



中国稻田昆虫群落多样性及生态调控功能研究进展*

刘雨芳**

(湖南科技大学生命科学学院, 园艺作物病虫害治理湖南省重点实验室, 湘潭 411201)

摘 要 稻田昆虫群落是农业昆虫群落总体的重要组成部分,也是稻田生态系统的重要结构。本文综述了我国稻田昆虫群落多样性及生态调控功能研究进展。显示,我国的稻田昆虫群落研究,主要围绕天敌资源利用与水稻害虫防治两个方面,且基于水稻害虫防治中心目标开展。而且,稻田昆虫群落常被分为捕食性昆虫、寄生性昆虫、中性昆虫、水稻害虫等亚群落或功能团被研究,且昆虫群落中重要天敌昆虫种群与重要水稻害虫种群密切联系。为此,本文主要就我国稻田昆虫群落与组成、稻田昆虫多样性与资源、水稻害虫发生动态、防治方法策略与害虫生态调控、食物网营养关系与能流、采样技术方法、稻田生态安全性评价指示生物等进展进行了介绍,并指出了未来发展的方向。

关键词 稻田;昆虫群落;捕食者;寄生者;中性昆虫;生态调控

A review of the diversity and ecological function of paddy field insect communities in China

LIU Yu-Fang**

(College of Life Science, Hunan University of Science and Technology, Hunan Province Key Laboratory for Integrated Management of the Pests and Diseases on Horticultural Crops, Xiangtan 411201, China)

Abstract Paddy field insect communities are an important part of the agricultural, and paddy field, ecosystem. The study of insect communities in paddy fields in China is mainly focused on controlling rice pests, particularly by utilizing their natural enemies in paddy fields. Insect communities in paddy fields are often divided into four sub-communities, or functional groups; predatory insects, parasitic insects, neutral insects and rice pests. The abundance of natural enemies is closely related to the abundance of rice pests. Main research topics include the composition, diversity and resources of insect communities, population dynamics of rice pests, control strategies and the ecological control of rice pests, nutritional relationships and energy flow within the food web, sampling techniques, and biological indicators of ecological health and food safety in paddy fields.

Key words paddy field; insect community; predatory; parasitoids; neutral insect; ecological regulation

昆虫群落的研究包括种间关系及人为作用下的昆虫群落演替规律,研究的重点是结合天敌利用和提高资源昆虫的生物量而进行的(马世骏, 1979)。特别是近年来,由于我国和其他亚洲国家频繁暴发稻飞虱,特别是褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 造成了严重的水稻产量损失,

水稻生态系统中生物多样性的丧失及昆虫群落的研究成为研究的焦点(Yao *et al.*, 2012)。稻田昆虫群落作为稻田生态系统中生物多样性的的重要组成部分与昆虫群落总体的重要组成部分,也是稻田生态系统的重要结构。我国的稻田昆虫群落研究,作为重要的基础工作,主要围绕天敌

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2017YFD0200400)

**通讯作者 Corresponding author, E-mail: yfliu2011@126.com

收稿日期 Received: 2019-01-09; 接受日期 Accepted: 2019-02-12

资源利用与水稻害虫防治这个中心而展开。研究内容包括稻田昆虫群落与组成(陈常铭, 1982)、稻田昆虫多样性与资源(陈常铭和刘仕龙, 1963; 陈常铭等, 1980a; Zhang *et al.*, 2013)、水稻害虫发生动态(陈常铭和刘仕龙, 1963)、防治方法策略(Lou *et al.*, 2014)、稻田昆虫群落动态与害虫生态调控(Yao *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2013; Zhu *et al.*, 2014; 姚凤奎和尤民生, 2017)、食物网营养关系(刘雨芳等, 2002a, 2002b)与能流(戈峰和陈常铭, 1990a, 1990b)、采样技术方法(刘雨芳等, 1999, 2015)、稻田生态安全性评价指示生物研究(Bai *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2006; Gao *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2015; Dong *et al.*, 2017)等。按其在稻田生态系统中的功能, 稻田昆虫群落常被分为稻田捕食性昆虫与寄生性昆虫(Zhang *et al.*, 2013; 姚凤奎和尤民生, 2017)、中性昆虫(吴进才等, 1994; 刘雨芳和古德祥, 2002; Jiang and Cheng, 2004)、水稻害虫(刘雨芳等, 2007)与介体昆虫(谢联辉和林奇英, 1980)等亚群落或功能团被研究。基于水稻害虫防治中心目标, 对稻田昆虫各亚群落或功能团研究常以重要种群展开, 并常与重要的水稻害虫种群密切联系。

1 稻田昆虫群落及其多样性特征

了解农田昆虫群落动态, 有助于揭示害虫种群消长的原因与设计害虫综合治理策略(陈常铭, 1982); 而且对于害虫群落与种群发生规律的认知与理解, 一定要在对害虫生活习性和生活史的观察中, 结合害虫的生长、发育、繁殖与气候、食料、土壤和天敌等因子相互作用的基础上进行(陈常铭, 1954)。为此, 陈常铭和刘仕龙(1963)报道了湖南滨湖区水稻害虫群落的发生动态, 综合分析了稻田历史条件、水稻害虫生物学特性、气候和食料条件对水稻害虫群落组成及种群数量变化的影响。对湖南稻田天敌昆虫进行深入研究, 获得稻田天敌 6 目 22 科 131 属 182 种, 通过室内饲养从田间采回的害虫各虫态, 观察得到寄生性天敌, 以及结合直接观察与解剖

的方法, 得到捕食性天敌的猎物情况, 从而对上述稻田寄生性天敌的寄主与捕食性天敌的猎物进行了全面详细的描述(陈常铭等, 1980a)。为后来开展稻田天敌昆虫群落及多样性与天敌资源利用研究提供了科学指导。

稻田昆虫群落研究注重从系统的总体到系统的分层与分亚系统的研究。不仅开展稻田本系统的昆虫群落研究, 也重视稻田昆虫群落与周围环境的物种交换、迁移与生态功能实现的关联研究(庄西卿, 1989; 刘雨芳等, 2003; Yao *et al.*, 2012; 姚凤奎和尤民生, 2017), 为水稻害虫综合防治与天敌资源的可持续利用积累了大量的科学数据与信息。研究表明, 稻田田埂上杂草高度和密度是影响昆虫群落的主要因子(庄西卿, 1989), 稻田和稻田田埂上的飞虱卵寄生蜂群落物种组成一致, 田埂上禾本科杂草的种类与数量成为影响稻飞虱卵寄生蜂群落变化的重要原因。因此, 在生产实践中适当地保存一定量的田埂与田边杂草, 以便更好地发挥稻田害虫天敌在水稻害虫综合治理中的作用。不同地域稻田昆虫群落结构与多样性(陈常铭, 1982; 赵志模, 1986)、稻田灯下昆虫群落(柯汉云等, 2014)、多作、多样性种植与非稻田生境多样化(Lin *et al.*, 2011; Yao *et al.*, 2012; 姚凤奎和尤民生, 2017)、化学农药及不同管理模式(万方浩和陈常铭, 1986)对稻田昆虫群落结构的影响与季节动态也被普遍关注。

随着转基因生物技术的迅速发展, 转基因抗虫水稻品系不断问世, 由此带来了全球对转基因抗虫水稻田间安全的普遍关注与对相关安全评价研究的热点。稻田昆虫群落包括非靶标害虫亚群落、非靶标害虫天敌昆虫与其他节肢动物亚群落, 稻田底栖(或湿生)动物(包括水生昆虫)亚群落等, 成为关键的指示生物, 在群落或亚群落水平上应用于田间安全评价, 发表了大量的科学研究论文, 为公众了解转基因抗虫水稻的生态安全性提供了第一手科学资料与信息。如发现转 *Cry1Ac/sck* 基因抗虫水稻不会引起关键非靶标水稻害虫数量的明显上升, 引发非靶标害虫稻飞

