

二十一世纪以来我国水稻害虫治理成就与展望*

徐红星^{1**} 杨亚军¹ 郑许松¹ 田俊策¹ 鲁艳辉¹ 程家安² 吕仲贤^{1***}

(1. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 杭州 310021; 2. 浙江大学应用昆虫研究所, 杭州 310058)

摘 要 水稻是我国最主要的粮食作物,对于保障粮食安全具有重要意义。本文从 21 世纪以来近 20 年我国水稻主要害虫演变及其主要影响因子、水稻害虫的非化学防控技术和应急防控技术等方面综述了进入 21 世纪以来的主要成就,并从进一步提高害虫预测预报水平、加快抗性品种的培育与应用、强化绿色防控技术开发、集成与创新、提高专业化服务组织能力和服务水平、加强政策保障等方面进行了展望。

关键词 水稻害虫; 演变; 绿色防控; 农药减量

Research on the management of rice insect pests in China since the 21 century: Advances and future prospects

XU Hong-Xing^{1**} YANG Ya-Jun¹ ZHENG Xu-Song¹ TIAN Jun-Ce¹
LU Yan-Hui¹ CHENG Jia-An² LÜ Zhong-Xian^{1***}

(1. Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China;

2. Institute of Applied Entomology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract Rice is the most important food crop in China and is of great significance for China's food security. This paper reviews the main achievements in rice pest management since the beginning of the 21st Century, from determining the population dynamics of major rice pests in China and the main factors influencing population growth and the development of non-chemical control technologies and emergency control technologies for rice pests over the past 20 years. Future prospects for rice pest management, such as improving prediction and forecasting, accelerating the cultivation and application of resistant varieties, strengthening the development, integration and innovation of green pest management technologies, improving the ability and service level of professional service organizations and strengthening policy support, are also discussed.

Key words rice insect pest; dynamics; green pest management; reduction of chemical pesticide

水稻是我国也是世界的主要粮食作物之一,它养活了世界近一半的人口,在我国常年种植面积 3 000 万 hm^2 左右,为我国确保粮食安全发挥了极其重要的作用(刘万才等, 2016; 袁隆平, 2016)。水稻整个生长过程中会遭受到多种害虫的危害,尤其是水稻螟虫、“两迁”害虫(稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*、稻飞虱(褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 和白背飞虱 *Sogatella*

furcifera))等主要害虫此起彼伏地暴发,严重影响着水稻产量和质量安全。进入 21 世纪以来,我国水稻病虫害防治从“预防为主、综合防治”时期向“绿色防控、生态治理”时期转变(程家安和祝增荣, 2017)。2006 年,我国提出了“公共植保、绿色植保”的理念(夏敬源, 2008),“绿色植保”的理念已得到广泛认同,近年来绿色防控技术发展迅速并丰富完善(叶贞琴, 2013; 徐

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200800); 国家基金项目(31672022); 浙江省重点研发计划项目(2018C02036); 国家水稻产业技术体系项目(CARS-01-36)

**第一作者 First author, E-mail: 13588332930@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: luzxmh@163.com

收稿日期 Received: 2019-09-06; 接受日期 Accepted: 2019-10-22

红星等, 2017b)。近几年中央一号文件均对农业绿色发展提出了新的要求, 这些变化对我们植保工作也提出了更高的要求(程家安和祝增荣, 2017)。本文旨在回顾进入 21 世纪以来近 20 年我国水稻害虫治理方面的成就, 为水稻害虫的防控提供参考。

1 近 20 年我国水稻害虫发生的演变动态

全国范围内发生比较严重的水稻害虫包括“两迁害虫”和二化螟 *Chilo suppressalis* 等。其中, “两迁害虫”的发生在不同年度之间波动较大, 严重威胁水稻安全生产; 而二化螟除局部地区因抗性问题的发生近几年发生较严重外年度间发生总体上相对平稳, 但每年的发生危害和造成的损失都较高(刘万才等, 2016)。

1.1 稻飞虱

进入 21 世纪以来, 稻飞虱的发生面积和数量不断上升, 褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱在我国大范围严重发生和危害(姜永根和程家安, 2011; Cheng, 2015)。2006 年为暴发高峰, 其次为 2007 年和 2012 年(刘万才等, 2016)。最重要的原因是, 2005 年我国首次报道田间褐飞虱对吡虫啉产生了高水平抗性, 江苏省、浙江省、安徽省、江西省、湖南省、广西壮族自治区等省(区)大田种群对吡虫啉的抗性达 79-811 倍(高至极高水平抗性)(王彦华等, 2008)。之后, 我国主要稻区的褐飞虱种群对主治农药的抗性水平逐渐提高(王鹏等, 2013)。2018 年监测结果表明, 褐飞虱对吡虫啉抗性倍数大于 1 000 倍, 对烯啶虫胺的抗性倍数为 5.1-12 倍, 对噻虫嗪的抗性倍数大于 200 倍, 对呋虫胺的抗性倍数为 24-201 倍, 对噻嗪酮的抗性倍数达 300 倍, 对吡蚜酮的抗性倍数为 53-260 倍(全国农业技术推广服务中心, 2019)。白背飞虱所有种群对噻嗪酮抗性倍数为 65-66 倍, 对毒死蜱为 17-126 倍(全国农业技术推广服务中心, 2019)。

稻飞虱不仅直接取食危害水稻, 而且各自传

播的特异性水稻病毒病更具毁灭性(翟保平, 2011), 如灰飞虱传播的水稻条纹病毒和黑条矮缩病毒, 白背飞虱传播的南方水稻黑条矮缩病毒。另外, 褐飞虱传播的水稻锯齿叶矮缩病毒、黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps* 传播的水稻矮缩病毒以及电光叶蝉 *Recilia dorsalis* 传播的水稻条纹花叶病在我国南方稻区局部发生和危害。

1.2 稻纵卷叶螟

2000 年以来, 稻纵卷叶螟发生日益严重, 2003 年出现全国性大暴发, 而后连年猖獗为害, 2004-2008 年也局部地区大发生(刘宇等, 2008; 唐洁渝等, 2009)。稻纵卷叶螟发生面积在 2003-2010 年 8 年间有 6 年超过 2 000 万 hm^2 。2014 年全国稻纵卷叶螟累计发生面积 147.4 万 hm^2 次, 造成实际损失 63.2 万吨。2015 年稻纵卷叶螟发生面积 1 554.51 万 hm^2 次, 防治面积 2 149.50 万 hm^2 次, 挽回损失 447.55 万吨, 实际损失 47.52 万吨(吕仲贤, 2017)。在稻纵卷叶螟人工饲养方面有较大突破, 包括卵的收集(雷妍圆等, 2008; 郑许松等, 2010; 徐红星等, 2016)、天然食料、人工饲料、天然食料+人工饲料以及饲养条件(雷妍圆等, 2007; 柯名娟等, 2007; 李传明等, 2011; 秦钟等, 2011), 为我国稻纵卷叶螟的研究、防治等工作奠定坚实的基础。

近年来, 除了稻纵卷叶螟外, 其近缘种如宽纹刷须野螟 *Cnaphalocrocis patnalis*、显纹纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis exigua* 等在我国局部地区发生逐渐加重, 它们与稻纵卷叶螟形态相似、为害形式也相同, 在一些稻区混合发生, 且在不同地区优势种群也存在差异(杨亚军等, 2015; 吕仲贤, 2017)。稻纵卷叶螟与其近缘种不同的生物学特点和对农药、性信息素等的敏感性等差异容易影响水稻卷叶螟的防控, 造成防效下降甚至防控失败, 从而造成严重危害, 需引起重视。

1.3 水稻螟虫

水稻螟虫主要包括二化螟、三化螟 *Tryporyza incertulas*、大螟 *Sesamia inferens* 等。二化螟年度间发生相对平稳, 但每年的发生危害和造成的

损失都比较高(刘万才等, 2016)。20 世纪末-21 世纪初在大量使用氟虫腈的地区, 由于对二化螟效果好而对大螟效果较差, 导致大螟数量有所上升。近年来, 局部地区因二化螟对主治农药产生高水平抗性而成暴发趋势, 如浙江东部、江西环鄱阳湖、湖南南部等的二化螟对氯虫苯甲酰胺产生高水平抗性; 浙江、安徽、江西、湖南等的二化螟对阿维菌素和三唑磷产生中等至高水平抗性、对毒死蜱产生中等水平抗性(全国农业技术推广服务中心, 2019)。由于耕作制度、栽培方式和水稻品种等的变化, 部分地区田间三化螟种群有上升趋势。大螟一直被认为是水稻上的次要害虫, 在局部地区近年来大螟种群数量已超过二化螟。

1.4 其它

稻瘰蚊 *Orseolia oryzae* 主要在我国华南稻区发生, 其中以山区为害最严重。近年来广西、广东、福建、江西等地的稻瘰蚊发生有上升的趋势(Lu et al., 2011), 在湖南部分地区已成为常发性害虫之一。

稻水象甲 *Lissorhoptrus oryzophilus* 是全国二类检疫性水稻害虫, 稻水象甲在北京北部、天津、河北、湖南、湖北、山东、浙江、安徽、江苏、贵州、福建、广东、广西、台湾和辽宁、吉林、四川、贵州、新疆等多个省份(王永模等, 2018; 贺华良等, 2018; 尹艳琼等, 2019)均有分布, 但虽偶有发生, 但并未造成严重损失。

另外, 稻蓟马 *Stenchaetothrips biformis* 和稻秆蝇 *Chlorops oryzae* 等害虫在局部地区也时有发生。

1.5 近 20 年影响水稻害虫发生变化的主要因子

1.5.1 水稻品种 品种培育和种植过程中追求高产, 过度施用氮肥等, 忽略对抗病虫特性的种质选育和保护, 导致一些潜在病虫上升为重大病虫害(程家安和祝增荣, 2017)。与常规稻相比, 超级稻的株型结构及营养成分等的变化使得一些水稻病虫发生改变, 如二化螟种群上升、稻曲病发生加重等(刘见平等, 2005); 在分蘖期,

