

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.03.7

2015 年福建省局部地区褐飞虱暴发成灾 主要原因分析与防控对策

邱良妙^{1,2}, 刘其全^{1,2}, 林仁魁⁴, 占志雄^{1,2,3*}

(1. 福建省农业科学院植物保护研究所, 福州 350013; 2. 福建省作物有害生物监测与治理重点实验室, 福州 350013;
3. 福建省农业科学院水稻研究所, 福州 350019; 4. 福建省仙游县植保植检站, 福建仙游 351200)

摘要: 针对福建省 2015 年水稻褐飞虱暴发成灾, 从昆虫种群生态学原理出发, 结合历史相关资料, 总结研究了导致 2015 年褐飞虱暴发成灾的主要原因。褐飞虱本地虫源和外来迁入虫源是重要诱因, 极高的种群增长率是决定性关键内因, 异常气候与水稻抽穗灌浆期契合形成的适宜环境及食物营养条件是决定性关键外因, 田间防治技术问题则是导致灾害并造成重大损失的直接原因。褐飞虱持续治理对策方面, 需加强褐飞虱种群监测与预警, 开展抗药性监测与治理, 实施稻田肥料和农药减施技术, 并加强防控应用技术的研究与推广及技术培训, 加快推进实施褐飞虱专业化防治。

关键词: 褐飞虱; 暴发; 原因; 分析; 防控对策

中图分类号: Q968.1; S433.39

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 03-0494-05

Management measures and analysis on the major factors causing outbreak of brown planthopper in partial area of Fujian in 2015

QIU Liang-Miao^{1,2}, LIU Qi-Quan^{1,2}, LIN Ren-Kui⁴, ZHAN Zhi-Xiong^{1,2,3*} (1. Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Fuzhou 350013, China; 3. Rice Research Institute of Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350019; 4. Xianyou Plant Protection and Plant Quarantine Station, Xianyou 351200, Fujian Province, China)

Abstract: Combined with the historical data, the factors causing the outbreak of brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål) were analyzed by the method of ecological principle of insect population in Fujian in 2015. The results revealed that the mixture of immigrants and local initial populations were the important incentive causes of outbreak of BPH, but the key and crucial cause of internal was the extremely high growth rate of BPH. And the favorable weather conditions corresponded with the rice period of heading and grain filling formatted the key and crucial factors of extrinsic. So the synergistic action of the key factors of internal and extrinsic led to the outbreak of BPH. The immediate cause of high yield losses occurred mainly due to the failure of prevention and control on BPH. So the research of populations and resistance monitoring on BPH, reduce to use pesticide and chemical fertilizer in rice field, applied technology of control and training should be all carried out further. The work of professional prevention and control on BPH should also be accelerated and promoted also.

Key words: *Nilaparvata lugens* (Stål); outbreak; cause; analysis; management measure

基金项目: 福建省科技计划项目—省属公益类科研院所基本科研专项 (2015R1024-5; 2014R1024-40); 福建省科技重大专项 (2015NZ0002-3); 国家重大农技推广服务试点项目 (2015)

作者简介: 邱良妙, 男, 1973 年生, 硕士, 副研究员, 从事农药毒理与生态环境安全方面的研究, E-mail: bjndqlm@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zzx64@sohu.com

收稿日期 Received: 2016-03-08; 接受日期 Accepted: 2016-03-24

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 是一种随季风迁飞、具有多型性和典型 r-对策的水稻重大害虫 (高希武等, 2006; 王彦华等, 2009), 褐飞虱由于具有极高的内禀增长率和极强的环境适应性, 极易暴发成灾 (Heinrichs, 1994; 程遐年等, 2003; 杨峻等, 2014)。上世纪 70 年代以来, 我国水稻褐飞虱暴发频繁 (陆剑飞等, 2006; 程家安等, 2006; 王彦华等, 2007; 沈建新等, 2007), 进入 21 世纪后, 褐飞虱暴发为害程度呈进一步加重趋势, 众所周知, 2005 年我国南方水稻褐飞虱大暴发, 发生面积和造成为害损失程度创我国历史之最 (程家安等, 2006)。