虱灾变的风险较小(刘雨芳等, 2007), 在江西南昌与湖南湘潭田间实验基地连续种植 2 年转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻, 对稻田底栖动物群落无明显负作用(桂芳艳等, 2015a, 2015b)。

2 稻田捕食性天敌昆虫亚群落及其利用

研究稻田捕食性天敌昆虫亚群落, 是了解稻田捕食性天敌物种多样性与稳定性及天敌资源利用的重要内容, 也是利用捕食性天敌对水稻害虫进行生物防治的物质基础。我国稻田捕食性昆虫被研究的重点内容有: 稻田捕食性昆虫资源(陈常铭等, 1980a; 黄德超等, 2005; 梁朝巍, 2011; 安瑞军等, 2012)、群落结构与动态(陈常铭, 1982; Jiang and Cheng, 2004; 钟平生等, 2010)、物种多样性、丰富度与均匀性(刘雨芳等, 2003; Li *et al.*, 2007)、重要捕食性昆虫天敌种类与利用、稻田生境异质性与稻田昆虫种库及群落重建(刘雨芳等, 2003)、氮肥施用与杀虫剂对稻田天敌昆虫的影响(Yang *et al.*, 2016; Khan *et al.*, 2018)、转基因水稻安全评价指示生物(程正新等, 2014; 蒋显斌等, 2016; Zhou *et al.*, 2016)、稻田群落营养关系、食物网(链)与水稻害虫自然控制中的生态功能等(郝树广等, 1998; 刘雨芳等, 2002b; Xiao and Tang, 2007)。

已有研究表明, 多样化生境稻田中捕食性节肢动物的物种数和个体数量都显著高于单一化生境稻田。非稻田生境主要作为稻田捕食性节肢动物群落的种库, 能促进稻田捕食性节肢动物群落的重建(刘雨芳等, 2003)。稻田中天敌种类很丰富, 中国稻田中有水稻害虫的捕食性天敌 889 种, 占有天敌的 64.74%, 其中 462 种为捕食性昆虫(Lou *et al.*, 2014), 对水稻害虫具有很大的潜在控制力。在广东四会大沙镇稻田中调查获得捕食性天敌近 50 种, 青翅蚁形隐翅虫 *Paegerus fuscipes* 是重要捕食性昆虫(蒲蛰龙等, 1984)。在通辽地区稻田生态系统中, 调查获得蜻蜓目、螳螂目、脉翅目、半翅目、鞘翅目等 5

目 10 科 32 种捕食性昆虫, 其中黑肩绿盲蝽 *Cyrtorrhinus livipennis*、青翅蚁形隐翅虫、龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* 为捕食性天敌优势种(安瑞军等, 2012)。综合利用人工捕捉、叶面扫网和灯诱方法, 在江西省万载县国家有机食品(稻米)生产基地的有机水稻生产区获得 6 目 21 科 91 种捕食性昆虫(梁朝巍, 2011)。稻田中被重点研究的捕食性天敌昆虫有青翅蚁形隐翅虫、稻田其他隐翅虫、黑肩绿盲蝽、尖钩宽尾蝽 *Microvelia horvathi*、稻田瓢虫等。在广东的双季稻稻田生态系统中, 早稻与晚稻田中分别获得 16 种与 19 种捕食性昆虫(Zhang *et al.*, 2013)。

青翅蚁形隐翅虫是南方稻田中常见的广捕食性天敌昆虫, 在由稻田狼蛛、其他蜘蛛与青翅蚁形隐翅虫、红瓢虫与长颈步甲组成的稻田捕食性天敌功能团中, 青翅蚁形隐翅虫占比 17.65%, 其成虫活动能力强、搜索面积大, 捕食飞虱、叶蝉若虫、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 低龄幼虫(古德祥等, 1989a)。广西稻田中存在 18 种隐翅虫, 亦以青翅蚁形隐翅虫数量多, 成为稻田隐翅虫类中的优势种, 其捕食能力强, 是稻田害虫的重要捕食性昆虫天敌(王助引, 1990)。应用酶联免疫吸附试验双抗体夹心法, 也证明青翅蚁形隐翅虫在稻田中捕食了白背飞虱 *Sogatella furcifera*、褐飞虱、稻纵卷叶螟幼虫与摇蚊 *Chironomus* sp., 稻红瓢虫 *Micraspis discolor* 捕食了白背飞虱与褐飞虱(刘雨芳等, 2002b)。青翅蚁形隐翅虫是稻田越冬害虫的主要捕食者(张娟等, 2010)与有机稻田中的优势性捕食性昆虫种群之一(钟平生等, 2010), 也是转基因水稻田间生态风险评价(程正新等, 2014)与杀虫剂评价(Khan *et al.*, 2018)重要的非靶标指示生物。

黑肩绿盲蝽成虫与若虫均捕食褐飞虱、白背飞虱、黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps*、稗飞虱的卵与若虫, 在湖南湘阴、长沙等地田间可见于每年的 6-10 月, 一年能发生 6-7 代, 与湖南的水稻种植时间与害虫防治需要相吻合(陈常铭等, 1981, 1985)。在江西省万载县茭湖乡的灯诱法

调查表明,黑肩绿盲蝽与田间褐飞虱种群数量发生高峰期一致(陈洪凡等,2015),黑肩绿盲蝽是转基因水稻生态风险评价(梁玉勇等,2014;蒋显斌等,2016)与施肥对捕食性昆虫的影响评价(吕仲贤等,2006)的重要指示生物。

尖钩宽尾蝽是稻田水面常见的捕食性天敌之一,是稻飞虱成虫、若虫期的重要捕食性天敌。在江西省万载县田间7月与8月为发生高峰期,分别与田间白背飞虱与褐飞虱种群数量发生高峰期一致(陈洪凡等,2015),对稻飞虱种群有较好控制作用。尖钩宽尾蝽是Bt水稻对捕食性昆虫捕食作用影响评价的非靶标指示生物(白耀宇等,2005)。

农田瓢虫资源非常丰富,是蚜虫类害虫的重要捕食性昆虫。陈常铭早在1980年报道了湖南农田捕食性瓢虫20属25种(陈常铭等,1980b)。其中龟纹瓢虫在许多作物系统中包括水稻生态系统中是常见而丰盛度较大的捕食性昆虫,它的幼虫和成虫捕食蚜虫、蓟马、蜘蛛螨和鳞翅目害虫的卵与幼虫,也取食水稻花粉。因此龟纹瓢虫成为评价转基因水稻安全性的非靶标指示生物之一,研究表明表达Cry1C或Cry2A与蛋白的转基因水稻对龟纹瓢虫没有不良影响(Li *et al.*, 2015),转Cry1Ab基因水稻KMD1与KMD2号不会通过食物链营养关系影响龟纹瓢虫的发育(Bai *et al.*, 2006)。七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 同样是蚜虫的优势性捕食性天敌,在农业生态系统的IPM策略中发挥着重要作用,被作为杀虫剂噻虫胺(Clothianidin)对瓢虫致死与亚致死剂量检测的指示生物(Jiang *et al.*, 2018)。

3 稻田寄生性昆虫亚群落及其利用

稻田寄生性昆虫资源丰富,它们与捕食性天敌联合作用,在控制水稻害虫种群数量方面起着经常且持久的调节作用与控制能力。寄生蜂如缨小蜂 *Anagrus* spp.、寡索赤眼蜂 *Oligosita* spp.和柄翅小蜂 *Gonatocerus* spp.是抑制稻田飞虱和叶蝉的重要生防因子,与其它防治技术协调能有效

