一定的补偿能力,对产量的影响较小,但孕穗后叶片的光合产物主要供给幼穗发育,稻叶受害,能导致颖花、枝梗退化,增加空秕率、降低结实率和千粒重,尤其是水稻功能叶受害,直接影响干物质的积累,对产量的影响最大。因此,水稻孕穗至抽穗期受害后损失大于分蘖期。考虑到水稻不同生育期对受害的容忍度及对天敌资源的保护和利用,现提出以 2%~3% 的损失作为经济允许水平的防治指标:分蘖期为百丛有幼虫 150 头或百丛束尖或新虫苞 150 个,穗期为百丛 60 头或百丛束尖或新虫苞 60 个(NY/T 2737.1—2015)。大发生情况下提倡卵孵高峰期至低龄幼虫期施药。

3.3.3 施药方法

应选择高效低毒类杀虫剂,考虑杀虫剂对天敌的杀伤力、对环境 and 生态系统的影响等因素。施药时间以傍晚及早晨露水未干前效果较好,晚间施药效果更好。阴天和细雨天全天均可。尽量使虫苞散开,促使幼虫受惊外出,然后施药,可提高防治效果。施药期间应灌浅水 3~6 cm 左右,保持 3~4 d。如在搁田或已播绿肥不能灌水时,药液应适当增加。稻纵卷叶螟的防治一般年份防治代只需施药一次,即可达到消灭保产的目的。

4 展望

水稻纵卷叶螟的防控要坚持“绿色植保”理念,把防控工作放到整个水稻病虫害治理的全局中进行,在加强预测预报的基础上,合理利用农业防治措施,扩大生物防治力度与效果,减少化学农药使用;要根据水稻纵卷叶螟与其它虫害的复合危害阈值来综合考虑(Selvaraj et al., 2012; Jiang et al., 2014),合理应用相关绿色防控技术及生态工程技术,减少化学农药使用,发挥非化学防治关键技术的应用效果,以确保粮食和生态环境的安全(郭荣等, 2013)。

参 考 文 献 (References)

Bai XD, Huang CY, Tang GT, Li GG, Zou LX, Jia FZ. 2010. Analysis on meteorological conditions effecting on migration of the rice leaf roller. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(21): 262–267 (in Chinese) [白先达, 黄超艳, 唐广田, 李国刚, 邹丽霞, 贾方翌. 2010. 气象条件对稻纵卷叶螟迁飞的影响分析. *中国农学通报*, 26(21): 262–267]

Barrion AT, Litsinger JA, Medina EB, Aguda RM, Bandong JP, Pantua PC Jr., Viajante VD, dela Cruz CG, Vega CR, Soriano JS Jr., et al. 1991. The rice *Cnaphalocrocis* and *Marasmia*

(Lepidoptera: Pyralidae) leafroller complex in the Philippines: taxonomy, bionomics, and control. *The Philippine Entomologist*, 8(4): 987–1074

Bu F, Bao ZJ, Xu YL, Ren SM, Cai HQ. 2012. Modified technology on the forecasting of *Cnaphalocrocis medinalis*. *China Plant Protection*, 32(7): 42–45 (in Chinese) [卜锋, 包志军, 徐优良, 仁寿美, 蔡宏琴. 2012. 稻纵卷叶螟测报技术改进探讨. *中国植保导刊*, 32(7): 42–45]

Chang XL, Wu XW, Du XB, Chen HX, Lu S, Wang DS, Yuan YD, Zhang TS, Teng HY. 2013. Evaluation of the forecasting and controlling effects of the yellow sticky card on the rice leaf-foller. *Scientia Agricultura Sinica*, 46(13): 2677–2684 (in Chinese) [常晓丽, 武向文, 杜兴彬, 陈海霞, 陆爽, 王冬生, 袁永达, 张天澍, 滕海媛. 2013. 黄色诱虫板测报和防控稻纵卷叶螟的效果评价. *中国农业科学*, 46(13): 2677–2684]