1975 - 2005 年, 福建省褐飞虱年发生超过 10 万 hm^2 的年份有 10 年, 其特点为水稻田间褐飞虱种群数量大, 水稻受害严重, 水稻大面积枯死踏圈 (关瑞峰, 2007)。2007 年福建省早季水稻稻飞虱大发生, 发生面积超过 100 万 hm^2 (次) (孔丽萍等, 2007)。2015 年, 福建省单季稻上褐飞虱再次暴发。研究褐飞虱频繁暴发的深层次原因、成灾机理、应急防控及持续治理技术势在必行, 以达到对水稻褐飞虱持续控制的目的, 保障水稻粮食生产安全。

从昆虫种群生态学原理分析, 昆虫种群数量动态决定于两个方面, 一是内在因素即种群自身的生理、生态特性及适应性, 二是内在因素与种群栖息地各外在因素间特殊的联系方式 (张孝羲, 2001)。而某种作物害虫是否成灾并引起危害主要取决于 3 个基本参数, 既初始种群数量、种群增长倍数和防治效果 (程家安等, 2006)。本文拟从褐飞虱害虫种群基数、种群增长速率、气候与环境条件及防治技术措施等 4 个方面出发, 对 2015 年福建省水稻褐飞虱暴发成灾的主要原因进行初步分析, 旨在对将来水稻褐飞虱的发生与防控提供参考。

1 褐飞虱种群基数

2015 年 8 月下旬, 福建省多地中稻种植区出现褐飞虱突发性暴发为害, 造成稻秆枯死或倒伏踏圈, 出现踏圈田块的褐飞虱主要以 3 龄以上若虫和成虫为主, 根据水稻褐飞虱生物学特性分析判断, 7 月下旬至 8 月上旬迁入的长翅成虫应是 2015 年福建省多地发生褐飞虱暴发的基础虫源, 但是, 根据我们在仙游县近十年的监测数据显示,

与其它褐飞虱一般发生年份的同期诱虫量相比, 2015 年 7 月下旬 - 8 月上旬的褐飞虱诱虫量并非历史最高的年份, 甚至还低于个别年份, 从 8 月份之前的褐飞虱累积诱虫量分析。2015 年褐飞虱迁入的时间与一般发生年份迁入时间并无明显的差异, 褐飞虱累积的迁入量甚至也低于个别一般发生年份。2015 年 7 月 31 日之前的褐飞虱当年累积诱虫量甚至为近五年中最低, 这也是 2015 年福建省多地褐飞虱暴发成灾未能得到有效提前预警而造成损失的重要原因之一。程家安等 (1994, 2007) 研究表明, 稻飞虱大发生只有小部分是出于初始虫量异常高而引起, 而大部分特大发生年是因稻飞虱异常高的增长倍数所引起的。因此, 综合分析历史相关监测数据和田间实际调查结果, 我们认为, 田间褐飞虱初始虫源或外源迁入虫量只是导致 2015 年福建省褐飞虱暴发的一个重要诱因, 但并不是导致此次褐飞虱暴发成灾的决定性关键因子。

2 褐飞虱种群增长率

2015 年, 对福建省多地的中稻种植区进行实地调查, 发现田间稻飞虱的发生存在一个共同特点, 7 月下旬 - 8 月上旬期间, 即 8 月下旬褐飞虱田间暴发前期, 在福建省三明地区大田县华兴乡张圪村、沙县夏茂镇杂交水稻育种示范基地、泉州地区德化县春美乡上春村、莆田地区仙游县游洋乡梧椿村和南平地区建阳市营口镇后山村等地的稻田并未发现大量褐飞虱发生为害。在 7 月中旬, 田间稻飞虱以白背飞虱为优势种群, 占田间稻飞虱种群 60% 以上, 褐飞虱田间种群约占 40%, 百丛虫量 300 - 500 头。7 月下旬, 田间稻飞虱种群逐渐由以白背飞虱为优势种向以褐飞虱为优势种过渡转变。8 月上旬褐飞虱田间种群数量上升, 占田间稻飞虱种群的 60% 以上, 褐飞虱成为田间优势种群, 百丛虫量 900 - 1800 头。8 月下旬调查发现褐飞虱突然暴发成灾, 褐飞虱成为田间稻飞虱的绝对优势种群, 占田间稻飞虱的 95% 以上, 个别未防治或防治不及时田块出现褐飞虱暴发为害, 造成稻秆倒伏踏圈, 发生严重田块的百丛虫量达 30000 - 90000 头, 褐飞虱种群数量在短期内增长了数十倍。2015 年 8 月 27 日, 作者跟随福建电视台新闻、综合频道和福州晚报记者, 对福州市晋安区寿山乡上寮村的褐飞虱暴发成灾情况进