地控制稻飞虱的暴发(俞晓平等,1998)。寄生于三化螟 *Scirpophaga incertulas* 的主要寄生蜂亚群落由稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum*、长腹黑卵蜂 *Telenomus rowani*、等腹黑卵蜂 *Telenomus dignus*、稻螟黑卵蜂 *Telenomus* sp.、螟卵啮小蜂 *Tetrastichus schoenobii*、螟黑瘦姬蜂 *Angitia chilonis*、三化螟驼姬蜂 *Amauromorpha schoenobii*、螟卵绒茧蜂 *Apanteles ruficrus* 等组成(马世骏,1979)。何俊华(1977)、(祝汝佐等(1976a, 1976b)报道寄生于稻螟蛉的寄生蜂亚群落由4种茧蜂、9种姬蜂、18种小蜂和细蜂组成,这些寄生蜂广泛分布于我国的稻作区。广东四会大沙镇稻田中调查获得寄生性天敌50多种。仅寄生于稻纵卷叶螟的寄生性天敌有19种,寄生于稻苞虫的有13种,重要的寄生蜂如纵卷叶螟绒茧蜂 *Apanteles cypris* 是控制重要水稻害虫的天敌物质基础(蒲蛰龙等,1984)。湖南长沙地区稻田中有稻飞虱、叶蝉类、稻螟虫类(主要为二化螟、三化螟)、稻纵卷叶螟、稻螟蛉、粘虫等主要水稻害虫的寄生性天敌34种(陈常铭,1982)。重庆市北碚区稻田寄生蜂群落由隶属15个科的91种寄生蜂组成,寄生主要水稻害虫上的寄生蜂种类有:稻纵卷叶螟26种,稻苞虫20种,二化螟18种,三化螟14种,稻螟蛉13种,大螟10种,飞虱类7种,稻蚜类4种,黑尾叶蝉3种,稻眼蝶3种,稻褐蝽1种(赵志模,1986)。在江西省万载县国家有机食品(稻米)生产基地的有机水稻生产区调查到2目8科28种寄生性昆虫(梁朝巍,2011)。通过对广东省四会市大沙镇稻田中褐飞虱卵期寄生蜂群落结构和动态进行研究,获得19种卵寄生蜂,隶属缨小蜂科和赤眼蜂科的6个属。其中稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae*、长管稻虱缨小蜂 *A. longitubulosus* 和拟稻虱缨小蜂 *A. paranilaparvatae* 是群落中的优势种群,它们对控制褐飞虱种群卵期的存活率起主要作用。在水稻生长前期、中期和后期,寄生蜂对褐飞虱卵的平均寄生率分别达到76%、70%和50%(毛润乾等,2002),非稻田生境中的寄生蜂资源是稻田寄生

蜂群落重建的重要种库(俞晓平和胡萃, 1996; 俞晓平等, 1998)。在稻田田埂上种蜜源植物芝麻 *Sesamum indicum* 既能促进水稻害虫褐飞虱的天敌亚群落, 芝麻花蜜也能提高水稻螟虫类寄生蜂亚群落中三个属的寄生蜂螟蛉绒茧蜂 *Apanteles ruficrus*、二化螟盘绒茧蜂 *Cotesia suppressa chilonis* 与螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* 成虫的存活率, 还能显著提高二化螟盘绒茧蜂的繁殖力(Zhu et al., 2015)。有益于对稻飞虱与水稻螟虫两类关键水稻害虫的调控。

4 稻田中性昆虫亚群落及其生态功能

稻田生态系中, 有一类昆虫既非水稻害虫又非害虫的天敌, 它们与水稻无直接营养关系, 被称为中性昆虫(吴进才等, 1994; 郭玉杰等, 1995; 徐建祥和吴进才, 1999; 刘雨芳和古德祥, 2002)。中性昆虫数量占整个稻田节肢动物群落丰盛度的 20%-60% (吴进才等, 1994), 甚至高达 90% (郭玉杰等, 1995), 在稻田昆虫群落食物网中起着重要的调节作用(郝树广等, 1998)。它们主要由双翅目的摇蚊、水蝇、毛蠓、蚊类、蜉蝣目蜉蝣科和弹尾目类昆虫等组成(徐建祥和吴进才, 1999)。我国对于稻田中性昆虫亚群落的研究, 可概述为两个主要方面: 一是研究它们在稻田生态系统中发挥着怎样的生态功能; 二是应用于田间生态安全评价的指示生物被研究。研究表明, 稻田中性昆虫构成了稻田捕食者猎物的重要组分, 在水稻生长前期, 成为稻田优势种捕食性天敌如食虫沟瘤蛛 *Ummeliata insecticeps*、锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa* 的主要猎物, 结网类捕食者与中性昆虫相对丰盛度的季节动态呈正相关(郭玉杰等, 1995)。拟环纹豹蛛 *Pardosa pseudoannulata* 和草间小黑蛛 *Erigonidium garminicola* 喜食弹尾虫长角跳虫 *Salina* sp., 在水稻生长前期, 害虫未发生或数量很低, 中性昆虫作为替代猎物利于捕食性天敌亚群落的发生(庞保平等, 1998)。应用酶联免疫吸附试验双抗体夹心法检测, 获取了褶管巢蛛 *Clubiona*

corrugata、拟水狼蛛 *Pirata subpiraticus*、青翅蚁形隐翅虫等 13 种捕食性天敌捕食了稻田摇蚊的直接证据, 证明稻田摇蚊作为替代猎物的生态功能(刘雨芳等, 2002a, 2002b)。稻田中捕食性天敌亚群落的发生与重建, 以及其种类和数量的发生高峰期早于害虫, 间接说明稻田中捕食性天敌亚群落在水稻生长发育前期的重建主要依赖于稻田中性昆虫的存在。中性昆虫与水稻害虫的数量发生趋势明显互补, 而捕食性天敌的数量高峰滞后于中性昆虫, 二者又存在着明显的时间跟随关系, 说明稻田中性昆虫对捕食性天敌数量的增加及亚群落的重建与发展有积极的促进作用。作为天敌的补充猎物, 中性昆虫的存在, 使天敌在田间能维持一定的种群数量, 对于调节群落结构控制害虫具有积极意义(刘雨芳和古德祥, 2002)。但在水稻生长的中、后期, 如弹尾虫等中性昆虫的存在, 却可能会削弱捕食性天敌对害虫的控制作用(庞保平等, 1998)。

中性昆虫作为指示生物, 应用于种植转基因水稻的田间生态安全评价, 或直接比较研究其种群数量动态, 或依然作为稻田捕食性天敌的重要补充猎物, 通过取食关系与稻田节肢动物群落发生密切联系, 研究其对生活于种植转 Bt 基因水稻“逆境”的响应。白耀宇等(2005, 2006)利用稻田中性昆虫蜉蝣目种类、摇蚊、鞘翅目甲虫种类及两种弹尾虫 灰橄榄长角跳虫 *Entomobrya griseoolivata* 和 钩圆跳虫 *Bourletiella christianseni* 等为指示生物, 获得了在田间表达 Cry1Ab 杀虫蛋白的 Bt 稻克螟稻 1 号和克螟稻 2 号不会影响稻田中性昆虫的结果, 也不会影响稻田捕食性天敌尖钩宽尾蛛对灰橄榄长角跳虫和钩圆跳虫的捕食效能。摇蚊幼虫作为稻田底栖动物的主要组成成份, 其种类与数量发生动态, 在转 Cry1Ab/Ac 基因抗虫水稻稻田与常规稻稻田中没有显著差异(桂芳艳等, 2015a, 2015b)。

5 水稻害虫亚群落及其防治

研究稻田昆虫群落, 不管是开展稻田捕食性天敌、寄生性天敌与中性昆虫功能团的研究, 还

是对水稻害虫亚群落本体的研究,均是以寻求对水稻病虫害的治理及有效、可持续控制为目标的研究,重点关注主要水稻害虫种群。害虫对水稻为害方式主要有两种,一是取食造成直接危害,二是作为介体昆虫传播病毒,使水稻感染病毒造成对水稻的加害。对水稻害虫种群研究内容主要体现在:重要水稻害虫的生命表参数及发生规律(古德祥等,1989b;萧铁光和陈常铭,1992)、重要水稻害虫的迁飞与灾变(程遐年等,1979;张孝羲等,1980)、害虫防治研究(程家安和祝增荣,2017)(药剂防治与抗性、生物防治、生态工程防治、生物技术防治等)、介体昆虫(谢联辉和林奇英,1980)与稻田入侵害虫(狄雪堦等,2015)、环境安全评价指标生物(刘雨芳等,2007)等。基于主题,本文将忽略水稻介体昆虫的研究综述。