Chen H, Tang W, Xu CG, Li XH, Lin YJ, Zhang QF. 2005. Transgenic indica rice plants harboring a synthetic *cry2A⁺* gene of *Bacillus thuringiensis* exhibit enhanced resistance against lepidopteran rice pests. *Theoretical and Applied Genetics*, 111: 1330–1337

Chen LL, Gu GW, Ying XJ, Zhang J. 2014. The control efficiency of *Beauveria bassiana* on *Cnaphalocrocis medinalis*. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, (9): 1411, 1417 (in Chinese) [陈莉莉, 顾国伟, 应小军, 张娟. 2014. 球孢白僵菌对水稻稻纵卷叶螟的防效. *浙江农业科学*, (9): 1411, 1417]

Chen M, Shelton A, Ye GY. 2011. Insect-resistant genetically modified rice in China: from research to commercialization. *Annual Review of Entomology*, 56: 81–101

Chen SG. 2007. Investigation on the timing of driving *Cnaphalocrocis medinalis* moth under different weather conditions. *China Plant Protection*, 27(8): 37 (in Chinese) [陈仕高. 2007. 不同天气等条件下稻纵卷叶螟田间赶蛾时间探讨. *中国植保导刊*, 27(8): 37]

Cheng JA. 1996. Rice pests. Beijing: China Agricultural Press (in Chinese) [程家安. 1996. 水稻害虫. 北京: 中国农业出版社]

Fang YS, Liao HJ, Qian Q, Liu XD. 2013. Combined effects of temperature and relative humidity on eggs of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(7): 786–791 (in Chinese) [方源松, 廖怀建, 钱秋, 刘向东. 2013. 温湿度对稻纵卷叶螟卵的联合作用. *昆虫学报*, 56(7): 786–791]

Fujiyoshi N, Noda M, Sakai H. 1980. Simple mass-rearing method of the grass leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée, on young rice seedlings. *Japan Journal of Applied Entomology and Zoology*, 24(3): 194–196 (in Japanese) [藤吉臨, 野田政春, 酒井久夫. イネ芽出し苗によるコブノメイガの簡易大量飼育法. *日本応用動物昆虫学会誌*, 24(3): 194–196]