行实地调查,发现田间稻飞虱95%以上为褐飞虱,且以高龄若虫和成虫为主虫态,部分未防治田块的稻秆成片枯死,造成绝收,经田间估计测算,个别发生严重田块的褐飞虱虫量高达每丛3000–5000头,而根据当地村民反映,7月下旬–8月上旬期间的田间褐飞虱虫量不多,据此,可以合理地推算估计,该地褐飞虱种群数量极有可能较前期增长了数百倍,一部分防治不力田块的稻秆基部已枯干变黑,大量褐飞虱群集水稻上部叶片和稻穗上取食为害,造成大幅减产已不可避免,损失惨重。因此,极高的种群增长率是导致此次褐飞虱暴发成灾的决定性关键内因。

3 气候与环境条件

相关研究表明,“盛夏不热,晚秋不凉”气候条件是最适宜褐飞虱生存繁殖,也是褐飞虱暴发的适宜气候条件(李汝铎等,1996;程家安等,2006)。福建省地处东南沿海,陆域介于北纬 $23^{\circ}33'$ – $28^{\circ}20'$ 、东经 $115^{\circ}50'$ – $120^{\circ}40'$,靠近北回归线,受季风环流和地形的影响,形成暖热湿润的亚热带海洋性季风气候,具有热量丰富、雨量充沛、光照充足等特点。年平均气温 17°C – 21°C ,平均降雨量1400–2000 mm,气候条件适宜作物生长。但也正是由于受季风影响显著,温湿度和降水等气候条件不稳定,导致包括作物害虫等各种农业灾害发生频繁,尤其夏秋季台风和持续大量降雨对福建省稻飞虱等迁飞性害虫的发生为害产生重要影响,而长期适温多雨是导致褐飞虱大发生的主要因子之一(王明勇,2006)。以福州市气象资料为例,2015年7月份的日平均气温 28.9°C ,平均最高气温为 32.8°C ,平均最低气温为 26.1°C ,是近十年同期最低气温水平;8月份的日平均气温 28.5°C ,平均最高气温为 32.6°C ,平均最低气温为 25.8°C ,也是近十年同期最低气温水平。而且8月份的降雨量达457.7 mm,仅次于2009年同期的489.4 mm降雨量,因此,2015年7–8月特殊的气候条件为褐飞虱暴发危害提供了最适宜的外部条件,尤其是8月8–9日第13号强台风“苏迪罗”给全省造成大范围强降雨,一方面造成大量褐飞虱虫源迁入,诱发了褐飞虱的暴发为害,另一方面,该时期也正值中稻区水稻处于抽穗灌浆期,大量化肥尤其是氮肥被应用于稻田,促使水稻生长茂盛,而田间氮肥施用量与稻飞虱发生

程度具有高度相关性(李坚民等,1989;吕仲贤,2003;江涛等,2011;王永才等,2013),高水平氮肥被认为是近年来稻飞虱暴发猖獗的重要原因之一(郑许松等,2009)。此外,在8月10–20日期间,福建省全境普遍处于持续性阴雨闷热天气,使稻田形成了温暖湿润的小气候条件,为褐飞虱种群快速繁殖增长创造了最佳的生态环境条件,因此,特殊的气候与水稻抽穗灌浆期契合形成的适宜生态环境及营养条件,是导致2015年福建省褐飞虱暴发为害的决定性关键外因。