作为分析环境因素对昆虫种群数量变动影响的重要方法,生命表既可用种群增长指数进行昆虫数量发展趋势的估计,也可用于分析关键因素和对天敌作用进行评价(马世骏,1979)。在20世纪60年代始,稻纵卷叶螟(汤鉴球,1991)、三化螟(黄立端等,1982)、褐飞虱(萧铁光和陈常铭,1992)、白背飞虱(叶正襄等,1992)、灰飞虱(李伟等,2009)的种群生命表被广泛研究。对广东省阳江县海陵岛6年的稻纵卷叶螟第2代生命表的资料分析,若排除寄生性天敌与捕食性天敌引起的稻纵卷叶螟死亡,海陵岛第2代稻纵卷叶螟的种群增长指数将为29.43,说明寄生性和捕食性天敌在控制稻纵卷叶螟种群动态中发挥着重要作用(汤鉴球,1991)。用生命表方法研究稻纵卷叶螟自然种群数量动态,宜采用系统调查法辅以天敌排除法。通过对三化螟田间自然种群的生命表参数研究,在广东湛江地区自然条件下,得知冬季环境条件是三化螟种群生存的薄弱环节,此期加强有效措施防治三化螟能事半功倍(黄立端等,1982)。研究长沙地区褐飞虱8个世代的生命表,表明捕食性和寄生性天敌是控制褐飞虱种群数量的关键因素(萧铁光和陈常铭,1992)。

迁飞让昆虫实现了空间与生境上离开不利于其生存与种群延续的环境,是对环境适应、寻觅新生境的一种行为方式与策略。我国继20世纪50年代对粘虫 *Mythimna separata* (杂食性害虫,为害玉米、水稻、麦类、高粱等禾谷类作物及禾本科牧草) 迁飞开展研究,随后水稻主要害虫稻纵卷叶螟与稻飞虱(褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱)的迁飞也被重点关注。如开展褐飞虱迁飞规律的研究(程遐年等,1979),稻纵卷叶螟迁飞路径的研究(张孝羲等,1980),随后,水稻害虫迁飞生物学(罗举等,2011)、害虫体内能源物质与迁飞的关系(张孝羲等,1983)、迁飞与气象条件的关系(陈晓等,2013)、卵巢发育、交配与迁飞(陈若簏等,1979;黄学飞等,2010)、迁入地虫源分析(吴秋琳等,2015)、大发生特征与预报(包云轩等,1999)、害虫迁飞的数值模拟(刘垚等,2017)等得到广泛研究。褐飞虱是一种对水稻有明显专食性的长距离迁飞性害虫,没有真正的滞育越冬特性。终年繁殖区位于北纬19°以南的海南岛南端,我国广大稻区第二年春、夏季突然增长的长翅型成虫,是由南方终年繁殖区迁飞而来,且秋季又由北向南回迁越冬(程遐年等,1979)。除温度与食料等不适宜条件引起褐飞虱卵巢停止发育,出现迁飞外,气流场、温场、位势高度场等要素在时空分布上的有效配合是推动褐飞虱起飞、迁移和降落的关键气象要素(包云轩等,1999)。低空急流的时空分布和强度变化对褐飞虱降虫时段、降虫范围、降虫量、主降虫区位置的选择有重要的影响(包云轩等,2009)。稻纵卷叶螟在我国是一种逐代、逐区、季节性往返、且无固定虫源基地的迁飞性害虫,其周年为害区位于我国大陆1月平均气温16℃等温线以南地区,常年越冬区在广东广西大部分和福建南部(张孝羲等,1980)。850 hPa、925 hPa等压面上的水平流场、垂直气流场和散度场特征分布对预测稻纵卷叶螟的迁入和降落具有很好的指示意义,有较强的下沉气流存在时,有利于稻纵卷叶螟降虫,从虫源地到迁入地之间有比较一致的偏南气流或有相对均一的偏北气流,分别是稻纵卷叶螟北迁或南迁的气流条件,

而水平风场上的气旋式曲率区有利于害虫的起飞迁出,反气旋式曲率区则有利于其迁入降落(王翠花等, 2006)。

水稻害虫亚群落也被作为指示生物应用于转基因抗虫水稻的安全评价中。转 cry1Ac/sck 双基因抗虫水稻对水稻害虫亚群落中的关键非靶标水稻害虫数量没有明显影响(刘雨芳等, 2007)。白背飞虱、褐飞虱、黑尾叶蝉、白翅叶蝉 *Erythroneura subrufa* 和电光叶蝉 *Deltapcephalus dorsalis* 等非靶标水稻害虫对表达 Cry1Ab/AC 或 CpTI+Cry1Ac 或 Cry1Ab 等蛋白的转基因水稻没有明显偏好性(Chen *et al.*, 2006)。

围绕水稻害虫防治中心问题开展研究的论文信息非常多,仅 CNKI 数据库中以“全文=水稻害虫防治”为条件,检索得到 22 420 条期刊论文记录。被防治的主要水稻害虫主题及其频率依次为:稻纵卷叶螟 3 386、白背飞虱(白背稻虱) 2 554、稻飞虱 2 160、灰飞虱 1 859、褐飞虱 1 703、三化螟 1 306、二化螟 1 102。对这些害虫的研究内容前 10 位主题词及其频率依次为:防治效果 1 034、病虫害防治 944、农药剂型 872、化学污染物 834、稻作病害 643、药剂防治 601、同型幼虫 502、防治对策 487、综合防治 445、发生特点 421。当以“摘要=水稻害虫防治”为条件时,也得到了期刊论文记录 2 518 条,被防治的主要水稻害虫主题词及其频率依次为:稻纵卷叶螟 363、稻飞虱 331、二化螟 285、褐飞虱(褐稻虱) 233、白背飞虱(白背稻虱) 222、三化螟 151、稻水象甲(稻根象) 144、水稻螟虫 53。对这些害虫的研究内容的主题词及频率依次为:防治效果 155、农药剂型 107、化学污染物 78、综合防治 76、发生规律 70、同型幼虫 69、防治对策 63、药剂防治 61(以上检索日期均为 2018-12-30)。综合分析上述信息可知,对水稻害虫防治研究重点在水稻螟虫类(稻纵卷叶螟、二化螟与三化螟)、稻飞虱(白背飞虱、褐飞虱与灰飞虱)及入侵害虫稻水象甲。重点关注防治效果与防治策略研究,从文献体量分析可知,药剂防治研究比重较大。天敌生物防治、灯诱等物理防治、生态工程控制、应用转基因技术

培育抗虫品种的生物防治也被广泛研究。

6 展望

水稻是中国最广泛种植的主粮农作物之一。笔者长期的水稻田间实践体验以及与水稻生产的密切接触,深刻体会到中国水稻生产在发生着悄然的变化。随着我国经济体制改革与土地利用方式的改变,农业劳动力大量流向城市,同时农业现代机械化的发展,加速了农业种植模式与耕作方式的变化。传统的人工翻耕向免耕发展、育秧手工移栽向直播与机械抛秧等转变,人力除草被各种高效的化学除草剂代替,可以一年二季的生产区域部分地发展为一年单季。田埂、沟渠等非稻非作物生境,常被广泛地施用除草剂等等。这些改变,无疑地改变了稻田昆虫、尤其是捕食性与寄生性昆虫的小栖境与庇护所,有些甚至构成了对它们的生存胁迫。当大范围的土地利用发生变化时,农业景观也随之发生变化,这些变化均会对农业昆虫、稻田昆虫多样性产生重要影响,需要昆虫学研究者、生态学研究者加以关注。以组、村等单位的小范围集体虫情预报而获得具有针对性的水稻病虫害防治指导,逐步转变为以乡、镇或更大范围的虫情通报与通防通治的水稻病虫害防治指南,这与重要水稻害虫为迁飞害虫、以及物种通常在田间属集聚分布的实际情况所需的防治指导存在较大差距,这也是造成多品种杀虫剂与过量杀虫剂的在田间与生产实践中过度施用的重要原因之一,而这又直接影响稻田昆虫、特别是天敌昆虫的物种丰富度、种群数量与稳定性,从而直接减弱天敌对水稻害虫的生态调控作用。