- Gao YB, Chen X, Chen ZR, Bao YX, Yang RM, Liu TL, Zhai BP. 2008. Dynamic analysis on the migration of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) by Doppler insect monitoring radar and numerical simulation. *Acta Ecologica Sinica*, 28(11): 5238 – 5247 (in Chinese) [高月波, 陈晓, 陈钟荣, 包云轩, 杨荣明, 刘天龙, 翟保平. 2008. 稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*) 迁飞的多普勒昆虫雷达观测及动态. *生态学报*, 28(11): 5238 – 5247]
- Ge LQ, Wan DJ, Xu J, Jiang LB, Wu JC. 2013. Effects of nitrogen fertilizer and magnesium manipulation on the *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 106(1): 196 – 205
- Ge LQ, Wang F, Wu JC. 2014. Effect of two selective insecticides on the oviposition and physiological and biochemical characteristics of *Cnaphalocrocis medinalis*. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 42(1): 102 – 105 (in Chinese) [戈林泉, 王芳, 吴进才. 2014. 2种选择性农药的使用对稻纵卷叶螟产卵及生理生化的影响. *江苏农业科学*, 42(1): 102 – 105]
- Guo R, Han M, Shu F. 2013. Strategies and measures of green control on disease and insect pests with reducing application of insecticides. *China Plant Protection*, 33(10): 38 – 41 (in Chinese) [郭荣, 韩梅, 束放. 2013. 减少稻田用药的病虫草害绿色防控策略与措施. *中国植保导刊*, 33(10): 38 – 41]
- Guo WQ, Yang YJ, Xu J, Xu HX, Zheng XS, Lü ZX. 2013. Nutritional consumption and utilization by *Cnaphalocrocis medinalis* larvae of artificial diets with different nitrogen or sugar contents. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 629 – 634 (in Chinese) [郭文卿, 杨亚军, 徐健, 徐红星, 郑许松, 吕仲贤. 2013. 稻纵卷叶螟幼虫对不同氮、糖含量人工饲料的营养消耗和利用. *应用昆虫学报*, 50(3): 629 – 634]
- Gurr GM, Read DMY, Catindig JLA, Cheng JA, Liu J, Lan LP, Heong KL. 2012a. Parasitoids of the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* and prospects for enhancing biological control with nectar plants. *Agricultural and Forest Entomology*, 14(1): 1 – 12
- Gurr GM, Wratten SD, Snyder WE, Read MY. 2012b. Ecological engineering strategies to manage insect pests in rice. // Gurr GM, Heong KL, Cheng JA, Catindig J. *Biodiversity and insect pests: key issues for sustainable management*. John Wiley & Sons, Ltd., pp. 214 – 229
- Han HL, Yang YJ, Bao F, Wang GY, Tan HP, Lü ZX. 2013. Target resistance and non-target effect of two transgenic *Bt* rice lines in Zhejiang field. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 25(6): 1304 – 1308 (in Chinese) [韩海亮, 杨亚军, 包斐, 王桂跃, 谭禾平, 吕仲贤. 2013. 两种转 *Bt* 基因水稻品系在浙江田间的靶标抗性及其非靶标影响. *浙江农业学报*, 25(6): 1304 – 1308]
- Hu BJ, Li CC, Shi L, Zhou ZY. 2008. Toxicity determination of several insecticides against *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 36(12): 5064 – 5068 (in Chinese) [胡本进, 李昌春, 石立, 周子燕. 2008. 几种药剂对稻纵卷叶螟的毒力测定. *安徽农业科学*, 36(12): 5064 – 5068]