超级稻上的二化螟数量及危害程度均显著高于常规稻, 超级稻的枯鞘率高出常规稻 182.8%, 虫量也比常规稻高出 183.3%; 在超级稻生长后期, 由于水稻植株高下, 因此防治 3 代二化螟时, 药液量必须大于 750 kg/hm^2 才能达到较好的防治效果(贾华凑等, 2015)。

我国杂交稻技术对世界水稻育种和生产也产生了深远的影响, 我国虫源地越南等东南亚水稻生产国的杂交稻种子大部分来自中国, 或者是利用了中国的不育系材料(彭少兵等, 2002)等, 背景相近容易引起稻飞虱致害性的同步变异。近年来, 水稻抗虫性不受重视, 导致生产上的水稻品种对褐飞虱的抗性普遍较差(徐红星等, 2017b)。据中国水稻研究所 2007-2015 年对 2 307 份南方区试水稻参试品种的苗期抗性鉴定, 仅获得高抗(1 级)褐飞虱材料 1 份(0.04%)、抗虫(3 级)材料 6 份(0.26%)和中抗(5 级)材料 113 份(4.9%)(徐红星等, 2017b)。彭兆普等(2009)对湖南省区试、长江中下游区试等的 328 份水稻品种的鉴定, 亦仅获得抗-中抗褐飞虱品种(系)5 份(1.5%)。

1.5.2 种植制度/栽培方式 近年来在长江流域单季稻面积逐年扩大, 部分地区插花种植现象严重。单季稻在 6-7 月份直播或移栽, 因水稻生长期比连作晚稻提前了约一个月, 导致田间褐飞虱的发生增加了 1 个世代(程家安和祝增荣, 2006)。而在单双季混栽区, 由于桥梁田增加而有利于二化螟种群的提高。另外, 机械化收割的快速发展和跨地区联合作业导致田间所留稻桩过高有利于螟虫的越冬从而提高了其越冬基数(王藕芳等, 2002)。在浙江嘉兴地区, 通过适当推迟播种期, 可显著减轻灰飞虱及其传播的病毒病(孙祥良等, 2008; 朱金良等, 2008)和二化螟的发生(朱金良等, 2011; 徐红星等, 2017b)。

另外, 近年来再生稻的发展也十分迅速, 对田间病虫害发生的影响有待于进一步研究。

1.5.3 气候变化 气候变化可能会影响害虫发生世代数、分布范围和迁飞等。如温度变化改变了水稻、害虫和天敌之间的关系, 从而影响整个

生态系统,最终表现为害虫的猖獗。温度升高会对水稻的抗虫性产生影响,如 25-34 °C 范围内随温度升高,IR26 和 IR36 的抗虫性减弱,尤其是具中等抗性的 IR36,在 31 °C 和 34 °C 下抗性完全丧失(王保菊等,2010)。温度和干旱会影响褐飞虱的生态适应性,如随温度升高,褐飞虱雌成虫发育历期缩短、成虫体重下降和寿命缩短(王保菊等,2010);随着干旱胁迫程度的增强,其产卵量和取食量均下降(罗定等,2012)。气候变化使天敌和害虫之间固有的平衡关系受到破坏,害虫和寄生蜂之间的同步性很容易被气候变化所改变。通过多个世代的连续观察,随着温度的升高,稻虱缨小蜂的发育历期会缩短,且具有累积效应,尤其是在低适温区和高适温区,温度的连续作用对于寄生蜂的发育存活和繁殖都相当显著,随着世代增加,对种群的抑制作用逐渐累积增强(刘淑平等,2012)。模拟干旱胁迫也能降低稻虱缨小蜂生态适应性,且降低对褐飞虱卵的寄生力和选择性(徐红星等,2017a)。

1.5.4 化学农药不合理使用 由于长期依赖于化学农药的使用,许多重要靶标病虫都产生了抗药性。而抗药性的产生导致农药使用量的加大,形成恶性循环,最终导致大部分农药当家品种的使用寿命迅速缩短甚至被淘汰(高希武,2010)。如褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱和二化螟等害虫相继产生了不同程度的抗药性,局部地区的二化螟对氯虫苯甲酰胺、杀虫单、三唑磷产生高至极高水平抗性(张帅等,2011;何月平等,2012;李建群等,2014;Liu *et al.*, 2015;班兰凤等,2015)。多年来,吡虫啉也是我国稻飞虱的虫源地(如泰国和越南等)国家防治褐飞虱的主要农药,导致迁飞不能再推迟抗药性产生,这也是 2005 年褐飞虱暴发成灾的一个关键原因之一(程家安和祝增荣,2006)。另外,很多农民在每次施药时习惯把多种农药混在一起,多次使用用量不足以防治害虫的农药,容易起到筛选作用,从而提高害虫的抗药性。另外,在水稻移栽前期施药容易大量杀伤天敌导致后期褐飞虱的暴发;为节省用工,很多农民减少了施药时的用水量而难以达到较高的防治效果(程家安和祝增荣,2006)。

2 水稻害虫治理技术的主要成就

2.1 害虫监测预警技术体系

1998 年,农业部提出了我国植物保护工程建设规划和建议之后,先后编制了 2000-2005 年、2006-2010 年《植保工程建设规划》,各级财政加大了植保基础设施建设的力度,其中立项了省级监控中心项目 26 个,建设了农作物有害生物监测预警与控制站 814 个,植保基础设施明显改善,监测预警和应急防控等方面的能力大幅提高(刘万才等,2010);2006 年,全国农作物病虫测报网区域站扩大到 600 个,在我国已经初步建成了较为完善的病虫测报体系(刘万才等,2010)。

进入 21 世纪以来,水稻害虫测报调查手段也得到了加强。2006 年,《农作物有害生物预测学》出版(张孝羲和张跃进,2006),作为我国农业有害生物预测学的第一本专著,该书全面系统地总结了我国农业有害生物预测预报的理论和实践经验(刘万才等,2010)。水稻害虫的调查方法不断优化(姚土桐等,2011;卜锋等,2012;赵利刚,2015),稻飞虱、二化螟、稻纵卷叶螟等重要水稻害虫的测报调查规范出台或修订(张玉江等,2004;王建强等,2009a, 2009b;张跃进等,2011;刘万才等,2011)。测报调查手段越来越智能化、专业化,如利用虫情测报灯、性诱剂等,不仅实现了害虫的自动诱测,还实现了数据的自动处理(刘万才等,2010)。随着网络、数字图像技术的发展,一些省级的重大病虫数字化监测预警系统和水稻害虫自动识别系统等平台的开发,提供了一个病虫数据管理、传输、处理分析和发布的平台(黄凌霄,2012;钟天润等,2012;张谷丰等,2014;冼鼎翔等,2015),将进一步实现水稻害虫的快速、准确地自动识别,减轻基层植保人员的负担等,从而提高了病虫预测预报的效率和决策水平。另外,在科学技术快速发展的今天,广播、电视、电子显示屏、互联网、手机短信、微信、APP 等都为病虫信息的发布提供了多种途径。

2.2 水稻害虫非化学控制

水稻害虫非化学控制的主要技术包括:通过田间合理布局增加稻田生物多样性,保护和提高天敌基数;种植显花植物(芝麻)等提高天敌的数量和繁殖能力,增强重点天敌的控害功能;应用化学、物理诱杀技术减少害虫虫源基数;农业措施抑制害虫种群增长;同时提出了调整化学农药使用策略等技术手段,从而达到最大限度地减少化学杀虫剂的使用。

2.2.1 抗性品种 培育抗虫品种一直是防治害虫最为经济有效的一项措施。2015年,中国水稻研究所对418份材料对稻飞虱的抗性进行了鉴定,发现对白背飞虱具高抗、抗和中抗的材料分别为6、40和96份,分别占1.44%、9.58%和22.96%,明显优于对褐飞虱的抗性(徐红星等,2017b)。粳稻品种普遍对抗白背飞虱具有抗性,如2014年浙江省抗白背飞虱的粳稻品种(秀水系列、春优84、浙粳88等)约占粳稻品种的2/3,在白背飞虱大发生年份,田间虫量也未超过防治指标(徐红星等,2017b)。近些年,我国在水稻抗虫基因克隆和功能解析等的研究处于国际领先水平,如Bph14、Bph3和Bph9等抗稻飞虱基因都均由我国科学家定位,且水稻抗虫的功能基因组研究已起步,积累了大量数据,极大地促进了抗虫机理方面的认知(杜波等,2016)。

2.2.2 低茬收割和耕沤灭蛹 通过低茬收割和灌水灭蛹,可有效降低螟虫的越冬虫量(徐红星等,2017b)。如在水稻收获时,稻桩高度保留在5-10 cm,可减少越冬螟虫幼虫70%-90%;因此利用低茬收割可破坏螟虫越冬环境,降低其越冬基数(黄水金等,2010;吴生伟等,2014)。并且,在来年春季越冬螟虫的化蛹高峰期进行翻耕灌水,低茬收割的也可直接灌水灭蛹,可减少70%左右的越冬虫量(郭荣等,2013a)。

2.2.3 控肥减害 在明确了施用过量的氮肥提高了害虫种群数量和危害水平基础上,探明了在高氮条件下稻田中一些重要天敌的种群数量和捕食功能下降,从而降低了天敌对水稻害虫的自然控制作用(吕仲贤等,2005;2006)。“三控”

施肥技术通过肥料运筹,减少氮肥施用量,可改善水稻的群体结构、控制病虫发生(黄农荣等,2010;钟旭华等,2010)。在浙江,施氮量减少50 kg/hm²(从250 kg/hm²减少到200 kg/hm²),单季稻是稻飞虱、稻纵卷叶螟的种群数量显著降低(王国荣等,2015;郑许松等,2015)。另外,增施磷钾、硅肥等也有利于增强植株活力、提高抗病虫害能力(张翠珍,2003;郑许松等,2015)。