稻田昆虫群落作为稻田节肢动物群落的重要组成部分,以及稻田蜘蛛亚群落是稻田捕食性天敌的重要组成部分之一,因此,稻田昆虫群落、稻田蜘蛛群落、稻田节肢动物群落研究内容常互相渗透、交叉与缠绕,特别是对稻田捕食性昆虫群落的研究内容常被淹没于稻田捕食性天敌群落或稻田节肢动物群落中。研究稻田昆虫群落及其生态功能,掌握在不断变化条件下各种群的变化规律以及种群间的相互作用机制,为水稻的害虫

绿色防控与生态安全生产提供理论基础与科学依据,需要不断培养以掌握昆虫学与生态学知识为主的、具较宽厚的农学与生物学学科基础知识的宽口径研究人才队伍。尽管从 20 世纪 50 年代以来至今,我国已有很多专家在开展水稻害虫的生物防治研究与生态调控研究,但因为田间研究的生态性、复杂性以及重要水稻害虫的迁飞性,决定了该领域研究的基础性、地域性、个案性、不可批量性、不可替代性、长期性与艰巨性,需要引起重视。

参考文献 (References)

- An RJ, Shi K, Li YY, Zhang DM, 2012. Survey research on species of predatory natural enemy in paddy ecosystem of Tongliao areas. *Journal of Agriculture*, 2(2): 21–25. [安瑞军, 石凯, 李媛媛, 张冬梅, 2012. 通辽地区稻田生态系统捕食性天敌种类的调查研究. 农学学报, 2(2): 21–25.]
- Bai YY, Jiang MX, Cheng JA, 2005. Impacts of transgenic cry1Ab rice on two collembolan species and predation of *Microvelia horvathi* (Hemiptera: Veliidae). *Acta Entomologica Sinica*, 48(1): 42–47. [白耀宇, 蒋明星, 程家安, 2005. 转 Bt 基因水稻对两种弹尾虫及尖钩宽尾蝽捕食作用的影响. 昆虫学报, 48(1): 42–47.]
- Bai YY, Jiang MX, Cheng JA, 2006. Residues of cry1Ab insecticidal protein in water released from Bt rice tissue litter and surveying of three aquatic insect groups in Bt rice fields. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 24(1): 25–28. [白耀宇, 蒋明星, 程家安, 2006. Bt 稻 Cry1Ab 杀虫蛋白在水体中的残留和 Bt 稻田三类水生昆虫数量调查. 四川农业大学学报, 24(1): 25–28.]
- Bao YX, Cheng JY, Cheng XN, 1999. Analysis on the meteorological backgrounds for the greatevents of *Nilaparvata lugens*' long-distance migration northward during midsummers in China. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 22(4): 35–40. [包云轩, 程极益, 程遐年, 1999. 盛夏褐飞虱北迁大发生的气象背景: 个例分析. 南京农业大学学报, 22(4): 35–40.]
- Bao YX, Xie J, Xiang Y, Xu XY, Liu Y, 2009. Influence of low-level jets on the great events of BPH's migration northward in China. *Acta Ecologica Sinica*, 29(11): 5773–5782. [包云轩, 谢杰, 向勇, 徐希燕, 刘宇, 2009. 低空急流对中国褐飞虱重大北迁过程的影响. 生态学报, 29(11): 5773–5782.]
- Chen CM, 1954. The occurrence of insect pests. *Scientia Agricultura Sinica*, 4(12): 645. [陈常铭, 1954. 关于害虫的发生规律. 农业科学通讯, 4(12): 645.]
- Chen CM, 1982. Research on the dynamic OF insect communities in the fields in Changsha. *Journal of Hunan Agricultural College*, (1): 47–56. [陈常铭, 1982. 长沙地区稻田昆虫群落动态的研究. 湖南农学院学报, (1): 47–56.]
- Chen CM, Liu SL, 1963. Dynamics of the populations and communitites of rice insect pests in the bank of dung-ting lake region, Hunan. *Acta Entomologica Sinica*, 12(5/6): 649–657. [陈常铭, 刘仕龙, 1963. 湖南滨湖区水稻害虫发生动态. 昆虫学报, 12(5/6): 649–657.]
- Chen CM, Song HY, Xiao TG, 1980a. Insect resources of natural enemy in rice field in Hunan province. *Journal of Hunan Agricultural College*, (1): 35–46. [陈常铭, 宋慧英, 肖铁光, 1980a. 湖南稻田天敌昆虫资源. 湖南农学院学报, (1): 35–46.]
- Chen CM, Xiao TG, Hu SH, 1981. Preliminary observation of biological characteristics on *Cyrtorrhinus lividipennis* Reuter. *Journal of Hunan Agricultural College*, (3): 15–20. [陈常铭, 肖铁光, 胡淑恒, 1981. 黑肩绿盲蝽 *Cyrtorrhinus lividipennis* Reuter 生物学特性初步观察. 湖南农学院学报, (3): 15–20.]
- Chen CM, Xiao TG, Hu SH, 1985. Preliminary studies on mirid, *Cyrtorrhinus lividipennis* Reuter, a predator against brown planthopper and green leafhopper. *Acta Phytophylacica Sinica*, 12(1): 69–73. [陈常铭, 肖铁光, 胡淑恒, 1985. 黑肩绿盲蝽的初步研究. 植物保护学报, 12(1): 69–73.]
- Chen CM, Xiong SL, Dong JY, Xiao TG, Song HY, Li QX, 1980b. Predatory ladybirds in agricultural field. *Journal of Hunan Agricultural College*, (3): 27–40. [陈常铭, 熊淑琳, 董俊琦, 肖铁光, 宋慧英, 李清香, 1980b. 农田捕食性瓢虫. 湖南农学院学报, (3): 27–40.]
- Chen HF, Huang JH, Wang LS, 2015. Danamic analysis of rice planthoppers and their natural enemy population quantity under the trap. *Journal of Shanxi Agricultural University (Nature Science Edition)*, 35(2): 175–178. [陈洪凡, 黄建华, 王丽思, 2015. 诱虫灯下稻飞虱及其天敌种群数量动态分析. 山西农业大学学报(自然科学版), 35(2): 175–178.]
- Chen M, Zhao JZ, Ye GY, Fu Q, Shelton AM, 2006. Impact of insectresistant transgenic rice on target insect pests and non-target arthropods in China. *Insect Science*, 13(6): 409–420.
- Chen RC, Chen XN, Yang LM, Yin XD, 1979. The ovarial development of the brown plantopper (*Nilaparvata Lugens* Stal) and it's relation to migration. *Acta Entomologica Sinica*, 22(3): 280–288. [陈若麓, 程遐年, 杨联民, 殷向东, 1979. 褐飞虱卵巢发育及其与迁飞的关系. 昆虫学报, 22(3): 280–288.]
- Chen X, Liu WC, Zhu JS, Zhang XX, Zhai BP, 2013. Climatic factors influencing the 2003 outbreak of *Cnaphalocrocis medinalis* in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 615–621. [陈晓, 刘万才, 朱建生, 张孝羲, 翟保平, 2013. 2003 年我国稻纵卷叶螟特大发生的气候背景. 应用昆虫学报, 50(3): 615–621.]