- Hu GW, Chen ZX, Liu GJ, Ma JF, Pan QW. 1993. Dynamic modeling of compensation of late season hybrid to rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis*) defoliation. *Scientia Agricultura Sinica*, 26(2): 24 – 29 (in Chinese) [胡国文, 陈忠孝, 刘光杰, 马巨法, 潘群威. 1993. 杂交晚稻对稻纵卷叶螟为害的动态补偿模型. *中国农业科学*, 26(2): 24 – 29]
- Huang XF, Zhang XX, Zhai BP. 2010. Effect of copulation on flight capacity and remigration capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 33(5): 23 – 28 (in Chinese) [黄学飞, 张孝羲, 翟保平. 2010. 交配对稻纵卷叶螟飞行能力及再迁飞能力的影响. *南京农业大学学报*, 33(5): 23 – 28]
- Huang ZN, Zhang YZ, Zhu GQ, Wen JH, Li WD, Fang BH, Liu Y, Xia CH, Liu GP. 2012. Evaluation of control effect of *Trichogramma japonicum* against *Cnaphalocrocis medinalis* and *Chilo suppressalis*. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 24(5): 37 – 40 (in Chinese) [黄志农, 张玉焯, 朱国奇, 文吉辉, 李卫东, 方宝华, 刘洋, 夏春华, 刘功朋. 2012. 稻螟赤眼蜂防控稻纵卷叶螟和二化螟的效果评价. *江西农业学报*, 24(5): 37 – 40]
- Jiang CX, Qi HH, Yang XL, Zhang YH, Cheng DF. 2011. Using vertical pointing search light trap to monitor the population dynamics of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Journal of Plant Protection*, 38(3): 193 – 201 (in Chinese) [蒋春先, 齐会会, 杨秀丽, 张云慧, 程登发. 2011. 稻纵卷叶螟种群动态变化的探照灯诱虫器监测. *植物保护学报*, 38(3): 193 – 201]
- Jiang LB, Cheng J, Zhu ZF, Ge LQ, Yang GQ, Wu JC. 2014. Impact of day intervals on sequential infestations of the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae) and the white-backed rice planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) on rice grain damage. *International Journal of Insect Science*, 6: 23 – 31
- Jin DR. 1984. Ability of compensation of rice to the larval injury by the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). *Journal of Plant Protection*, 11(1): 1 – 7 (in Chinese) [金德锐. 1984. 水稻对稻纵卷叶螟危害补偿作用的测定. *植物保护学报*, 11(1): 1 – 7]
- Kawazu K, Adati T, Tatsuki S. 2011. The effect of photoregime on the calling behavior of the rice leaf folder moth, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Japan Agricultural Research Quarterly*, 45(2): 197 – 202
- Khan ZR, Barrion AT, Litsinger JA, Castilla NP, Joshi RC. 1988. A bibliography of rice leaf folders (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 9(2): 129 – 174
- Kim SS, Hong YP. 2011. The Stereospecific synthesis of the rice leaf folder moth sex pheromone components from 1,5-cyclooctadiene. *Bulletin of the Korean Chemistry Society*, 32(8):