2.2.4 理化和植物诱控 通过灯光、性诱剂和诱虫植物的诱杀,降低水稻重要害虫的种群基数。针对频振式杀虫灯对益虫和中性昆虫的致死率也很高的缺点,发明了不同波长的诱虫灯(如针对二化螟和大螟较好诱集效果的405 nm、对稻纵卷叶螟较好的495 nm波长)和对天敌相对安全的扇吸式诱虫灯(何超等,2013;钟莉,2016)。20世纪90年代末,开展了大量使用性诱剂诱杀二化螟和稻纵卷叶螟的研究,近20年,通过对其诱捕器的重大改进,操作更方便,维护成本减轻;对诱芯也进行了改良,如最长时间为90 d的诱芯在一季水稻中基本可以不用更换;对性诱剂诱杀害虫的技术开展了更深入的研究,效果更佳(杜永均等,2013;朱平阳等,2013)。根据水稻螟虫偏好香根草上产卵的特性和影响香根草诱集效果的因子(如种植时间、密度)等方面的研究,在稻田边种植一定比例的香根草,可显著降低田间螟虫的种群数量(郑许松等,2009;梁齐等,2015;陈桂华等,2016;郑许松等,2017;Lu et al., 2019)。

2.2.5 生物防治 通过天敌保护与利用、促进天敌的增殖和功能,构建载体植物系统,提高稻田天敌的种群数量和控害功能。采用冬季种植绿肥、在水稻田边种植芝麻等蜜源植物、保留一些功能性杂草以及田块间插花种植茭白等措施,可保护以及促进天敌种群的稳定增长,并提高其自然控害功能(郑许松等,2013;Zhu et al., 2013, 2015;Lu et al., 2014);保留沟渠水草和稳定水域,或通过间作茭白等水生作物,提供有利于蛙类生存繁育的环境条件,保护蛙类种群(吕仲贤等,2017a)。另外,在湖北、上海和浙江等部分

有条件的地方已开始在冬春季人工养殖蛙类,水稻种植后释放,从而提高水稻田蛙类种群数量。近年来,稻鸭、稻鱼、稻鳖、稻蟹等综合种养技术发展迅速,在稻鸭系统中,鸭子也直接捕杀害虫,从而减轻稻田虫害(戴志明等,2004;杨治平等,2004;禹盛苗等,2004;刘小燕等,2005;Long *et al.*, 2013);其它稻渔生态系统对水稻害虫也有类似效果(黄毅斌等,2001;李锡勇和黄婕,2005)。

近年来,通过释放赤眼蜂防治稻田主要鳞翅目害虫的研究,优化了放蜂器、放蜂方法和时间等(郭震等,2012;Yuan *et al.*, 2012;李敦松等,2013;臧连生等,2014;Zhang *et al.*, 2014;田俊策等,2015,2018),形成了《稻田释放赤眼蜂防治稻纵卷叶螟技术规程》(吕仲贤等,2017b),以此为基础的行业标准也正在制订中。

在水稻移栽前期放宽稻纵卷叶螟等害虫的防治指标或弃治,可涵养天敌,降低后期褐飞虱等的暴发概率(郭荣等,2013)。在水稻生长前期不防治,稻田中大量的摇蚊等中性昆虫为捕食性天敌提供了食物,有利于增加天敌的数量(李志宇等,2010);在早稻和单季中稻的生长前期害虫数量较少,用药与否对产量无影响;双季晚稻移栽后 30 d 内,在害虫中等发生及以下的发生水平下,无需使用杀虫剂或者减少 1-2 次喷药对后期生长和产量无显著影响(郭荣等,2013)。

使用生物农药是生物防治的重要手段之一。Bt、甘蓝夜蛾核型多角体病毒对水稻二化螟、稻纵卷叶螟均表现出较好的杀虫效果(郭荣,2011;邓方坤等,2014;王国荣等,2015)。稻纵卷叶螟颗粒体病毒对于防治稻纵卷叶螟也很有潜力,尤其是与 Bt 联合使用效果更明显(刘琴等,2013;张珊等,2014)。金龟子绿僵菌 CQMa421 对稻飞虱有较好的控制能力,对稻纵卷叶螟有一定的控制能力(张舒等,2018;黄福旦等,2019)。

2.3 应急性化学防治

近 20 年在主治农药品种方面,氟虫腈曾一

度是水稻上的当家杀虫剂,用于防治二化螟、稻纵卷叶螟和稻飞虱等,但由于对水生生物杀伤力较强,农业部办公厅发文自 2009 年 7 月 1 日起在我国境内停止销售和使用含氟虫腈成分的农药制剂(中华人民共和国农业部公告第 1157 号)。2008 年,氯虫苯甲酰胺上市,填补了氟虫腈禁用后的空白,之后与氯苯虫酰胺、氯虫·噻虫嗪一起成为防治水稻螟虫、稻纵卷叶螟的主打杀虫剂。因氯虫苯甲酰胺和氯苯虫酰胺均作用于鱼尼汀受体,事实上没起到轮换用药的效果,致使其在长江流域水稻区域二化螟抗性发展很快(全国农业技术推广服务中心,2019)。目前在抗性高的区域防治螟虫以阿维菌素、甲维盐和乙多·甲氧虫酰肼为主。在防治稻飞虱方面,2005 年之前主要以吡虫啉和噻嗪酮为主,2005 年全国褐飞虱特大发生后吡虫啉被禁用于防治褐飞虱,之后吡蚜酮成了当家品种,目前鉴于对吡蚜酮也已产生抗药性,因此也限制其使用次数,并建议交替轮换使用烯啶虫胺、三氟苯嘧啶和氟啶虫胺腈等药剂(全国农业技术推广服务中心,2019)。同时,在水稻害虫抗药性监测方面制定了二化螟、褐飞虱、灰飞虱和白背飞虱的抗药性监测技术规程(NYT1708-2009、NY/T 2058-2014、NY/T 2622-2014 和 NY/T 3159-2017)(梁桂梅等,2009;邵振润等,2014;张帅等,2014,2017),有利于不同地区不同年份之间的比较,为以抗性结果指导用药提供了依据。

随着技术的进步,各种新型剂型如悬浮剂、水乳剂、微乳剂、水分散粒剂等环保安全剂型不断得以开发(张一宾,2016)。同时添加助剂可提高药液在作物表面的附着和扩散铺展能力,从而提高农药的利用率和防治效果(张帅等,2011)。近年来喷雾机械也有了飞速的发展,如背负式机动喷雾器、高效宽幅远程机动喷雾器、水田用双船自走式高地隙喷杆喷雾机和植保无人机等,与传统施药器械相比,具省时高效、有效降低农药残留等特点(薛新宇等,2013;杨进等,2014;温源等,2014)。改良喷头的孔径和流量,改善其雾化性能,也可提高农药有效利用率(李旭等,2002;茹煜等,2014)。

另外,根据不同水稻的抗(耐)虫性和补偿能力以及生育期,修正和完善防治指标,也可有效减少用药次数和用药量(徐红星等,2017b)。

2.4 社会化服务体系

近年来,我国的病虫害专业化统防统治发展迅速,这是改变一家一户防治病虫害的现状以及减少农药使用的有效方式。如浙江省自2006年开始推行水稻病虫害专业化统防统治以来,严格按照病虫害防治适期和合理剂量科学用药,大大提高了技术精准性、到位率。与农民一家一户分散自防相比,水稻统防统治每季减少防治次数2次左右,化学农药施用量下降超过30%(史济锡,2015)。2015年,农业部制定了农作物病虫害专业化统防统治与绿色防控融合推进试点方案(农办农[2015]13号),农药减量的效果更好。如在浙江水稻绿色防控融合区每季减少用药3次左右,化学农药用量减少50%以上,蜘蛛等有益生物数量增加4倍左右(史济锡,2015)。在其它各省也有类似的结果,不仅可有效解决因农村劳动力结构性短缺带来的防病治虫难题,同时也可促进防控方式转变,加快绿色防控技术和新型植保器械等推广应用进程(王建强等,2015)。

3 展望

随着人们生活水平的不断提高,对于食品安全、环境安全等的要求也不断地提高。病虫害的绿色防控是农业绿色发展的要求,也是一项长期的任务和不断发展的过程。目前,世界各国高度重视保护农田生态系统健康和农业有害生物可持续治理新技术的研发,以减少化学农药的使用。近些年来,我国病虫害绿色防控取得了积大的发展,这对于大力度推进病虫害绿色防控,也符合当前助力质量兴农、绿色兴农和乡村振兴的新需求(曾衍德,2018)。2015年我国提出的“到2020年我国资源节约型和环境友好型社会的建设要取得重大进展”、农业农村部(原农业部)实施了“到2020年农药使用零增长行动”计划等,对减少化学农药使用均提出了具体要求。

有效控制水稻害虫,减少稻田化学农药的使

用量,要从生态系统、管理系统和社会系统整体考虑。1) **进一步提高害虫预测预报水平。**我国到十二五期间已建成区域气象观测站55488个,乡镇覆盖率达到94%(中国综合气象观测业务发展规划(2016-2020年))。而据2007年统计结果,全国338个市(地、州)2450个县(市、区)建立了承担病虫害测报工作的植保机构,专(兼)职测报人员16085人(刘万才等,2010);2017年我国启动了农业基础性长期性科技工作,其中国家植物保护数据中心有180余个单位参加,相比之下,仍远远不如我国气象站的发展速度和规模,如果可以借鉴我国气象站的体制、技术、设备、队伍等发展模式来发展我国病虫害测报预警网络,完全可以提高我国病虫害监测预警的水平和准确程度。2) **加快抗性品种的培育与应用(包括转基因抗虫水稻)。**加快培育绿色性状突出的水稻品种,在提高产量和改良品质的同时,少依赖于化肥和农药(徐春春等,2018)。在水稻新品种审定中,应将抗虫性评价作为一项重要指标加入到审定要求中;另外,也应定期对已在推广应用的水稻品种进行抗虫性监测,以防止因害虫产生适应性而导致抗虫性下降甚至丧失。3) **强化绿色防控技术开发、集成与创新。**结合国家重点研发计划“化学肥料农药减施增效综合技术研发”试点专项等重大科技专项,汇聚力量、资源共享、协同创新、联合攻关,加强绿色防控技术体系和服务体系建设,为实施农药使用量零增长行动提供有力的科技支撑。4) **提高专业化服务组织能力和服务水平。**随着经济发展和大量农村劳动力进入城市,农村从事农业生产的人口急剧下降,土地流转随之不断推进,小规模农户比例逐年下降,以及在我国相关政策的助力下,种植大户和专业合作社已成为我国农业生产的重要力量(刘大鹏等,2019),对植物保护的需求也发生变化。因此,如何在政策引导、资金扶持和风险化解等方面为我国专业化统防统治组织的良性发展创造良好的环境,并通过优化技术支撑、提高装备水平、改进服务方式,大力提升植保服务水平和绿色防控技术的实施水平。5) **加强政策保障。**近几年中央一号文件连续对