- 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 XN, Chen RC, Xi X, Yang LM, Zhu ZL, Wu JC, Qian RG, Yang JS, 1979. Studies on the migrations of brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stal. *Acta Entomologica Sinica*, 22(1): 1–21. [程遐年, 陈若麓, 习学, 杨联民, 朱子龙, 吴进才, 钱仁贵, 杨金生, 1979. 稻褐飞虱迁飞规律的研究. 昆虫学报, 22(1): 1–21.]
- Cheng ZX, Huang JH, Liang YY, Cheng SD, Xiong HB, Chen NP, Hu SX, 2014. Effect of transgenic Bt rice on the survival rate and predation of *Paederus fuscipes* Curtis adults. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1184–1189. [程正新, 黄建华, 梁玉勇, 程森弟, 熊焕保, 陈南萍, 胡水秀, 2014. Bt 水稻对青翅蚁形隐翅虫存活及捕食功能的影响. 应用昆虫学报, 51(5): 1184–1189.]
- Di XY, Yang MF, Xu J, Yan B, Han C, Ji YQ, Li X, 2015. Studies on the harm loss and economic threshold of *Lissorhoptus oryzophilus* Kuschel in Guizhou. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(6): 1474–1481. [狄雪堰, 杨茂发, 徐进, 严斌, 韩畅, 吉永权, 黎行, 2015. 贵州稻水象甲危害损失和防治指标研究. 应用昆虫学报, 52(6): 1474–1481.]
- Dong C, Lu ZB, Wang L, Chang XF, Wang F, Yao HW, Peng YF, David S, Ye GY, 2017. Does Bt rice pose risks to non-target arthropods? Results of a meta-analysis in China. *Plant Biotechnology Journal*, 15(8): 1047–1053.
- Gao MQ, Hou SP, Pu DQ, Shi M, Ye GY, Chen XX, 2010. Multi-generation effects of Bt rice on *Anagrus nilaparvatae*, a parasitoid of the nontarget pest *Nilapavarta lugens*. *Environmental Entomology*, 39(6): 2039–2044.
- Ge F, Chen CM, 1990a. The respiratory metabolism and energy expenditure of the brown planthopper *Nilapavata lugens* and the spider *Theridion octomaculatnm*. *Acta Entomologica Sinica*, 33(1): 35–42. [戈峰, 陈常铭, 1990a. 褐飞虱和八斑球腹蛛的呼吸代谢及其能量消耗. 昆虫学报, 33(1): 35–42.]
- Ge F, Chen CM, 1990b. The energy flow through rich/brown planthopper/*Theridion octomaculatum* ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 10(2): 167–172. [戈峰, 陈常铭, 1990b. 水稻-褐飞虱-八斑球腹蛛生态系统的能流. 生态学报, 10(2): 167–172.]
- Gu DX, Lin YZ, Zhou HH, 1989a. An evaluation of the importance of rove beetle, *Paederus fuscipes* (Col.: Staphylinidae), among the predators of rice pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 5(1): 13–15. [古德祥, 林一中, 周汉辉, 1989a. 青翅蚁形隐翅虫在稻田捕食性天敌中的地位与作用. 生物防治通报, 5(1): 13–15.]
- Gu DX, Zhou CQ, Tang JQ, 1989b. The mean life tables of natural population of rice leaf-roller, *Cnaphlocrocis medinalis* Guenee. *Supplement to the Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 8(1): 37–43. [古德祥, 周昌清, 汤鉴球, 1989b. 稻纵卷叶螟自然种群平均生命表. 中山大学学报论丛, 8(1): 37–43.]
- Gui FY, Liu YF, Mo SY, Sun LC, Liu WH, Ge F, 2015a. Ecological safety of transgenic *Cry1Ab/Ac* rice on zoobenthos community in paddy fields. *Journal of Plant Protection*, 42(5): 715–723. [桂芳艳, 刘雨芳, 莫书银, 孙丽川, 刘文海, 戈峰, 2015a. 转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻对稻田底栖动物群落的生态安全性. 植物保护学报, 42(5): 715–723.]
- Gui FY, Liu YF, Mo SY, Sun LC, Sun YD, Liu WH, Ge F, 2015b. Effects of transgenic *Cry1Ab/Ac* rice on zoobenthos communities in paddy fields. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 23(9): 1178–1184. [桂芳艳, 刘雨芳, 莫书银, 孙丽川, 孙远东, 刘文海, 戈峰, 2015b. 转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻对稻田底栖动物群落的影响. 中国生态农业学报, 23(9): 1178–1184.]
- Guo YJ, Wang NY, Jiang JW, Chen JW, Kang J, 1995. Ecological significance of neutral insects as nutrient bridge for predators in irrigated rice arthropod community. *Chinese Journal of Biological Control*, 11(1): 6–10. [郭玉杰, 王念英, 蒋金炜, 陈俊炜, 唐建, 1995. 中性昆虫在稻田节肢动物群落中作为捕食者营养桥梁作用的研究. 中国生物防治, 11(1): 6–10.]
- Hao SG, Zhang XX, Cheng XN, Luo YJ, Tian XZ, 1998. The dynamics of biodiversity and the composition of nutrition classes and dominant guilds of arthropoda community in paddy field. *Acta Entomologica Sinica*, 41(4): 343–353. [郝树广, 张孝羲, 程遐年, 罗跃进, 田学志, 1998. 稻田节肢动物群落营养层及优势功能集团的组成与多样性动态. 昆虫学报, 41(4): 343–353.]
- He JH, 1977. Parasitoids of *Naranga aenescens* Moore (III): Chalcididae and Serphidae. *Entomological Knowledge*, 14(6): 163–169. [何俊华, 1977. 稻螟蛉的寄生蜂(三)-小蜂和细蜂. 昆虫知识, 14(6): 163–169.]
- Huang DC, Liang GW, Zeng L, Zou SF, Lai XH, 2005. The enemy resource investigation of insect pests in different rice fields. *Natural Enemies of Insects*, 27(4): 145–152. [黄德超, 梁广文, 曾玲, 邹寿发, 赖信红, 2005. 不同耕种稻田昆虫天敌资源调查. 昆虫天敌, 27(4): 145–152.]
- Huang LR, Luo JH, Hu JB, Tan XQ, Wu XG, Huang RX, Peng JS, Ou JF, Ye ZH, 1982. A preliminary report on the life table of the *Chilo suppressalis*. *Entomological Knowledge*, 19(3): 3–8. [黄立端, 罗巨汉, 胡景斌, 谭信群, 郭祥光, 黄瑞勋, 彭金山, 欧建夫, 叶振华, 1982. 三化螟生命表的初报. 昆虫知识, 19(3): 3–8.]