3120 - 3122

- Lei YY, Wei BX, Li WG, Li YX. 2008. Effective comparison of four set-ups for *Cnaphalocrocis medinalis* oviposition. *Guangxi Plant Protection*, 21(1): 1-3 (in Chinese) [雷妍圆, 韦秉兴, 李卫国, 李耀秀. 2008. 稻纵卷叶螟 4 种产卵装置的采卵效果比较. *广西植保*, 21(1): 1-3]
- Liang WQ, Qiu SJ. 2007. Reason analysis of flameout and modified technology of Jiaduo trapping lamb used in monitoring and forecasting. *China Plant Protection*, 27(1): 36-37 (in Chinese) [梁伟群, 丘思娟. 2007. 佳多灯在测报应用中出现熄灯原因分析及技术改进意见. *中国植保导刊*, 27(1): 36-37]
- Liao HJ, Huang JR, Liu XD. 2012. The method for mass rearing of rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* using maize seedlings. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 1078-1082 (in Chinese) [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]
- Lin XX, Jin DC, Chen XS. 2012. Research advances on resistance of *Cnaphalocrocis medinalis* to chemical insecticide. *Hubei Agricultural Sciences*, 51(3): 437-440 (in Chinese) [林秀秀, 金道超, 陈祥盛. 2012. 稻纵卷叶螟抗药性研究进展. *湖北农业科学*, 51(3): 437-440]
- Liu F. 2007. Studies on the resurgence of rice leaf folder (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée) induced by selective insecticides and the resistance to rice leaf folder derived from different rice. Master Thesis. Yangzhou: Yangzhou University (in Chinese) [刘芳. 2007. 选择性农药诱导稻纵卷叶螟再猖獗及品种抗虫性研究. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学]
- Liu Q, Xu J, Wang Y, Li CM, Han GJ, Qi JH, Sun J, Ma TB. Synergism of CmGV and *Bacillus thuringiensis* against larvae of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 34(4): 89-93 (in Chinese) [刘琴, 徐健, 王艳, 李传明, 韩光杰, 祁建杭, 孙俊, 马谈斌. 2013. CmGV 与 Bt 对稻纵卷叶螟幼虫的协同作用研究. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 34(4): 89-93]
- Liu Y, Wang JQ, Feng XD, Jiang XH. 2008. Analysis of occurrence of *Cnaphalocrocis medinalis* in 2007 and forecasting the trend of its occurrence in 2008. *China Plant Protection*, 28(7): 33-35 (in Chinese) [刘宇, 王建强, 冯晓东, 蒋学辉. 2008. 2007 年全国稻纵卷叶螟发生实况分析与 2008 年发生趋势预测. *中国植保导刊*, 28(7): 33-35]
- Lu ZX, Yu XP, Heong KL, Hu C. 2007. Effect of nitrogen fertilizer on herbivores and its stimulation to major insect pests in rice. *Rice Science*, 14(1): 56-66
- Lü ZX, Chen GH, Heong KL, Zheng XS, Xu HX, Sheng XQ, Zhang FC. 2008. A method for enhancing the control efficacy of parasitic wasp to rice planthoppers and *Cnaphalocrocis medinalis* in paddy field. *China Patent*; ZL2010105370238. 2008-08-06 (in Chinese) [吕仲贤, 陈桂华, 香广伦, 郑许松, 徐红星, 盛仙俏, 张发成. 2008. 提高稻田寄生蜂控制稻飞虱、稻纵卷叶螟能力的方法. *中国*; ZL2008100598429. 2008-08-06]
- Lü ZX, Xu HX, Chen GH, Yao XM, Zheng XS, Yang YJ, Gao GC. 2010. A method for massive rearing *Cnaphalocrocis medinalis* in field. *China Patent*; 2010105370238. 2011-03-06 (in Chinese) [吕仲贤, 徐红星, 陈桂华, 姚小明, 郑许松, 杨亚军, 高广春. 2010. 一种田间连续大量繁殖稻纵卷叶螟的方法. *中国*; 2010105370238. 2011-03-06]
- Ma SJ. 1983. Ecological engineering: the application of principle of eco-system. *Chinese Journal of Ecology*, 2(3): 20-22 (in Chinese) [马世骏. 1983. 生态工程—生态系统原理的应用. *生态学杂志*, 2(3): 20-22]
- Ma SJ. 1985. Ecological engineering: application of ecosystem principles. *Environmental Conservation*, 12(4): 331-335
- Odum HT. 1962. *Man and the ecosystem*. // Waggoner PE, Ovington JD. *Proceedings of the Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology*. New Haven, USA: United Printing Services, Inc., pp. 57-75
- Ohmura H, Tsuda K, Kamiwada H, Kusigemati K. 2000. Rearing of rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae), on artificial diets. *Japan Journal of Applied Entomology and Zoology*, 44(2): 119-123 (in Japanese) [大村浩之, 津田勝男, 上和田秀美, 櫛下町鉦敏. 人工飼料によるコブノメイガの飼育. *日本応用動物昆虫学会誌*, 44(2): 119-123]
- Pan XX, Wang YH. 1984. Studies on the occurrence of *Marasmia exigua*. *Entomological Knowledge*, (3): 106-110 (in Chinese) [潘学贤, 汪远宏. 1984. 稻显纹纵卷叶螟的发生规律研究. *昆虫知识*, (3): 106-110]
- Punithavalli M, Muthukrishnan NM, Rajkumar MB. 2013a. Defensive responses of rice genotypes for resistance against rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. *Rice Science*, 20(5): 363-370
- Punithavalli M, Muthukrishnan NM, Rajkumar MB. 2013b. Influence of rice genotypes on folding and spinning behaviour of leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* and its interaction with leaf damage. *Rice Science*, 20(6): 442-450
- Rani WB, Amutha R, Muthulakshmi S, Indira K, Mareeswari P. 2007. Diversity of rice leaf folders and their natural enemies. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(5): 394-397
- Selvaraj K, Chander S, Sujithra M. 2012. Determination of multiple-species economic injury levels for rice insect pests. *Crop Protection*, 32: 150-160
- Shen BB. 2005. Research on predation of *Bianor hotingchiehi* and *Ummeliata insecticeps* on *Cnaphalocrocis medinalis* and *Nilaparvata lugens*. *Acta Arachnologica Sinica*, 14(2): 112-117 (in Chinese) [沈斌斌. 2005. 贺氏菱头蛛和食虫沟瘤蛛对稻纵卷叶螟和稻褐飞虱的捕食作用研究. *蛛形学报*, 14(2): 112-117]