绿色发展提出了要求。另外,在 2017 年新《农药管理条例》正式实施的基础上,农业部又发布了《条例》的第一批五个配套规章,根据这些条件和规章加强农药登记、生产许可、经营许可及市场监管等全程监管;加快推进《农作物病虫害防治条例》立法进程等工作也需要全面协同推进。另外,加快在我国粮食功能区内建立水稻生态补偿制度,加大对有机肥、缓控释肥、生物农药和天敌等产品的补贴力度,并提高化肥和化学农药市场准入门槛等措施;加强开展“生态农民”和“绿色技术经营服务主体”等的资格认定,取得该资格才可以在试验示范、资金借贷等方面享受更多优惠政策;鼓励各地开展政府购买绿色防控公共服务,大力推进专业化统防统治与绿色防控融合,提升防治效果(程式华,2018;方福平,2018;徐春春等,2018)。

参考文献 (References)

- Ban LF, Gao CF, Guo HY, 2015. Resistance to insecticides in the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Homoptera: Delphacidae). *Plant Protection*, 41(1): 158–162 [班兰凤, 高聪芬, 郭昊岩, 2015. 灰飞虱对几种杀虫剂的抗性. 植物保护, 41(1): 158–162.]
- 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. [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.]
- Chen GH, Zhu PY, Zheng XS, Yao XM, Zhang FC, Sheng XQ, Xu HX, Lü ZX, 2016. The practice of ecological engineering on the control of rice insect pests in Jinhua. *China Plant Protection*, 36(1): 31–36. [陈桂华, 朱平阳, 郑许松, 姚晓明, 张发成, 盛仙俏, 徐红星, 吕仲贤, 2016. 应用生态工程控制水稻害虫技术在金华的实践. 中国植保导刊, 36(1): 31–36.]
- Cheng JA, Zhu ZR, 2006. Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze area, China in 2005. *Plant Protection*, 32(4): 1–4. [程家安, 祝增荣, 2006. 2005 年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析. 植物保护, 32(4): 1–4.]
- Cheng JA, Zhu ZR, 2017. Development of rice pest management in the past 60 years in China: Problems and strategies. *Journal of Plant Protection*, 44(6): 885–895. [程家安, 祝增荣, 2017. 中国水稻病虫害治理 60 年: 问题与对策. 植物保护学报, 44(6): 885–895.]
- Cheng JA, 2015. Rice planthoppers in the past half century in China //Heong KL, Cheng JA, Escalada MM(eds.). *Rice Planthoppers: Ecology, Management, Socio Economics and Policy*. New York, USA: Springer. 1–32.
- Cheng SH, 2018. Strengthening policy support and technological innovation to promote the green development of the rice industry. *Rural Work Communication*, (6): 24–26. [程式华, 2018. 加强政策支持和科技创新 推进水稻产业绿色发展. 农村工作通讯, (6): 24–26.]
- Dai ZM, Yang HS, Zhang X, Zhou XZ, Han ZH, Yu Yang, Qian GP, Zhang SQ, Masaharu M, Yoshitaka N, Wei HJ, 2004. The research on the benefit of Yunnan rice-duck intergrowth model and its comprehensive evaluation (Part 3). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 20(4): 265–267 [戴志明, 杨华松, 张曦, 周晓智, 韩自鸿, 余杨, 钱国平, 张树清, 万田正治, 中西良孝, 魏红江, 2004. 云南稻-鸭共生模式效益的研究及综合评价(三). 中国农学通报, 20(4): 265–267.]
- Deng FK, Li YP, Qi Q, Zhou DY, Wu JQ, 2014. Effects of *Mamestra brassicae* nuclear polyhedrosis virus on rice insect pests and yield increasing. *Hubei Plant Protection*, (6): 27–29. [邓方坤, 李永平, 祁琪, 周代友, 吴俊清, 2014. 甘蓝夜蛾核型多角体病毒杀虫剂防治水稻害虫效果及增产作用. 湖北植保, (6): 27–29.]
- Du B, Chen RZ, He GC, 2016. The progress of functional genomics research of rice resistance to insect. *Chinese Bulletin of Life Sciences*, 28(10): 1200–1215. [杜波, 陈荣智, 何光存, 2016. 水稻抗虫功能基因组研究进展. 生命科学, 28(10): 1200–1215.]
- Du YJ, Guo R, Han QR, 2013. The application technique of insect sex pheromone control of rice stem borer and rice leaffolder. *China Plant Protection*, 33(11): 39–42. [杜永均, 郭荣, 韩清瑞, 2013. 利用昆虫性信息素防治水稻二化螟和稻纵卷叶螟应用技术. 中国植保导刊, 33(11): 39–42.]
- Fang FP, 2018. Exploiting the value of ecological service function, establishing the ecological compensation mechanism of rice fields. *Rural Work Communication*, (8): 12–14. [方福平, 2018. 挖掘生态服务功能价值 建立稻田生态补偿机制. 农村工作通讯, (8): 12–14.]
- Gao XW, 2010. Current status and development strategy for chemical control in China. *Plant Protection*, 36(4): 19–22. [高希武, 2010. 我国害虫化学防治现状与发展策略. 植物保护, 36(4): 19–22.]
- Guo R, 2011. Extension, application and developmental strategies of biopesticides in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 27(1): 124–127. [郭荣, 2011. 我国生物农药的推广应用现状及发展策略. 中国生物防治学报, 27(1): 124–127.]

- Guo R, Han M, Shu F, 2013. Strategies and measures of green control of rice pests based on reduction of pesticides application in paddy field. *China Plant Protection*, 33(10): 38–41. [郭荣, 韩梅, 束放, 2013a. 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 Z, Ruan CC, Zang LS, Zhang F, Jin FY, 2012. Design of specific primer for *Trichogramma japonicum* based on rDNA-ITS2 and application of diagnostic primers in identification of four *Trichogramma* species. *Chinese Journal of Rice Science*, 26(1): 123–126. [郭震, 阮长春, 臧连生, 张帆, 靳锋云, 2012. 稻螟赤眼蜂 rDNA 特异引物设计及诊断引物在赤眼蜂分子鉴定中的应用. 中国水稻科学, 26(1): 123–126.]
- He C, Fang BH, Zhang YZ, Qing XG, 2013. Comparison of pest controlling effect in rice fields between fan-inhaling lamps and frequency trembler grid lamps. *Hybrid Rice*, 28(3): 58–63. [何超, 方宝华, 张玉烛, 青先国, 2013. 扇吸式诱虫灯与频振式杀虫灯对稻田防虫效果比较. 杂交水稻, 28(3): 58–63.]
- He HL, Hu Y, Ye B, Zhang LJ, Lei ZD, Ding WB, Li YZ, 2018. Genetic diversity and geographical range expansion in Hunan populations of *Lissorhoptrus oryzophilus*. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 44(6): 613–619. [贺华良, 胡岩, 叶波, 张龙杰, 雷振东, 丁文兵, 李有志, 2018. 湖南省稻水象甲的遗传多样性及入侵扩散特点. 湖南农业大学学报(自然科学版), 44(6): 613–619.]
- He YP, Zhang JF, Xiao PF, Chen LZ, Chen JM, 2012. Susceptibility of three rice planthoppers to insecticides in Zhejiang province. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 24(4): 642–646. [何月平, 张珏锋, 肖鹏飞, 陈列忠, 陈建明, 2012. 浙江省水稻三种飞虱对杀虫剂的敏感性测定. 浙江农业学报, 24(4): 642–646.]
- Huang FD, Li B, Wang GR, Li F, Xu HX, Lü ZX, 2019. Control effect of 8 billion spores/ml *Metarhizium anisopliae* CQMa421 OD against the main insect pests on late season rice. *China Rice*, 25(S1): 24–26. [黄福旦, 李斌, 王国荣, 李锋, 徐红星, 吕仲贤, 2019. 80 亿孢子/毫升金龟子绿僵菌 CQMa421 可分散油悬浮剂对晚稻主要害虫的防治效果. 中国稻米, 25(S1): 24–26.]
- Huang LX, 2012. Automatic identification system for rice insect pests based on image processing and classifier. *Jilin Agriculture*, (5): 57. [黄凌霄, 2012. 基于图像处理和分类器的水稻害虫自动识别系统研究. 吉林农业, (5): 57.]
- Huang NR, Hu XY, Zhong XH, Cao KW, Lin QS, Chen RB, Huang DS, Cheng FH, Tian K, Chen WF, 2010. Progress in demonstration and extension of “three controls” technology for rice. *Guangdong Agricultural Sciences*, (12): 21–23. [黄农荣, 胡学应, 钟旭华, 曹开蔚, 林青山, 陈荣彬, 黄大山, 程飞虎, 田卡, 陈文丰, 2010. 水稻“三控”施肥技术的示范推广进展. 广东农业科学, (12): 21–23.]
- Huang SJ, Liu JQ, Qin WJ, Zhang HM, Chen Q, 2010. Studies on distribution of overwintering larvae of *Chilo suppressalis* (Walker) in rice stem and its control technique. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 22(11): 91–93. [黄水金, 刘剑青, 秦文婧, 张华满, 陈琼, 2010. 二化螟越冬幼虫在稻株内的分布及其控制技术. 江西农业学报, 22(11): 91–93.]
- Huang YB, Weng BQ, Tang JY, Liu ZZ, 2001. Effect of rice-azolla-fish system on soil environment of rice field. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 9(1): 74–76. [黄毅斌, 翁伯奇, 唐建阳, 刘中柱, 2001. 稻-萍-鱼体系对稻田土壤环境的影响. 中国生态农业学报, 9(1): 74–76.]
- Jia HC, Chen YF, Yang XW, Liao XG, Sheng XQ, 2015. Discussion on the occurrence quantity and control technology of *Chilo suppressalis* on the super rice. *Zhejiang Agricultural Sciences*, 56(7): 1067–1069. [贾华湊, 陈燕芳, 杨雪文, 廖璇刚, 盛仙俏, 2015. 超级稻二化螟发生量及后期防治技术的探讨. 浙江农业科学, 56(7): 1067–1069.]
- Ke MJ, Xu B, Li GH, Wang FH, 2011. Research on artificial diet for *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 50(5): 100–103. [柯名娟, 徐博, 李广宏, 王方海, 2011. 稻纵卷叶螟人工饲料的研究. 中山大学学报(自然科学版), 50(5): 100–103.]
- Lei YY, Wei BX, Li WG, Li YX, 2008. Effective comparison of for set-ups for *Cnaphalocrocis medinalis* oviposition. *Guangxi Plant Protection*, 21(1): 1–3. [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.]
- Li CM, Xu J, Yang YJ, Qi JH, Zheng XS, Wang Y, Liu Q, Lü ZX, 2011. Growth and reproduction of *Cnaphalocrocis medialis* fed on improved artificial diet. *Chinese Journal of Rice Science*, 2(3): 321–325. [李传明, 徐健, 杨亚军, 祁建杭, 郑许松, 王艳, 刘琴, 吕仲贤, 2011. 人工饲料饲养稻纵卷叶螟的生长发育与繁殖. 中国水稻科学, 2(3): 321–325.]
- Li DS, Yuan X, Zhang BX, Zhao Y, Song ZW, Zuo C, 2013. Report of using unmanned aerial vehicle to release *Trichogramma*. *Chinese Journal of Biological Control*, 29(3): 455–458. [李敦松, 袁曦, 张宝鑫, 赵愚, 宋子伟, 左翀, 2013. 利用无人机释放赤眼蜂研究. 中国生物防治学报, 29(3): 455–458.]
- Li JQ, Bao YF, Chen YQ, 2014. Analysis of rice brown planthopper resistance against pymetrozine and its countermeasures. *China Rice*, 20(3): 99–100. [李建群, 包云峰, 陈永全, 2014. 浅析褐飞虱对吡蚜酮的抗药性及其对策. 中国稻米, 20(3): 99–100.]
- Li X, Wu CD, Wang GL, Yang XJ, 2002. Design of a low flowrate atomizer with fan-shaped spraying. *Transactions of the Chinese*