- 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. [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.]
- Jiang JG, Zhang ZQ, Yu X, Ma DC, Yu CH, Liu F, Mu W, 2018. Influence of lethal and sublethal exposure to clothianidin on the seven-spotted lady beetle, *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 161: 208–213.
- Jiang MX, Cheng JA, 2004. Effects of manure use on seasonal patterns of arthropods in rice with special reference to modified biological control of whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* Horvath (Homoptera: Delphacidae). *Journal of Pest Science*, 77(4): 185–189.
- Jiang XB, Huang Q, Ling Y, Chen YC, Wu BQ, Huang SS, Li C, Fu CQ, Huang FK, Long LP, 2016. Ecological risk assessment of transgenic rice by using the facultative feeding of *Cyrtorhinus lividipennis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 32(3): 311–317. [蒋显斌, 黄芊, 凌炎, 陈玉冲, 吴碧球, 黄所生, 李成, 符诚强, 黄凤宽, 龙丽萍, 2016. 利用黑肩绿盲蝽兼性取食特性评价转基因水稻生态风险. 中国生物防治学报, 32(3): 311–317.]
- Ke HY, Zhao SF, Ahao MH, Wang JG, Sun JY, Xu YH, Li J, Hao GS, Pan J, 2014. A preliminary investigation of the insect communities and their structures under the lamp in rice field in the northwest of Zhejiang province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(7): 280–285. [柯汉云, 赵帅锋, 邵美红, 汪建国, 孙加焱, 徐云红, 李静, 郝国双, 潘佳, 2014. 浙西北稻田灯下昆虫群落结构分析初报. 中国农学通报, 30(7): 280–285.]
- Khan MM, Nawaz M, Hua HX, Cai WL, Zhao J, 2018. Lethal and sublethal effects of emamectin benzoate on the rove beetle, *Paederus fuscipes*, a non-target predator of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 165: 19–24.
- Li YH, Zhang XJ, Chen XP, Jörg R, Yin XM, Peng YF, 2015. Consumption of Bt rice pollen containing Cry1C or Cry2A does not pose a risk to *Propylea japonica* (Thunberg) (Coleoptera: Coccinellidae). *Scientific Reports*, 5: 7679.
- Li W, Guo HF, Wang RF, Liu BS, Zhong WF, Fang JC, 2009. Comparison of the life tables of *Laodelphax striatellus* (Homoptera: Delphacidae) on different host plants. *Acta Entomologica Sinica*, 52(5): 531–536. [李伟, 郭慧芳, 王荣富, 刘宝生, 钟万芳, 方继朝, 2009. 不同寄主植物上灰飞虱种群生命表的比较. 昆虫学报, 52(5): 531–536.]
- Liang CW, 2011. Investigation on resources of natural enemies in organic rice fields of Jiangxi province. *Shandong Agricultural Sciences*, (9): 94–98. [梁朝巍, 2011. 江西省有机稻米生产基地天敌昆虫资源调查. 山东农业科学, (9): 94–98.]
- Liang YY, Cheng ZX, Cheng SD, Qin HG, Xiong HB, Chen NP, Hu SX, 2014. Effect of transgenic Bt rice on the population dynamics of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) and two of its natural enemies. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1163–1172. [梁玉勇, 程正新, 程森弟, 秦厚国, 熊焕保, 陈南萍, 胡水秀, 2014. Bt 水稻对褐飞虱及其二种天敌种群动态的影响. 应用昆虫学报, 51(5): 1163–1172.]
- Lin S, You MS, Yang G, Chen LL, 2011. Can polycultural manipulation effectively control rice planthoppers in rice-based ecosystems? *Crop Protection*, 30(3): 279–284.
- Liu Y, Bao YX, Lu MH, Liu WC, 2017. A modeling study of *Nilaparvata lugens*' return migration by using WRF-Flexpart. *Acta Ecologica Sinica*, 37(13): 4466–4475. [刘垚, 包云轩, 陆明红, 刘万才, 2017. 基于 WRF-Flexpart 的一次褐飞虱回迁过程模拟研究. 生态学报, 37(13): 4466–4475.]
- Liu YH, Duan MC, Yu ZR, 2013. Agricultural landscapes and biodiversity in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 166: 46–54.
- Liu YF, Gu DX, 2002. The diversity and the ecological significance analysis of neutral insects in irrigated rice fields. *Chinese Journal of Biological Control*, 18(4): 149–152. [刘雨芳, 古德祥, 2002. 稻田中性昆虫多样性及其生态功能分析. 中国生物防治, 18(4): 149–152.]
- Liu YF, Gu DX, Zhang GR, 2003. The community dynamics of predatory arthropods in both weed habitat and paddy field from a double cropping paddy in Guangdong. *Acta Entomologica Sinica*, 46(5): 591–597. [刘雨芳, 古德祥, 张古忍, 2003. 广东双季稻田杂草和稻田中捕食性节肢动物的群落动态. 昆虫学报, 46(5): 591–597.]
- Liu YF, Gu DX, Zhang GR, Chen D, Wen RZ, 2002a. Enzyme-linked immunosorbent assay used to explore the predation of *Chironomus* sp. (Diptera Chironomidae) by predators in paddy fields. *Acta Ecologica Sinica*, 22(10): 1699–1703. [刘雨芳, 古德祥, 张古忍, 陈东, 温瑞贞, 2002a. 用 ELISA 方法检测稻田捕食者对摇蚊的捕食作用. 生态学报, 22(10): 1699–1703.]
- Liu YF, Gui FY, Mo SY, Sun LC, Ge F, 2015. Sampling technologies and collecting methods for aquatic insects in rice paddy fields and their application. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(3): 770–775. [刘雨芳, 桂芳艳, 莫书银, 孙丽川, 戈峰, 2015. 稻田水生昆虫的采样技术方法与应用. 应用昆虫学报, 52(3): 770–775.]
- Liu YF, He L, Wang Q, Hu SQ, Liu WH, Chen GG, 2007. Effects of and ecological safety insect-resistant *Cry1Ac/sck* transgenic rice

- on key non-target pests in paddy fields. *Scientia Agricultura Sinica*, 40(6): 1181–1189. [刘雨芳, 贺玲, 汪琼, 胡斯琴, 刘文海, 陈康贵, 2007. 转 cry1Ac/sck 基因抗虫水稻对稻田主要非靶标害虫的田间影响评价. *中国农业科学*, 40(6): 1181–1189.]
- Liu YF, Zhang GR, Gu DX, 1999. Investigating the arthropods community in paddy fields using a suction machine. *Plant Protection*, 25(6): 39–40. [刘雨芳, 张古忍, 古德祥, 1999. 利用改装的吸虫器研究稻田节肢动物群落. *植物保护*, 25(6): 39–40.]
- Liu YF, Zhang GR, Gu DX, Wen RZ, 2002b. Enzyme-linked immunosorbent assay used to detect the food relationships of the arthropods in paddy fields. *Acta Entomologica Sinica*, 45(3): 352–358. [刘雨芳, 张古忍, 古德祥, 温瑞贞, 2002b. 用 ELISA 方法研究稻田节肢动物的食物关系. *昆虫学报*, 45(3): 352–358.]
- Lou YG, Zhang GR, Zhang WQ, Hu Y, Zhang J, 2014. Biological control of rice insect pests in China. *Biological Control*, 68(1): 103–116.
- Luo J, Wang YK, Zhang XX, Zhai BP, 2011. Migratory biology of the white backed planthopper: Take-off and emigration. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1202–1212. [罗举, 汪远昆, 张孝羲, 翟保平, 2011. 白背飞虱的迁飞生物学: 起飞与迁出. *应用昆虫学报*, 48(5): 1202–1212.]
- Lu ZX, Yu XP, Heong KL, Hu C, 2006. Impact of nitrogen fertilizer on natural control capacities of invertebrate predators and parasitoids and its demonstration in rice-based ecosystem. *Acta Agricultrae Zhejiangensis*, 18(2): 128–132. [吕仲贤, 俞晓平, Heong KL, 胡萃, 2006. 氮肥对天敌自然控制作用的影响及其在稻田生态系统中的例证. *浙江农业学报*, 18(2): 128–132.]
- Ma SJ, 1979. Insect ecology in the people's republic of China. *Acta Entomologica Sinica*, 22(3): 257–266. [马世骏, 1979. 中国昆虫生态学三十年. *昆虫学报*, 22(3): 257–266.]
- Mao RQ, Gu DX, Zhang GR, Zhang WQ, 2002. A preliminary investigation on structure and dynamics of egg parasitoid community on the brown planthopper in rice field. *Acta Entomologica Sinica*, 45(3): 408–412. [毛润乾, 古德祥, 张古忍, 张文庆, 2002. 稻田飞虱卵寄生蜂群落结构和动态的初步研究. *昆虫学报*, 45(3): 408–412.]
- Pang BP, Cheng JA, Wang QF, 1998. On the functional response and preference of two paddyfield spiders to a springtail. *Acta Phytophylacica Sinica*, 25(3): 193–196. [庞保平, 程家安, 王启法, 1998. 稻田蜘蛛对弹尾虫的功能反应及选择作用. *植物保护学报*, 25(3): 193–196.]
- Pu ZL, Gu DX, Zhou HH, Tang JQ, Zhang RJ, Zhang XD, 1984. Integrated control of rice pest insects in Dasha township, Sihui County, Guangdong Province. *Scientia Agricultura Sinica*, 26(4): 73–80. [蒲蛰龙, 古德祥, 周汉辉, 汤鉴球, 张润杰, 张宣达, 1984. 大沙区水稻害虫综合防治研究. *中国农业科学*, 26(4): 73–80.]
- Qiu LM, Wei H, Fu JW, Li JY, Wu W, Zhang ZX, 2007. Population dynamics and chemical control of rice water weevil, *Lissorhoptrus oryzophilus*. *Entomological Journal of East China*, 16(1): 36–40, 80. [邱良妙, 魏辉, 傅建伟, 李建宇, 吴玮, 占志雄, 2007. 稻水象甲田间种群动态及化学控制技术. *华东昆虫学报*, 16(1): 36–40, 80.]
- Tang JQ, 1991. Life table of rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis*. *Entomological Knowledge*, 28(5): 305–307. [汤鉴球, 1991. 稻纵卷叶螟生命表. *昆虫知识*, 28(5): 305–307.]
- Wan FH, Chen CM, 1986. Studies on the structure of the rice pest-natural enemy community and diversity under ipm area and chemical control area. *Acta Ecologica Sinica*, 6(2): 159–170. [万方浩, 陈常铭, 1986. 综防区和化防区稻田害虫-天敌群落组成及多样性的研究. *生态学报*, 6(2): 159–170.]
- Wang CH, Bao YX, Wang JQ, Xiang Y, Zhai BP, 2006. Analysis on atmospheric dynamical mechanisms for the great immigration events of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee in 2003. *Acta Entomologica Sinica*, 49(4): 604–612. [王翠花, 包云轩, 王建强, 向勇, 翟保平, 2006. 2003 年稻纵卷叶螟重大迁入过程的大气动力机制分析. *昆虫学报*, 49(4): 604–612.]
- Wang ZY, 1990. Species and distribution of staphylinidae on rice field in Guangxi. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 3(4): 75–80. [王助引, 1990. 广西稻田隐翅虫已知种及其分布. *西南农业学报*, 3(4): 75–80.]
- Wu JC, Hu GW, Tang J, Shu ZL, Yang JS, Wang ZN, Ren ZC, 1994. Studies on the regulation effect of neutral insect on the community food web in paddy field. *Acta Ecologica Sinica*, 14(4): 381–386. [吴进才, 胡国文, 唐健, 束兆林, 杨金生, 万志农, 任正才, 1994. 稻田中性昆虫对群落食物网的调控作用. *生态学报*, 14(4): 381–386.]
- Wu QL, Hu G, Lu MH, Wang B, Zhu XX, Li F, Zhang ZG, Zhai BP, 2015. Mesoscale source areas and landing mechanisms of the early immigrant white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in Hunan province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 35(22): 7397–7417. [吴秋琳, 胡高, 陆明红, 王标, 朱秀秀, 栗芳, 张仲刚, 翟保平, 2015. 湖南白背飞虱前期迁入种群中小尺度虫源地及降落机制. *生态学报*, 35(22): 7397–7417.]
- Xiao TG, Chen CM, 1992. Primary studies on life table of natural population of brown planthopper. *Journal of Hunan Agricultural College*, 18(4): 951–958. [萧铁光, 陈常铭, 1992. 褐飞虱自然种群生命表的初步研究. *湖南农学院学报*, 18(4): 951–958.]
- Xiao TG, Tang JX, 2007. Effects of the susceptibility of rice varieties to *Sogatella furcifera* on nymphal development and reproduction of *Microvelia horvathi* through a food chain. *Insect Science*, 14(4): 317–321.