4 防治技术措施

褐飞虱的暴发与成灾应是两个层面的问题,暴发是指其种群数量大且发展扩散迅速,而成灾则是指其危害造成超过某种限度的经济损失。一般意义上讲,在褐飞虱暴发时,只要及时采取科学合理的防治措施就不会成灾,防治技术措施不当是导致成灾的直接原因。2015年,我们对福建省多个县(市)的农民进行田间问卷调查发现,农民普遍反映的一个共同问题就是褐飞虱难于控制,多数粮农针对2015年稻飞虱的防治次数和使用剂量较往年成倍增加,甚至将剂量增加到3–4倍亦未能取得满意的效果,一部分粮农虽然积极采取防治措施,仍然出现稻秆枯死踏圈现象,究其原因是多方面的。首先,农药滥用现象极为严重,例如,很多菊酯类农药被应用于水稻害虫防治,众所周知,一些菊酯类杀虫剂能刺激稻飞虱产卵,诱使稻飞虱种群增殖导致再增猖獗(高春先等,1988;顾中言等,1990;王荫长等,1994;顾中言等,1997,1999),加剧了稻飞虱暴发为害的程度。农民往往数倍于农药登记使用剂量进行害虫防治,比如,毒死蜱等有机磷类农药是目前农民防治水稻害虫最常用的药剂,据调查发现,农民实际使用剂量往往都是农业部登记使用剂量的2–3倍,肆意扩大使用剂量致使稻田天敌对稻飞虱的自然生物控制作用的功能减弱甚至丧失,化学农药的滥用是近年来稻飞虱大发生和猖獗的重要原因之一(姜辉等,2005;高希武等,2006;程家安等,2006;叶建人等,2007)。其次,害虫抗药性问题突出,大量监测结果表明,我国水稻褐飞虱普遍对吡虫啉的抗性程度已达高抗至极高抗水平(邱良妙等,2011;王鹏等,2013;张帅,2015),吡虫啉对褐飞虱的田间防治效果不理想,

但由于使用吡虫啉防治的成本低, 加上目前种植水稻经济效益低下, 因此, 农民往往不愿意使用价格昂贵但防效更好的新型药剂, 宁愿大剂量使用吡虫啉进行稻飞虱防治。在稻飞虱大发生情况下, 这种防治措施不但无法有效控制褐飞虱的发生为害, 也进一步加剧了褐飞虱抗药性的风险, 对于实现水稻褐飞虱的持续治理极为不利。再次, 田间施药技术方面, 由于稻飞虱的测报预警机制不够完善, 稻飞虱大发生时, 农民往往都错过了最佳防治适期即在稻飞虱初孵若虫期采取防治措施, 而一般都是在稻飞虱发育到了高龄若虫且达到相当数量并造成危害时才采取防治措施, 防治技术措施严重滞后, 在外部环境条件适宜褐飞虱大发生的情况下, 其暴发成灾也就不可避免。此外, 农民在田间喷雾施药时用水量严重不足, 根据调查发现, 多数农民在喷雾施药防治稻飞虱时的用水量仅为 450 kg/hm^2 , 这对于防治水稻生长中后期的稻飞虱来说是不够的, 过低的用水量无法保证对水稻茎秆中下部均匀喷雾施药, 导致田间实际防治效果不理想。稻田没有保持一定深度的水层也是导致防治效果不佳的原因之一。因此, 防治技术措施问题不但是褐飞虱成灾造成损失的直接原因, 也是造成水稻褐飞虱暴发不可忽视的重要环节。

5 防控对策与建议

基于以上四点原因分析, 预防与控制水稻褐飞虱暴发成灾需要重点注意以下几点:

(1) 加强并优化虫情监测与预警机制。由于褐飞虱具有极高的内禀增长率, 诱虫灯下数量低并非一定不会导致褐飞虱大发生。在适宜气候条件和稻田微生态环境与食物营养条件下, 只要满足一定的初始虫量也可能造成田间褐飞虱大发生甚至暴发成灾。因此, 需不断加强褐飞虱的监测与预警, 要对灯下诱虫量和田间种群数量实施同步监测, 同时与气象部门密切合作, 及时掌握当地温湿气候条件, 不可过度单一倚重灯下诱虫数据实施虫情预报。

(2) 实施化肥和农药减施技术。由于褐飞虱属典型 r -对策的农业重大害虫, 能在适宜生境中迅速定植、建立种群并快速增殖扩散, 从而导致暴发危害, 因此, 营造不利于褐飞虱发生的生态环境是抑制其种群快速增殖扩散为害的根本途径。