- Society of Agricultural Machinery*, 33(4): 38–41. [李旭, 吴春笃, 王光亮, 杨学军, 2002. 低流量扇形雾喷头的设计. 农业机械学报, 33(4): 38–41.]
- Li XY, Huang J, 2005. A preliminary trial on decrease and increase in number of rice plant-hoppers over non-tilling and fish raising paddy field. *Journal of Guangxi Agriculture*, (6): 7–9. [李锡勇, 黄婕, 2005. 水稻免耕养鱼田稻飞虱消长观察试验初报. 广西农学报, (6): 7–9.]
- Li ZY, Yang H, Lai FX, Fu Q, Hu Y, 2010. Occurrence and population dynamics of chironomid midges in early rice field. *Chinese Journal of Rice Science*, 24(6): 630–634. [李志宇, 杨洪, 赖凤香, 傅强, 胡阳, 2010. 早稻田发生的摇蚊种类及动态. 中国水稻科学, 24(6): 630–634.]
- Liang GM, Shen JL, Li YP, Gao CF, Su JY, 2009. Technological rules for monitoring insecticide resistance in rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). NYT1708-2009. [梁桂梅, 沈晋良, 李永平, 高聪芬, 苏建亚, 2009. 水稻褐飞虱抗药性监测技术规程. NYT1708-2009.]
- Liang Q, Lu YH, He XC, Zheng XS, Xu HX, Yang YJ, Tian JC, Lü ZX, 2015. Mini review of the significance of trap crop in insect pest management. *Journal of Biosafety*, 24(3): 184–193. [梁齐, 鲁艳辉, 何晓婵, 郑许松, 徐红星, 杨亚军, 田俊策, 吕仲贤, 2015. 诱集植物在害虫治理中的最新研究进展. 生物安全学报, 24(3): 184–193.]
- Liu JP, Liu DC, Xiong JD, Zhang SB, Xu ZD, Xia SP, 2005. Studies on the major characters of the diseases and pest insects on super rice and the control techniques. *Plant Protection*, 31(5): 39–42. [刘见平, 刘都才, 熊继东, 张松柏, 徐志德, 夏胜平, 2005. 超级稻病虫害发生特点及其药剂防治技术. 植物保护, 31(5): 39–42.]
- Liu Q, Xu J, Wang Y, Li CM, Han GJ, Qi JH, Sun J, Ma TB, 2013. Synergism of CmGV and *Bacillus thuringiensis* against larvae of *Cnaphalocrocis medinalis* Guénée. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 34(4): 89–93. [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 SP, Zheng XS, Yang YJ, Xu HX, Lü ZX, 2012. Impact of temperature on the ecological fitness of successive generations of *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang (Hymenoptera: Mymaridae). *Chinese Journal of Biological Control*, 28(1): 20–26. [刘淑平, 郑许松, 杨亚军, 徐红星, 吕仲贤, 2012. 温度对稻虱缨小蜂生态适应性的持续影响. 中国生物防治学报, 28(1): 20–26.]
- Liu WC, Jiang YY, Zhang YJ, Feng XD, Xia B, Liu Y, Zeng J, 2010. 30 years of development achievements in monitoring and early warning of agricultural pests in China. *China Plant Protection*, 30(9): 35–39. [刘万才, 姜玉英, 张跃进, 冯晓东, 夏冰, 刘宇, 曾娟, 2010. 我国农业有害生物监测预警 30 年发展成就. 中国植保导刊, 30(9): 35–39.]
- Liu WC, Liu Y, Guan RF, Xie MC, Yang WX, Lv JP, 2011. Rules of investigation and forecast for the rice gall midge [*Orseolia oryzae* (Wood-Maspn)]. NY/T 2041-2011. [刘万才, 刘宇, 关瑞峰, 谢茂昌, 杨伟新, 吕建平, 2011. 稻瘿蚊测报技术规范. NY/T 2041-2011.]
- Liu WC, Liu ZD, Huang C, Lu MH, Liu J, Yang QP, 2016. Statistics and analysis of crop yield losses caused by main diseases and insect pests in recent 10 years. *Plant Protection*, 42(5): 1–9. [刘万才, 刘振东, 黄冲, 陆明红, 刘杰, 杨清坡, 2016. 近 10 年农作物主要病虫害发生危害情况的统计和分析. 植物保护, 42(5): 1–9.]
- Liu XY, Liu DZ, Chen YF, Huang H, Zhong L, Yu JB, 2005. The character of rice roots in rice-duck-fish commensalisms ecosystem and its economic benefit. *Journal of Hunan of Agricultural University (Natural Sciences)*, 31(3): 314–316. [刘小燕, 刘大志, 陈艳芬, 黄璜, 钟蕾, 余建波, 2005. 稻-鸭-鱼共栖生态系统中水稻根系特性及经济效益. 湖南农业大学学报(自然科学版), 31(3): 314–316.]
- Liu Y, Wang JQ, Feng XD, Jiang XH, 2008. Analysis of the occurrence of rice leafhopper in China in 2007 and the trend forecast in 2008. *China Plant Protection*, 28(7): 33–35. [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.]
- Liu ZW, Wu JC, Zhang YX, Liu F, Xu JX, Bao HB, 2015. Mechanisms of rice planthopper resistance to insecticides. //Heong KL, Cheng JA, Escalada MM (eds.). *Rice Planthoppers: Ecology, Management, Social Economics and Policy*. New York, USA: Springer. 117–141.
- Long P, Huang H, Liao XL, Fu ZQ, Zheng HB, Chen AW, Chen C, 2013. Mechanism and capacities of reducing ecological cost through rice-duck cultivation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(12): 2881–2891.
- Lou YG, Cheng JA, 2011. Basic research on the outbreak mechanism and sustainable management of rice planthoppers. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 231–238. [娄永根, 程家安, 2011. 稻飞虱灾变机理及可持续治理的基础研究. 应用昆虫学报, 48(2): 231–238.]
- Lu JS, He LF, Xu J, Qin F, Huang M, Wei SM, 2011. Study on breeding of rice gall midge. *Plant Diseases and Pests*, 2(5): 34–37.