- Shen JX, Zhang XL, Wang NT, Gu WF. 2008. Simulated trial on the damage of *Cnaphalocrocis medinalis* through cutting leaves. *Plant Protection*, 34(4): 161–163 (in Chinese) [沈建新, 张小来, 王乃庭, 顾卫芬. 2008. 稻纵卷叶螟危害损失率剪叶模拟试验. *植物保护*, 34(4): 161–163]
- Shono Y, Hirano M. 1989. Improved mass-rearing of the rice leaf-folder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae) using corn seedlings. *Applied Entomology and Zoology*, 24(3): 258–263
- Su JK, Chu B, Chen WM. 2003. Preliminary study on method of determining rice leaf roller's resistance to insecticides and resistance monitoring. *Acta Agriculturae Shanghai*, 19(4): 81–84 (in Chinese) [苏建坤, 褚柏, 陈伟民. 2003. 稻纵卷叶螟抗药性测定方法初探及抗性监测. *上海农业学报*, 19(4): 81–84]
- Tian H. 2013. Research on evaluation of the resistance for mainly cultivated rice varieties to *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) and the control action threshold in Chongqing. Master Thesis. Chongqing: Southwest University (in Chinese) [田卉. 2013. 重庆稻区主栽水稻品种对稻纵卷叶螟的抗性评价及防治指标研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学]
- Wang DG, Zhou SF, Yang AM, Yang SX. 2005. Application of bio-insecticide BT in the technology of the green control in paddy field. *Plant Doctor*, 18(2): 14–15 (in Chinese) [王东贵, 周尚峰, 杨爱梅, 杨修幸. 2005. 生物农药(BT)苏得利在水稻无害化治理技术中的应用. *植物医生*, 18(2): 14–15]
- Wang FY, Zhang XX, Zhai BP. 2010. Flight and remigration capacity of the rice leaffolder moth, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(11): 1265–1272 (in Chinese) [王凤英, 张孝羲, 翟保平. 2010. 稻纵卷叶螟的飞行和再迁飞能力. *昆虫学报*, 53(11): 1265–1272]
- Wang QX, Xu L, Wu JC. 2008. Physical and biochemical mechanisms of resistance of different rice varieties to the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(12): 1265–1270 (in Chinese) [王元翔, 许路, 吴进才. 2008. 水稻品种对稻纵卷叶螟抗性的物理及生化机制. *昆虫学报*, 51(12): 1265–1270]
- Wang YC, Zhang SK, Ren XB, Su JY. 2013. Optimization an artificial diet for the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 635–640 (in Chinese) [王业成, 张树坤, 任秀贝, 苏建亚. 2013. 稻纵卷叶螟人工饲料配方的优化研究. *应用昆虫学报*, 50(3): 635–640]
- Wei W, Yang MF, An JC, Gui ZW, Jin DC. 2010. Study on leaf roller resistance of different rice varieties. *Guizhou Agricultural Sciences*, 38(2): 85–88 (in Chinese) [巍薇, 杨茂发, 安建超, 桂泽文, 金道超. 2010. 不同水稻品种对稻纵卷叶螟的抗耐性. *贵州农业科学*, 38(2): 85–88]
- Wen ZR. 1983. Field application of sex pheromone of *Susumia exiguua* (Butler). *Entomological Knowledge*, (4): 145–148 (in Chinese) [温治尧. 1983. 稻显纹纵卷叶螟性诱剂的田间应用研究. *昆虫知识*, (4): 145–148]