所以, 需不断强化稻田化肥和农药的管理。首先, 要转变传统过度依赖氮肥投入量来提高稻谷粮食产量的作法, 减少化学肥料的使用, 增加复合肥和有机肥的使用量; 其次, 在农药使用方面, 一是要强化农药监管与执法, 杜绝未登记药剂在水稻田上使用, 二是要优化协调水稻整个生长期病虫害的防治工作, 集成应用水稻主要害虫防控技术体系, 减少化学农药的使用量, 保护利用稻田自然天敌对稻飞虱等重大害虫的生物控制作用。实施化肥和农药减施技术是降低稻飞虱暴发风险的有效措施。

(3) 开展抗药性监测。由于水稻褐飞虱属迁飞性害虫, 而且年发生代数多, 世代重叠严重, 因此, 褐飞虱抗药性问题就显得异常复杂, 特别是由于褐飞虱具有随季风迁飞习性, 致使其种群每年在不同虫源地之间、虫源地与发生地之间、不同发生地之间都进行着无特定规律地交互融合。一般而言, 褐飞虱抗药性的发展速度较为缓慢, 然而, 一旦不同发生区域均长期使用同一种或同一类农药防治的情况下, 褐飞虱对该类农药产生抗药性的发展速度可能就变得较为迅速。例如, 吡虫啉是上世纪 90 年代才开始推广使用的烟碱类超高效内吸杀虫剂, 由于其对稻飞虱具有超高防效而被长期大量应用水稻生产, 目前, 我国褐飞虱已对吡虫啉产生了极高的抗性水平。根据抗性监测结果, 全国农业技术推广服务中心于 2010 年就建议暂停应用吡虫啉防治水稻褐飞虱。因此, 制定并开展实施跨区域或全国性的褐飞虱抗药性监测协作网具有必要性和紧迫性, 也具有十分重要的科学意义, 甚至需进一步加强与我国褐飞虱的虫源地国家如缅甸、老挝、越南等进行长期合作。

(4) 防控应用技术的研究与推广。如选育或筛选并推广抗 (耐) 褐飞虱的水稻品种; 研发应用对水稻害虫高效而对天敌安全的环境友好新型防治药剂; 研究应用包括植保新器械、缓释剂、增效剂等农药应用新技术, 提高农药利用率及其对害虫的防治效果。

(5) 技术宣传与培训。注重科技普及与技术培训工作, 提高农民防控水稻褐飞虱的科学素质和技术水平, 同时加快组建农业专业化防治合作社队伍, 统筹安排对褐飞虱等水稻重大害虫实施群防群治, 这对于有效抑制褐飞虱频繁暴发成灾具有重要的现实意义。

参考文献 (References)