- Lu YH, Gao GC, Zheng XS, Lü ZX, 2017. The lethal mechanism of trap plant *Vetiveria zizanioides* against the larvae of *Chilo suppressalis*. *Scientia Agricultura Sinica*, 50(3): 486–495. [鲁艳辉, 高广春, 郑许松, 吕仲贤, 2017. 诱集植物香根草对二化螟幼虫致死的作用机制. *中国农业科学*, 50(3): 486–495.]
- Lu YH, Zheng XS, Lu ZX, 2019. Application of vetiver grass *Vetiveria zizanioides*: Poaceae (L.) as a trap plant for rice stem borer *Chilo suppressalis*: Crambidae (Walker) in the paddy fields. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(4): 797–804.
- Lü ZX, 2017. Pictorial Handbook on Sustainable Management of Rice Leaffolder. Beijing: China Agricultural Press. 1–163. [吕仲贤, 2017. 稻纵卷叶螟绿色防控彩色图谱. 北京: 中国农业出版社. 1–163.]
- Lü ZX, Chen GH, Zheng XS, Zhu PY, Xu HX, Yu YJ, Guo R, Tian JC, Lu YH, Yang YJ, Yao XM, Zhang FC, 2017a. Technical regulation for rice insect pest management by ecological engineering. DB33/T 2069-2017. [吕仲贤, 陈桂华, 郑许松, 朱平阳, 徐红星, 虞轶俊, 郭荣, 田俊策, 鲁艳辉, 杨亚军, 姚晓明, 张发成, 2017a. 水稻害虫生态工程控制技术规程. DB33/T 2069-2017.]
- Lü ZX, Tian JC, Guo R, Zheng XS, Wang GR, Xu HX, Zhu PY, Yang YJ, Lu YH, Li Y, 2017b. Rules of releasing *Trichogramma* for controlling the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). DB33/T 2072-2017. [吕仲贤, 田俊策, 郭荣, 郑许松, 王国荣, 徐红星, 朱平阳, 杨亚军, 鲁艳辉, 李阳, 2017b. 稻田释放赤眼蜂防治稻纵卷叶螟技术规程. DB33/T 2072-2017.]
- Lü ZX, Yu XP, Heong KL, Hu C, 2005. Effects of nitrogenous fertilization in rice fields on the predatory function of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter to *Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomologica Sinica*, 48(1): 48–56. [吕仲贤, 俞晓平, Heong KL, 胡萃, 2005. 稻田氮肥施用量对黑肩绿盲蝽捕食功能的影响. *昆虫学报*, 48(1): 48–56.]
- Lü ZX, Yu XP, Heong KL, Hu C, 2006. Dynamics of predators in rice canopy and capacity of natural control on insect pests in paddy fields with different nitrogen regimes. *Journal of Plant Protection*, 33(3): 226–229. [吕仲贤, 俞晓平, Heong KL, 胡萃, 2006. 氮肥对水稻叶冠层捕食性天敌种群及其自然控制能力的影响. *植物保护学报*, 33(3): 226–229.]
- Lü ZX, Zhu PY, Gurr GM, Zheng XS, Read DMY, Heong KL, Yang YJ, Xu HX, 2014. Mechanisms for flowering plants to benefit arthropod natural enemies of insect pests: prospects for enhanced use in agriculture. *Insect Science*, 21(1): 1–12.
- Luo D, Xu HX, Yang YJ, Zheng XS, Lü ZX, 2012. Feeding behavior and oviposition preference of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, on different rice varieties under drought stress stimulated by polyethylene glycol (PEG6000). *Chinese Journal of Rice Science*, 26(5): 731–736. [罗定, 徐红星, 杨亚军, 郑许松, 吕仲贤, 2012. 利用 PEG6000 模拟研究干旱胁迫对褐飞虱取食和产卵的影响. *中国水稻科学*, 26(5): 731–736.]
- National Agro-Tech Extension and Service Center, 2019. Resistance monitoring results of agricultural pests in China and scientific use of pesticides in 2018. *China Plant Protection*, 39(3): 63–72. [全国农业技术推广服务中心, 2019. 2018 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*, 39(3): 63–72.]
- Peng SB, Huang JL, Zhong XH, Yang JC, Wang GH, Zhou YB, 2002. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 35(9): 1095–1103. [彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 杨建昌, 王光火, 邹应斌, 张福, 朱庆森, Buresh R, Witt R, 2002. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略. *中国农业科学*, 35(9): 1095–1103.]
- Peng ZP, Ma MY, Deng LF, He W, 2009. The analysis and evaluation of rice variety's resistance to brown rice planthopper. *Hunan Agricultural Sciences*, (10): 82–84. [彭兆普, 马明勇, 邓丽芬, 何微, 2009. 水稻品种 (系) 对褐飞虱抗性评价和分析. *湖南农业科学*, (10): 82–84.]
- Qin Z, Zhang JE, Luo SM, Zhang J, 2011. System dynamics modeling for experimental population of rice leaf roller under temperature influence. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 32(2): 303–310. [秦钟, 章家恩, 骆世明, 张锦, 2011. 温度影响下的稻纵卷叶螟实验种群动态的系统动力学模拟. *中国农业气象*, 32(2): 303–310.]
- Ru Y, Jin L, Zhou HP, Jia ZC, 2014. Performance experiment of rotary hydraulic atomizing nozzle for aerial spraying application. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 30(3): 50–55. [茹煜, 金兰, 周宏平, 贾志成, 2014. 航空施药旋转液力雾化喷头性能试验. *农业工程学报*, 30(3): 50–55.]
- Shao ZR, Gao CF, Zhang S, Shen JL, Li YP, Wu M, Yao R, Zhang SM, 2014. Guideline for insecticide resistance monitoring of the striped stem borer. NY/T 2058-2014. [邵振润, 高聪芬, 张帅, 沈晋良, 李永平, 吴敏, 姚蓉, 张绍明, 2014. 水稻二化螟抗药性监测技术规程. NY/T 2058-2014.]
- Shi JX, 2015. Focusing on green development, strengthening innovation drive, composing a new chapter of Zhejiang professional pest management. *China Agricultural Technology Extension*, 31(9): 9–11. [史济锡, 2015. 围绕绿色发展 强化创新驱动 谱写浙江专业化统防统治新篇章. *中国农技推广*, 31(9): 9–11.]
- Sun XL, Wang HD, Cao KR, Zhu JL, Zhong XM, 2008. Study on the relationship between sowing date and the occurrence of small

- brown planthopper and stripe disease. *China Plant Protection*, 28(10): 17–19. [孙祥良, 王华弟, 曹奎荣, 朱金良, 钟雪明, 2008. 水稻播种期与灰飞虱虫量及条纹叶枯病发病关系的研究. 中国植保导刊, 28(10): 17–19.]
- Tang JY, Wang HS, Liu JW, 2009. Serious occurrence characteristics of rice leaffolder (third generation) in Guangxi and its reason analysis. *Chinise Agricultural Science Bulletin*, 25(2): 192–195. [唐洁渝, 王华生, 刘建文, 2009. 2008 年广西第三代稻纵卷叶螟大发生特点及原因简析. 中国农学通报, 25(2): 192–195.]
- Tian JC, Lu ZX, Zheng XS, Wang GR, Li Y, Liu GL, Hou JJ, 2018. A *Trichogramma* release device with a sugar feeding device: CN209152041U. 2019-07-26. [田俊策, 吕仲贤, 郑许松, 王国荣, 李阳, 刘桂良, 侯建军, 2018. 一种方便高度调节的赤眼蜂放蜂器: CN209152041U. 2019-07-26.]
- Tian JC, Wang GR, Zheng XS, Wang GW, Lü ZX, Xu HX, Yang YJ, Lu YH, 2015. A *Trichogramma* release device with a sugar feeding device: CN204232122U. 2015-04-01. [田俊策, 王国荣, 郑许松, 汪庚伟, 吕仲贤, 徐红星, 杨亚军, 鲁艳辉, 2015. 一种带有糖水饲喂装置的赤眼蜂释放装置: CN204232122U. 2015-04-01.]
- Wang BJ, Xu HX, Zheng XS, Fu Q, Lü ZX, 2010. Effects of temperature on resistance of rice to brown planthoppr, *Nilaparvata lugens*. *Chinese Journal of Rice Science*, 24(4): 443–446. [王保菊, 徐红星, 郑许松, 傅强, 吕仲贤, 2010. 温度对水稻抗褐飞虱特性的影响. 中国水稻科学, 24(4): 443–446.]
- Wang GR, Han YP, Shen Q, Yang WT, Wang GD, Lü ZX, Zheng XS, 2015. Effects of modified fertilizer application on rice pests, diseases and yields. *China Rice*, 21(6): 94–97. [王国荣, 韩尧平, 沈蕾, 杨稳堂, 王国迪, 吕仲贤, 郑许松, 2015. 施肥调节对水稻病虫害发生和产量的影响. 中国稻米, 21(6): 94–97.]
- Wang GR, Han YP, Shen Q, Yang WT, Wang GD, Lü ZX, Zheng XS, 2015. Effects of modified fertilizer application on rice pests, diseases and yields. *China Rice*, 21(6): 94–97. [王国荣, 韩尧平, 沈蕾, 杨稳堂, 王国迪, 吕仲贤, 郑许松, 2015. 施肥调节对水稻病虫害发生和产量的影响. 中国稻米, 21(6): 94–97.]
- Wang JQ, Wang Q, Zhou ZH, 2015. Suggestions on speeding up the green prevention and control of crop pests and diseases. *China Plant Protection*, 35(8): 70–74. [王建强, 王强, 赵中华, 2015. 加快推进农作物病虫害绿色防控工作的对策建议. 中国植保导刊, 35(8): 70–74.]
- Wang JQ, Xia B, Liu Y, 2009a. Rules of investigation and forecast for the Asiatic rice striped borer [*Chilo suppressalis* (Walker)]. GB/T 15792-2009. [王建强, 夏冰, 刘宇, 2009a. 水稻二化螟测报调查规范. GB/T 15792-2009.]
- Wang JQ, Zhang YJ, Liu Y, 2009b. Rules of investigation and forecast for the rice planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål and *Sogatalla furcifera* Horváth). GB/T 15794-2009. [王建强, 张跃进, 刘宇, 2009b. 稻飞虱测报调查规范. GB/T 15794-2009.]
- Wang OF, Bao ST, Jia HC, Wu JX, 2002. Effect of harvesting methods of late rice on the amount of overwintering insects. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, (5): 21. [王藕芳, 包生土, 贾华凑, 吴菊薪, 2002. 晚稻收割方式对二化螟越冬虫量的影响. 上海农业科技, (5): 21.]
- Wang P, Ning ZP, Zhang S, Jiang TT, Tan LR, Dong S, Gao CF, 2013. Resistance monitoring to conventional insecticides in brown planthopper, *Nipaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) in main rice growing regions in China. *Chinese Journal of Rice Science*, 27(2): 191–197. [王鹏, 甯佐苹, 张帅, 蒋田田, 谭利蓉, 董嵩, 高聪芬, 2013. 我国主要稻区褐飞虱对常用杀虫剂的抗性监测. 中国水稻科学, 27(2): 191–197.]
- Wang YH, Li YP, Chen J, Shen JL, Li WH, Gao CF, Zhuang YL, Dai DJ, Zhou WJ, Liang GM, Shao ZR, 2008. Spatial and temporal variations in susceptibility to imidacloprid and its realized heritability in brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Chinese Journal of Rice Science*, 22(4): 421–426. [王彦华, 李永平, 陈进, 沈晋良, 李文红, 高聪芬, 庄永林, 戴德江, 周威君, 梁桂梅, 邵振润, 2008. 褐飞虱对吡虫啉敏感性的时空变化及现实遗传力. 中国水稻科学, 22(4): 421–426.]
- Wang YM, Wang MQ, Liu YM, Fang GB, Zhu GF, Zhang GA, 2018. Occurrence status and integrated control measures of rice water weevil. *Hubei Plant Protection*, (4): 25–27. [王永模, 王满园, 刘元明, 方国斌, 朱国芳, 张国安, 2018. 稻水象甲发生现状与综合防治措施. 湖北植保, (4): 25–27.]
- Wen Y, Xue XY, Qiu BJ, Sun XD, Shen JW, 2014. Technology trend of development for unmanned aircraft vehicle for plant protection in China. *China Plant Protection*, 34(S1): 30–32. [温源, 薛新宇, 邱白晶, 孙向东, 沈建文, 2014. 中国植保无人机发展技术路线及行业趋势探析. 中国植保导刊, 34 (增刊): 30–32.]
- Wu SW, Peng ZP, Jiang GF, Qin GQ, He CY, 2014. Effects of harvest method and treatment of rice stubble on over-wintering of *Chilo suppressalis* Walker. *Hunan Agricultural Sciences*, (4): 48–50, 53. [吴生伟, 彭兆普, 蒋桂芳, 秦桂泉, 何春燕, 2014. 晚稻收割方式和稻茬处理对二化螟越冬的影响. 湖南农业科学, (4): 48–50, 53.]
- Xia JY, 2008. Of major agricultural biological disasters and the effective control in China. *China Plant Protection*, 28(1): 5–9. [夏敬源, 2008. 我国重大农业生物灾害暴发现状与防控成效. 中国植保导刊, 28(1): 5–9.]