- Wu J, Wu X, Chen H, Xu L, Liu G, Mao B, Quo R, Du Y. 2013. Optimization of the sex pheromone of the rice leaffolder moth *Cnaphalocrocis medinalis* as a monitoring tool in China. *Journal of Applied Entomology*, 137(7): 509–518
- Wu JX, Zheng XS, Zhou GH, Liu GL, Xu HX, Yang YJ, Lü ZX. 2013. Effect of leaf cutting at different growth stages on growth, yield and physiological traits of two rice cultivars. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 651–658 (in Chinese) [吴降星, 郑许松, 周光华, 刘桂良, 徐红星, 杨亚军, 吕仲贤. 2013. 不同生育期剪叶对水稻生长、产量及生理的影响. *应用昆虫学报*, 50(3): 651–658]
- Xu J, Li CM, Yang YJ, Qi JH, Zheng XS, Hu RL, Lu ZX, Liu Q. 2012. Growth and reproduction of artificially fed *Cnaphalocrocis medinalis*. *Rice Science*, 19(3): 247–251
- Xu LJ, Shao YD, Tang LP, Ni M, Wang CL. 2013. Comparative studies on monitoring and forecasting *Cnaphalocrocis medinalis* between trapping via sex pheromone and driving moths. *Modern Agricultural Science and Technology*, (2): 126–127, 130 (in Chinese) [徐丽君, 邵益栋, 汤露萍, 倪萌, 王程亮. 2013. 性信息素诱集法与赶蛾法监测稻纵卷叶螟比较研究. *现代农业科技*, (2): 126–127, 130]
- Xu YF, Yang XY, Xu J, Zhu XY, Yang YQ. 2010. The trapping effect test of sex pheromone on *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, (3): 170, 172 (in Chinese) [徐玉峰, 杨新宇, 徐洁, 朱晓玉, 杨一琴. 2010. 性诱剂诱集稻纵卷叶螟效果试验. *现代农业科技*, (3): 170, 172]
- Xu YY, Li X, Chen FJ, Zhai BP, Hou ML, Han LZ. 2013. Analysis of nutritional components of rice leaves and its application in the development of an artificial diet for *Cnaphalocrocis medinalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 641–650 (in Chinese) [徐杨洋, 李霞, 陈法军, 翟保平, 侯茂林, 韩兰芝. 2013. 水稻叶片全营养成分分析及在稻纵卷叶螟人工饲料研制中的应用. *应用昆虫学报*, 50(3): 641–650]
- Yang PY, Zhao ZH. 2012. Guidelines of technology of green control on the crop disease and insect pests. Beijing: China Agricultural Press (in Chinese) [杨普云, 赵中华. 2012. 农作物病虫害绿色防控技术指南. 北京: 中国农业出版社]
- Yang YJ, Xu HX, Zheng XS, Lu ZX. 2012. Susceptibility and selectivity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) to different Cry toxins. *Journal of Economic Entomology*, 105(6): 2122–2128
- Yao ST, Jin ZH, Lu ZJ, Mao JS. 2012. Effect of height of traps on the monitoring effect of *Cnaphalocrocis medinalis* adults. *China Plant Protection*, 32(5): 48–49 (in Chinese) [姚士桐, 金周浩, 陆志杰, 毛继晟. 2012. 诱捕器设置高度对稻纵卷叶螟成虫监测效果的影响. *中国植保导刊*, 32(5): 48–49]