- Cheng JA. An ecological approach in brown planthopper management. In: Nobuhiko H, Geoff N. Proceedings of the International Workshop on Pest Management Strategies in Asian Monsoon Agroecosystem [C]. Japan: Kyushu National Agricultural Experiment Station, Ministry of Agricultural, Forestry and Fisheries, 1994, 31–44.
- Cheng JA, Zhu ZR. Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze Area, China in 2005 [J]. *Plant Protection*, 2006, 32 (4): 1–4. [程家安, 祝增荣. 2005 年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析 [J]. 植物保护, 2006, 32 (4): 1–4]
- Cheng XN, Wu JC, Ma F. Study and Prevention of Brown Planthopper [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003, 100–101. [程遐年, 吴进才, 马飞. 褐飞虱研究与防治 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003, 100–101]
- Gao CX, Gu XH, Bei YW, et al. A study on the cause of resurgence of brown planthopper (BPH) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1988, 8 (2): 155–163. [高春先, 顾秀慧, 贝亚维, 等. 褐稻虱再增猖獗原因探讨 [J]. 生态学报, 1988, 8 (2): 155–163]
- Gao XW, Peng LL, Liang DY. Factors causing the outbreak of brown planthopper (BHP), *Nilaparvata lugens* Stål in China in 2005 [J]. *Plant Protection*, 2006, 32 (2): 23–25. [高希武, 彭丽年, 梁帝允. 对 2005 年水稻褐飞虱大发生的思考 [J]. 植物保护, 2006, 32 (2): 23–25]
- Guan RF. Analysis on the occurring characteristics of brown planthopper in Fujian province [J]. *China Plant Protection*, 2007, 6: 16–19. [关瑞峰, 2007. 福建省褐飞虱发生特点浅析 [J]. 中国植保导刊, 2007, 6: 16–19]
- Gu ZY, Xu XL. Analysis on the cause of deltamethrin affect on the resurgence of brown planthopper [J]. *Plant Protection*, 1990, 5: 35. [顾中言, 许小龙. 敌杀死导致褐稻虱再猖獗原因分析 [J]. 植物保护, 1990, 5: 35]
- Gu ZY, Han LJ, Wang Q, et al. Ecological factors on the resurgence of rice planthopper after applying synthetic pyrethroids and their control [J]. *Entomological Journal of East China*, 1997, 1: 87–92. [顾中言, 韩丽娟, 王强, 等. 农药导致稻飞虱再猖獗的生态机制及生态调控研究 [J]. 华东昆虫学报, 1997, 1: 87–92]
- Gu ZY, Xu XL, Shu JK, et al. Study on the resurgence of rice delphacid caused by application of pyrethroid and its main affecting factors and the method of control [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1999, 4: 53–60. [顾中言, 许小龙, 苏建坤, 等. 拟除虫菊酯农药导致稻飞虱再猖獗机理及调控方法 [J]. 西南农业学报, 1999, 4: 53–60]
- Heinrichs EA. Impact of insecticides on the resistance and resurgence of rice planthopper. In: Denno RF, Perfect TJ. Planthopper: Their Ecology and Management [C]. New York: Chapman and Hall Press. 1994, 571–614.
- Jian T, Zhao JL, Cheng JJ, et al. Effects of rice varieties and nitrogen fertilizer application rates on the occurrence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* under field conditions [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 1359–1368. [江涛, 赵俊玲, 程建军, 等. 水稻品种与氮肥施用水平对田间褐飞虱发生的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (5): 1359–1368]
- Jiang H, Lin RH, Liu L, et al. Planthoppers damage to rice and the resurgence mechanism [J]. *Entomological Knowledge*, 2005, 42 (6): 612–615. [姜辉, 林荣华, 刘亮, 等. 稻飞虱危害及再猖獗机制 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (6): 612–615]
- Kong LP, Guan RF, Pan CY. Analysis on the occurring characteristics of planthopper in early season rice of Fujian Province [J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2007, 6: 40–41. [孔丽萍, 关瑞峰, 潘初沂. 2007 年福建省早季稻飞虱大发生特点及成因分析 [J]. 福建农业科技, 2007, 6: 40–41]
- Li JM, Yue CR. Nitrogen fertilizer application amount and occurrence degree of rice diseases and insect pests [J]. *Plant Protection*, 1989, 4: 27. [李坚民, 岳崇仁. 氮肥施用量与水稻病虫害发生程度 [J]. 植物保护, 1989, 4: 27]
- Li RD, Ding JH, Hu GW. Populations of Brown Planthopper and its Governance [M]. Shanghai: Fudan University Press, 1996, 126–131. [李汝铎, 丁锦华, 胡国文. 褐飞虱及其种群治理 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 1996, 126–131]
- Lu JF, Huang GY. Factors affecting the outbreak and management tactics of brown planthopper in Zhejiang Province [J]. *Pesticide Science and Administration*, 2006, 27 (1): 42–44. [陆剑飞, 黄国洋. 浙江省褐飞虱暴发成灾的原因与治理对策 [J]. 农药科学与管理, 2006, 27 (1): 42–44]
- Lu ZX. Effects of Nitrogenous Fertilizer on Ecological Fitness of the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens*, and its Relationships with Natural Enemies and Rice [D]. Doctoral Thesis, Hangzhou: Zhejiang University. [吕仲贤, 2003. 氮肥对褐飞虱的生态适应性及其与水稻和天敌关系的影响 [D]. 杭州: 浙江大学博士论文, 2003.]
- Qiu LM, Lin RK, Wu W, et al. Toxicity and efficacy of six insecticides on field populations of *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 26 (3): 424–431. [邱良妙, 林仁魁, 吴玮, 等. 6 种杀虫剂对水稻褐飞虱田间种群毒力及控制作用 [J]. 福建农业学报, 2011, 26 (3): 424–431]
- Shen JX, Shen YM. Outbreak reason of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, in 2005 and control strategy [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44 (5): 731–733. [沈建新, 沈益民. 2005 年褐飞虱大暴发原因及其应对策略 [J]. 昆虫知识, 2007, 44 (5): 731–733]
- Wang MY. The outbreak cause and prevention of enlightenment of brown planthopper [J]. *Plant Protection*, 2006, 32 (5): 113–115. [王明勇. 2005 年褐飞虱大发生原因及防治启迪 [J]. 植物保护, 2006, 32 (5): 113–115]
- Wang P, Ning ZP, Zhang S, et al. Resistance monitoring to conventional insecticides in brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) in main rice growing regions in China [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2013, 27 (2): 191–197. [王鹏, 甯佐苹, 张帅, 等. 我国主要稻区褐飞虱对常用杀虫剂的抗性监测 [J]. 中国水稻科学, 2013, 27 (2): 191–197]