- Xian DX, Yao Q, Yang BJ, Luo J, Tan C, Zhang C, Xu YC, 2015. Automatic identification of rice light-trapped pests based on images. *Chinese Journal of Rice Science*, 29(3): 299–304. [洗鼎翔, 姚青, 杨保军, 罗举, 谭畅, 张超, 徐一成, 2015. 基于图像的水稻灯诱害虫自动识别技术的研究. *中国水稻科学*, 29(3): 299–304.]
- Xu CC, Ji L, Chen ZD, Fang FP, 2018. Trends of green development of rice production in China. *Chinese Bulletin of Life Science*, 30(10): 1146–1154. [徐春春, 纪龙, 陈中督, 方福平, 2018. 中国水稻生产发展的绿色趋势. *生命科学*, 30(10): 1146–1154.]
- Xu HX, Lü ZX, Yang YJ, Wang GR, Wang GD, Zhong LQ, Zheng XS, 2016. A device for collecting eggs of rice leaf folder. 201620687529. X, 2017-01-18. [徐红星, 吕仲贤, 杨亚军, 王国荣, 王国迪, 钟列权, 郑许松, 2016. 一种收集稻纵卷叶螟卵的装置. 201620687529. X, 2017-01-18.]
- Xu HX, Yu Y, Zheng XS, Yang YJ, Lü ZX, 2017a. Effects of simulated drought stress on the ecological fitness of *Anagrus nilaparvatae* Pang et Wang. *Journal of Plant Protection*, 44(1): 54–59. [徐红星, 于莹, 郑许松, 杨亚军, 吕仲贤, 2017. 模拟干旱胁迫对稻虱缨小蜂的影响. *植物保护学报*, 44(1): 54–59.]
- Xu HX, Zheng XS, Tian JC, Lai FX, He JC, Lü ZX, 2017b. Advances in the development and application of control technologies for insect pests management in paddy fields in China. *Journal of Plant Protection*, 44(6): 925–939. [徐红星, 郑许松, 田俊策, 赖凤香, 何佳春, 吕仲贤, 2017. 我国水稻害虫绿色防控技术的研究进展与应用现状. *植物保护学报*, 44(6): 925–939.]
- Xue XY, Qin WC, Sun Z, Zhang SC, Zhou LX, Wu P, 2013. Effects of N-3 UAV spraying methods on the efficiency of insecticides against planthoppers and *Cnaphalocrocis medinalis*. *Journal of Plant Protection*, 40(3): 273–278. [薛新宇, 秦维彩, 孙竹, 张宋超, 周立新, 吴萍, 2013. N-3 型无人直升机施药方式对稻飞虱和稻纵卷叶螟防治效果的影响. *植物保护学报*, 40(3): 273–278.]
- Yang J, Liu XR, Qin YJ, Xie JF, Mao BF, 2014. Discussion on application of self-propelled sprayer. *China Plant Protection*, 34(S1): 71–73. [杨进, 刘学儒, 秦玉金, 谢加飞, 毛宝峰, 2014. 自走式喷杆喷雾机的应用探讨. *中国植保导刊*, 34(增刊): 71–73.]
- Yang YJ, Xu HX, Zheng XS, Tian JC, Lu YH, Lü ZX, 2015. Progresses in management technology of rice leaf folders in China. *Journal of Plant Protection*, 42(5): 691–701. [杨亚军, 徐红星, 郑许松, 田俊策, 鲁艳辉, 吕仲贤, 2015. 中国水稻纵卷叶螟防控技术进展. *植物保护学报*, 42(5): 691–701.]
- Yang ZP, Liu XY, Huang H, Liu DZ, Hu LD, Su W, Tan SQ, 2004. A study on the influence of rice-duck intergrowth on spider, rice diseases, insect and weeds in rice-duck complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 24(12): 2756–2760. [杨治平, 刘小燕, 黄璜, 刘大志, 胡立冬, 苏伟, 谭泗桥, 2004. 稻田养鸭对稻鸭复合系统中病、虫、草害及蜘蛛的影响. *生态学报*, 24(12): 2756–2760.]
- 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. [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.]
- Ye ZQ, 2013. To accelerate the construction of modern plant protection with vigorously implements of green control. *China Plant Protection*, 33(2): 5–9, 23. [叶贞琴, 2013. 大力实施绿色防控加快现代植保建设步伐. *中国植保导刊*, 33(2): 5–9, 23.]
- Yin YQ, Zhao XQ, Li XY, Chen FS, Wang Y, Zhang HM, Shen AD, 2019. Study on ovarian development and chemical control of *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel in central Yunnan. *Journal of Biosafety*, 28(1): 7–12. [尹艳琼, 赵雪晴, 李向永, 陈福寿, 王燕, 张红梅, 谌爱东, 2019. 滇中稻区稻水象甲的卵巢发育及防治. *生物安全学报*, 28(1): 7–12.]
- Yu SM, Jin QY, Ouyang YN, Xu DH, 2004. Efficiency of controlling weeds, insect pest and diseases by raising ducks in the paddy fields. *Chinese Journal of Biological Control*, 20(2): 99–102. [禹盛苗, 金千瑜, 欧阳由男, 许德海, 2004. 稻鸭共育对稻田杂草和病虫害的生物防治效应. *中国生物防治*, 20(2): 99–102.]
- Yuan LP, 2016. Research and development of hybrid rice in China. *Science and Technology Review*, 34(20): 64–65. [袁隆平, 2016. 中国杂交水稻的研究与发展. *科技导报*, 34(20): 64–65.]
- Yuan XH, Song LW, Zhang JJ, Zang LS, Zhu L, Ruan CC, Sun GZ, 2012. Performance of four Chinese *Trichogramma* species as biocontrol agents of the rice striped stem borer, *Chilo suppressalis*, under various temperature and humidity regimes. *Journal of Pest Science*, 85(4): 497–504.
- Zang LS, Ruan CC, Shao XW, Sun GZ, Zhang JJ, Li TH, Liu Z, Wang XM, Du WM, 2014. A *Trichogramma* release device suitable for use in paddy field: CN203388148U. 2014-01-15. [臧连生, 阮长春, 邵喜文, 孙光芝, 张俊杰, 李天昊, 刘志, 王秀梅, 杜文梅, 2014. 一种适合水田释放寄生蜂防治水稻害虫的放蜂装置: CN203388148U. 2014-01-15.]
- Zeng YD, 2018. Taking advantage of the trend, striving to create a