- Yao ST, Wu JX, Zheng YL, Jin ZH, Lu ZJ, Hu JJ, Du YJ. 2011. Application of sex pheromone of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in monitoring its population. *Acta Entomologica Sinica*, 54(4): 490–494 (in Chinese) [姚士桐, 吴降星, 郑永利, 金周浩, 陆志杰, 胡加君, 杜永均. 2011. 稻纵卷叶螟性信息素在其种群监测上的应用. *昆虫学报*, 54(4): 490–494]
- Zhang QF. 2005. Strategies for developing green super rice. *Molecular Plant Breeding*, 3(5): 601–602 (in Chinese) [张启发. 2005. 绿色超级稻培育的设想. *分子植物育种*, 3(5): 601–602]
- Zhang S, Jia QW, Sun SF, Pang Y, Chen QJ, Yang K. 2014. Phylogenetic analysis and epidemiologic investigation of a *Cnaphalocrocis medinalis granulovirus* strain. *Journal of Environmental Entomology*, 36(5): 756–762 (in Chinese) [张珊, 贾茜雯, 孙士锋, 庞义, 陈其津, 杨凯. 2014. 一株稻纵卷叶螟颗粒体病毒的系统发育分析和流行病学调查. *环境昆虫学报*, 36(5): 756–762]
- Zhang XX, Geng JG, Gu HN, Wang X. 1988. Forecasting model for the population life-system of rice-leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Acta Ecologica Sinica*, 8(1): 18–26 (in Chinese) [张孝羲, 耿济国, 顾海南, 王迅. 1988. 稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée)种群生命系统模型的研究. *生态学报*, 8(1): 18–26]
- Zhang XX, Geng JG, Lu ZQ, Liu WJ. 1980b. Research on the biological and ecological characteristics of *Cnaphalocrocis medinalis*. *Entomological Knowledge*, (6): 241–245 (in Chinese) [张孝羲, 耿济国, 陆自强, 刘文娟. 1980b. 稻纵卷叶螟生物生态学特性研究初报. *昆虫知识*, (6): 241–245]
- Zhang XX, Lu ZQ, Geng JG, Li GZ, Chen XL, Wu XW. 1980a. Studies on the migration of rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Acta Entomologica Sinica*, 23(2): 130–140 (in Chinese) [张孝羲, 陆自强, 耿济国, 李国柱, 陈学礼, 吴学文. 1980a. 稻纵卷叶螟迁飞途径的研究. *昆虫学报*, 23(2): 130–140]
- Zhang YP, Huang BQ. 2000. Discussion of the protection and utility of rice leaf folder's natural enemies. *Natural Enemies of Insects*, 22(1): 38–44 (in Chinese) [章玉苹, 黄炳球. 2000. 稻纵卷叶螟天敌的保护与利用. *昆虫天敌*, 22(1): 38–44]
- Zhao JW, He YX, Weng QY. 2008. Application and research of insect light traps in China. *Entomological Journal of East China*, 17(1): 76–80 (in Chinese) [赵建伟, 何玉仙, 翁启勇. 2008. 诱虫灯在中国的应用研究概况. *华东昆虫学报*, 17(1): 76–80]
- Zhejiang Agricultural University. 1982. *Agricultural entomology* (Volume one) (3rd edition). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, pp. 152–153 (in Chinese) [浙江农业大学. 1982. 农业昆虫学(上册)(第2版). 上海: 上海科学技术出版社, pp. 152–153]
- Zheng XS. 2011. Determining insecticide susceptibility and laboratory screening for combined insecticide to leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae). Master Thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese) [郑雪松. 2011. 稻纵卷叶螟对杀虫剂敏感性测定及防治混剂筛选. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学]
- Zheng XS, Lu T, Xu HX, Guo WQ, Gao GC, Lü ZX. 2010. A new, simple and efficient method of collecting the eggs of rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(6): 1253–1256 (in Chinese) [郑许松, 陆婷, 徐红星, 郭文卿, 高广春, 吕仲贤. 2010. 一种采集稻纵卷叶螟卵的高效简便新方法. *昆虫知识*, 47(6): 1253–1256]
- Zheng XS, Ren XB, Su JY. 2011a. Insecticide susceptibility of rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in China. *Journal of Economic Entomology*, 104(2): 653–658
- Zheng XS, Yang YJ, Xu HX, Chen H, Wang BJ, Lin YJ, Lü ZX. 2011b. Resistance performances of transgenic Bt rice lines T_{2A}-1 and T1c-19 against *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 104(5): 1730–1735
- Zhong XH, Huang NR, Zheng HB, Peng SB. 2007. Specification for the “Three Controls” nutrient management technology for irrigated rice. *Guangdong Agricultural Sciences*, (5): 13–15, 43 (in Chinese) [钟旭华, 黄农荣, 郑海波, 彭少兵. 2007. 水稻“三控”施肥技术规程. *广东农业科学*, (5): 13–15, 43]
- Zhou GH, Ling Y, Long LP. 2012. Effects of different insecticides on *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 28(6): 202–206 (in Chinese) [周国辉, 凌炎, 龙丽萍. 2012. 不同杀虫剂对稻纵卷叶螟的毒效研究. *中国农学通报*, 28(6): 202–206]
- Zhu PY, Wang GW, Zheng XS, Tian JC, Lu ZX, Heong KL, Xu HX, Chen GH, Yang YJ, Gurr GM. 2015. Selective enhancement of parasitoids of rice Lepidoptera pests by sesame (*Sesamum indicum*) flowers. *BioControl*, 60(2): 157–167
- Zhu ZR, Lü ZX, Yu MQ, Guo R, Ren DD, Cheng JA. 2012. *Ecological engineering for pest management in rice*. Beijing: China Agricultural Press (in Chinese) [祝增荣, 吕仲贤, 俞明全, 郭荣, 任典东, 程家安. 2012. 生态工程治理水稻有害生物. 北京: 中国农业出版社]

(责任编辑: 李美娟)