- Wang YC, Zhong LQ, Wang HF, *et al.* Effects of different nitrogen levels on brown planthopper population dynamics and the rice yield in Single-crop rice [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2013, 10: 1323 – 1325. [王永才, 钟列权, 王会福, 等. 单季稻不同施氮量对褐飞虱种群数量消长及产量的影响 [J]. 浙江农业科学, 2013, 10: 1323 – 1325]
- Wang YC, Fang JQ, Tian XZ, *et al.* Studies on the resurgent question of planthoppers induced by deltamethrin and methamidophos [J]. *Entomological Knowledge*, 1994, 31 (5): 257 – 262. [王荫长, 范加勤, 田学志, 等. 溴氰菊酯和甲胺磷引起稻飞虱再增猖獗问题的研究 [J]. 昆虫知识, 1994, 31 (5): 257 – 262]
- Wang YH, Wang Q, Shen JL, *et al.* Current status of insecticide resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2009, 46 (4): 518 – 524. [王彦华, 王强, 沈晋良, 等. 褐飞虱抗药性研究现状 [J]. 昆虫知识, 2009, 46 (4): 518 – 524]
- Wang YH, Wang MH. Factors affecting the outbreak and management tactics of brown planthopper in China recent years [J]. *Pesticide Science and Administration*, 2007, 25 (2): 49 – 54. [王彦华, 王鸣华. 近年来我国水稻褐飞虱暴发原因及治理对策 [J]. 农药科学与管理, 2007, 25 (2): 49 – 54]
- Yang J, Yuan SK. China Biological Activity Evaluation and Research [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2014, 38 – 42. [杨峻, 袁善奎. 中国农药生物活性评价与研究 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2014, 38 – 42]
- Zheng XS, Chen GH, Xu HX, *et al.* Interactive effects of temperature and nitrogen fertilizer on the survival, development, and reproduction of brown planthopper *Nilaparvata lugens* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20 (5): 1171 – 1175. [郑许松, 陈桂华, 徐红星, 等. 温度和氮肥对褐飞虱存活、生长发育和繁殖的交互作用 [J]. 应用生态学报, 2009, 20 (5): 1171 – 1175]
- Ye JR, Huang XF, Feng YB. Control efficiency of common insecticides on migratory pests and their safety evaluation for natural enemies in paddy fields [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2007, 19 (5): 373 – 377. [叶建人, 黄贤夫, 冯永斌. 常用杀虫剂对稻田迁飞害虫的控制作用及其对天敌的安全性评价 [J]. 浙江农业学报, 2007, 19 (5): 373 – 377]
- Zhang S. The results and recommendations of resistance monitoring of National agricultural pests in 2014 [J]. *China Plant Protection*, 2015, 35 (3): 65 – 69. [张帅. 2014 年全国农业有害生物抗药性监测结果及用药建议 [J]. 中国植保导刊, 2015, 35 (3): 65 – 69]
- Zhang XX. Insect Ecology and Prediction (The Third Edition) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2001, 70 – 72. [张孝羲. 昆虫生态及预测预报 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001, 70 – 72]