- new situation in the green prevention and control of crop pests. *China Agricultural Technology Extension*, 34(4): 3–6. [曾衍德, 2018. 抓住机遇 乘势而上 努力开创农作物病虫绿色防控工作新局面. *中国农技推广*, 34(4): 3–6.]
- Zhang CZ, Shao CQ, Meng K, Li HL, Han XB, Zhang JS, 2003. Study on rice absorbing silicon characteristics and silica fertilizer effect under salinized moist in coastal regions. *Journal of Laiyang Agricultural College*, 20(2): 111–113. [张翠珍, 邵长泉, 孟凯, 李焕玲, 韩学斌, 张俊生, 2003. 水稻吸硅特点及硅肥效应研究. *莱阳农学院学报*, 20(2): 111–113.]
- Zhang GF, Yi HJ, Zhu XM, Zhu F, Zhang ZC, 2014. An auto forecasting system for rice insect based on WebGIS. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 29(5): 487–491. [张谷丰, 易红娟, 朱先敏, 朱凤, 张志春, 2014. 基于 WebGIS 的水稻害虫自动预警系统. *福建农业学报*, 29(5): 487–491.]
- Zhang JJ, Ren BZ, Yuan XH, Zang LS, Ruan CC, Sun GZ, Shao XW, 2014. Effects of host-egg ages on host selection and suitability of four Chinese *Trichogramma* species, egg parasitoids of the rice striped stem borer, *Chilo suppressalis*. *BioControl*, 59(2): 159–166.
- Zhang S, Gao CF, Long LP, Wu SF, Zhang W, Ling Y, 2017. Technical code of practice for insecticide resistance monitoring of *Sogatella furcifera* (Horváth). NY/T 3159–2017. [张帅, 高聪芬, 龙丽萍, 吴顺凡, 张巍, 凌炎, 2017. 水稻白背飞虱抗药性监测技术规程. NY/T 3159–2017.]
- Zhang S, Gao CF, Shao ZR, Zhang K, Zhang SM, Zhang W, Ban LF, 2014. Guideline for insecticide resistance monitoring of the small brown planthopper. NY/T 2622–2014. [张帅, 高聪芬, 邵振润, 张凯, 张绍明, 张巍, 班兰凤, 2014. 灰飞虱抗药性监测技术规程. NY/T 2622–2014.]
- Zhang S, Jia XW, 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. [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 S, Shao ZR, Shen JL, Long LP, 2011. Emphasis on fundamental principle and measures of scientific control towards main pests and diseases of rice. *Agrochemicals*, 50(11): 855–857. [张帅, 邵振润, 沈晋良, 龙丽萍, 2011. 加强水稻主要病虫害科学用药防控的原则和措施. *农药*, 50(11): 855–857.]
- Zhang S, Zhang QD, Luo HG, Li GJ, Tian L, Dan SJ, 2018. Control effects of *Metarhizium anisopliae* CQMa421 against important pests of rice. *Hubei Agricultural Sciences*, 57(17): 53–55. [张舒, 张求东, 罗汉钢, 李国敬, 田龙, 淡昭菊, 2018. 金龟子绿僵菌 CQMa421 对水稻重要害虫的防治效果. *湖北农业科学*, 57(17): 53–55.]
- Zhang XX, Zhang YJ, 2006. Crop Pest Prediction. Beijing: China Agricultural Press. 1–593. [张孝羲, 张跃进, 2006. 农作物有害生物预测学. 北京: 中国农业出版社. 1–593.]
- Zhang YB, 2016. Design and development of pesticide formulations. *World Pesticides*, 38(3): 9–13. [张一宾, 2016. 农药剂型的设计和新剂型的开发. *世界农药*, 38(3): 9–13.]
- Zhang YJ, Liu Y, Liu XG, Guo HM, Xu RQ, Zheng ZY, Jiang YY, Feng XD, Xia B, Zeng J, 2011. Rules of investigation and forecast for the rice leaf roller (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenee). GB/T 15793–2011. [张跃进, 刘宇, 刘祥贵, 郭海明, 徐荣钦, 郑兆阳, 姜玉英, 冯晓东, 夏冰, 曾娟, 2011. 稻纵卷叶螟测报技术规范. GB/T 15793–2011.]
- Zhang YJ, Wang ZM, Li YQ, Zhou YG, Zhang YG, Zhang ZL, Gao J, Li FA, 2004. Rules for controlling the rice water weevil. NY/T 796–2004. [张玉江, 王志敏, 李亚琴, 周永刚, 张永刚, 张忠良, 高军, 李凤艾, 2004. 稻水象甲防治技术规范. NY/T 796–2004.]
- Zhai BP, 2011. Rice planthoppers: A China problem under the international perspectives. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1184–1193. [翟保平, 2011. 稻飞虱: 国际视野下的中国问题. *应用昆虫学报*, 48(5): 1184–1193.]
- Zhao LG, 2015. Prediction and management techniques of rice planthopper, leafhopper, and thrips. *Plant Doctor*, 28(5): 7–9. [赵利刚, 2015. 稻飞虱、稻叶蝉和稻蓟马预测预报及防控技术. *植物医生*, 28(5): 7–9.]
- Zheng XS, Cheng LP, Wang HF, Zhong LQ, Liu GL, Zhong XH, Tian K, Lü ZX, 2015. Effects of fertilizer regulation on occurrence of leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* and rice production. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 27(9): 1619–1624. [郑许松, 成丽萍, 王会福, 钟列权, 刘桂良, 钟旭华, 田卡, 吕仲贤, 2015. 施肥调节对稻纵卷叶螟发生和水稻产量的影响. *浙江农业学报*, 27(9): 1619–1624.]
- Zheng XS, Lu T, Xu HX, Guo WQ, Gao GC, Lü ZX, 2010. A new simple and efficient methods of collecting the eggs of rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(6): 1253–1256. [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, Lu YH, Zhong LQ, Huang XF, Xu FS, Yao XM, Xu HX, Lü ZX, 2017. Optimal planting pattern of trap plant vetiver grass, *Vetiveria zizanioides*, for controlling rice striped stem borer, *Chilo suppressalis*. *Plant Protection*, 43(6): 103–108. [郑许松, 鲁艳辉, 钟列权, 黄贤夫, 徐法三, 姚晓明, 徐红星, 吕仲贤, 2017.

- 诱虫植物香根草控制水稻二化螟的最佳田间布局. 植物保护, 43(6): 103–108.]
- Zheng XS, Tian JC, Yang YJ, Chen GH, Zhang FC, Wang GR, Liu GL, Xu HX, Zhu PY, Lü ZX, 2013. A banker plant system for protection and improvement of parasitoids of rice planthoppers: CN103609373A. 2014-03-05. [郑许松, 田俊策, 杨亚军, 陈桂华, 张发成, 王国荣, 刘桂良, 徐红星, 朱平阳, 吕仲贤, 2013. 一种保护和提高稻田稻飞虱寄生蜂的载体植物系统. CN103609373A. 2014-03-05.]
- Zheng XS, Xu HX, Chen GH, Wu JX, Lü ZX, 2009. Potential function of Sudan grass and Vetiver grass as trap crops for suppressing population of stripped stem borer, *Chilo suppressalis* in rice. *Chinese Journal of Biological Control*, 25(4): 299–303. [郑许松, 徐红星, 陈桂华, 吴降星, 吕仲贤, 2009. 苏丹草和香根草作为诱虫植物对稻田二化螟种群的抑制作用评估. 中国生物防治, 25(4): 299–303.]
- Zhong L, 2016. Prediction of occurrence degrees of *Chilo suppressalis* (Walker) and study on the trapping effect of five single wavelength insecticidal lamps on several agricultural pests. Masters dissertation. Chengdu: Sichuan Agricultural University. [钟莉, 2016. 水稻二化螟发生程度预测及 5 种单波长杀虫灯对几种农业害虫的诱集效果. 硕士学位论文. 成都: 四川农业大学.]
- Zhong TR, Liu WC, Huang C, 2012. Accelerate the construction of digital monitoring and early warning to provide support for the construction of modern plant protection. *China Plant Protection*, 32(12): 5–7. [钟天润, 刘万才, 黄冲, 2012. 加快数字化监测预警建设为建设现代植保提供支撑. 中国植保导刊, 32(12): 5–7.]
- Zhong XH, Liang XM, Huang NR, Tian K, Mai YX, Liang XY, 2010. Specification of chemical fertilizer-reduction technology for rice. *Guangdong Agricultural Sciences*, (12): 71–72. [钟旭华, 梁向明, 黄农荣, 田卡, 麦燕霞, 梁笑英, 2010. 水稻化肥减量栽培技术规范. 广东农业科学, (12): 71–72.]
- Zhu JL, Zhu ZR, Feng JX, Cai XT, Zhong XM, Cheng JA, 2011. Effect of sowing/transplanting time on occurrence of main locally-overwintering insect pests and diseases. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 23(2): 329–334. [朱金良, 祝增荣, 冯金祥, 蔡雪涛, 钟雪明, 程家安, 2011. 水稻播种和移栽期对本地越冬主要病虫害发生的影响. 浙江农业学报, 23(2): 329–334.]
- Zhu JL, Zhu ZR, Zhou Y, Lu Q, Sun XL, Tao XG, Chen Y, Wang HD, Cheng JA, 2008. Effect of rice sowing date on occurrence of the small brown planthopper and epidemics of the planthopper-transmitted rice stripe virus disease. *Scientia Agricultura Sinica*, 41(10): 3052–3059. [朱金良, 祝增荣, 周瀛, 陆强, 孙祥良, 陶献国, 陈跃, 王华弟, 程家安, 2008. 水稻播种期对灰飞虱及其传播的条纹叶枯病发生流行的影响. 中国农业科学, 41(10): 3052–3059.]
- Zhu PY, Gurr GM, Lü ZX, Heong KL, Chen GH, Zheng XS, Xu HX, Yang YJ, 2013. Laboratory screening supports the selection of sesame (*Sesamum indicum*) to enhance *Anagrus* spp. parasitoids (Hymenoptera: Mymaridae) of rice planthoppers. *Biological Control*, 64(1): 83–89.
- Zhu PY, Shen XQ, Feng F, Li YH, Chen GH, 2013. Trapping technique of insect sex pheromone on striped stem borer and rice leaf folder. *Zhejiang Agricultural Sciences*, (7): 825–826, 829. [朱平阳, 盛仙俏, 冯凤, 李月红, 陈桂华, 2013. 应用性信息素诱集二化螟和稻纵卷叶螟技术. 浙江农业科学, (7): 825–826, 829.]
- Zhu PY, Wang GW, Zheng XS, Tian JC, Lü 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.