- Xie LH, Lin QY, 1980. Studies on the epidemic forecasting of rice transitory yellowing and rice dwarf diseases. *Journal of Fujian Agricultural College*, (2): 32–43. [谢联辉, 林奇英, 1980. 水稻黄叶病和矮缩病流行预测研究. 福建农学院学报, (2): 32–43.]
- Xu JX, Wu JC, 1999. On the significance, role and manipulating of neutral insects in paddy ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 18(5): 6, 41–44. [徐建祥, 吴进才, 1999. 综论稻田生态系中性昆虫的意义及其调控. 生态学杂志, 18(5): 6, 41–44.]
- Yang YJ, Liu K, Han HL, Xu HX, Zhang FC, Zheng XS, Tian J, Wang GY, Chen GH, Lu ZX, 2016. Impacts of nitrogen fertilizer on major insect pests and their predators in transgenic Bt rice lines T2A-1 and T1C-19. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 160(3): 281–291.
- Yao FL, You MS, 2017. Regulation of the movements of natural enemy guilds between different habitats in rice-based ecosystems by polycultural manipulation. *Journal of Plant Protection*, 44(6): 958–967. [姚凤奎, 尤民生, 2017. 多样化种植调控稻田天敌功能团在生境间的移动. 植物保护学报, 44(6): 958–967.]
- Yao FL, You MS, Vasseur L, Yang G, Zheng TK, 2012. Polycultural manipulation for better regulation of planthopper populations in irrigated rice-based ecosystems. *Crop Protection*, 34: 104–111.
- Ye ZX, Qin HG, Huang RH, 1992. On the experimental population life table of white-backed planthopper under different humidity conditions. *Journal of Plant Protection*, 19(4): 323–329. [叶正襄, 秦厚国, 黄荣华, 1992. 不同湿度下白背飞虱实验种群生命表. 植物保护学报, 19(4): 323–329.]
- Yu XP, Hu C, 1996. Effects of non-rice habitats on the egg parasitoids of rice planthoppers. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 22(2): 115–120. [俞晓平, 胡萃, 1996. 非稻田生境与稻飞虱卵期主要寄生蜂的关系. 浙江农业大学学报, 22(2): 115–120.]
- Yu XP, Hu C, Heong KL, 1998. Parasitization and preference characteristics of egg parasitoids from various habitats to homopterans. *Acta Entomologica Sinica*, 41(1): 42–48. [俞晓平, 胡萃, Heong KL, 1998. 不同生境源的稻飞虱卵寄生蜂对寄主的选择和寄生特性. 昆虫学报, 41(1): 42–48.]
- Zhang J, Zeng L, Liang GW, Lu YY, 2010. Dynamics and spatial pattern of arthropod community in over wintering rice habitats in Guangzhou. *Journal of Environmental Entomology*, 32(3): 299–306. [张娟, 曾玲, 梁广文, 陆永跃, 2010. 稻田越冬害虫及其捕食性节肢动物类群的空间分布动态. 环境昆虫学报, 32(3): 299–306.]
- Zhang J, Zheng X, Jian H, Qin X, Yuan F, Zhang R, 2013. Arthropod biodiversity and community structures of organic rice ecosystems in Guangdong province, China. *Florida Entomologist*, 96(1): 1–9.
- Zhang XX, Lu ZQ, Geng JG, Li GZ, Chen XL, Wu XW, 1980. Studies on the migration of rice leaf roller *Cnaphalocrocis Medinalis* Guenée. *Acta Entomologica Sinica*, 23(2): 130–140. [张孝羲, 陆自强, 耿济国, 李国柱, 陈学礼, 吴学文, 1980. 稻纵卷叶螟迁飞途径的研究. 昆虫学报, 23(2): 130–140.]
- Zhang XX, Zhou WJ, Geng JG, Su QL, Zhu YC, Tang JY, 1983. Studies on the energy source of flight and migration of the rice leaf roller (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée). *Journal of Plant Protection*, 10(8): 153–159. [张孝羲, 周威君, 耿济国, 苏庆玲, 朱玉成, 汤金仪, 1983. 稻纵卷叶螟成虫迁飞与能源物质的研究. 植物保护学报, 10(8): 153–159.]
- Zhao ZM, 1986. A preliminary survey of the parasitic hymenopterous community in rice fields in Chongqing Bei-bei. *Natural Enemies of Insects*, 8(3): 125–136. [赵志模, 1986. 重庆市北碚区稻田寄生蜂类群初步考察. 昆虫天敌, 8(3): 125–136.]
- Zhong PS, Wu XQ, Zhong ZF, 2010. Dynamics investigation of major natural enemies in organic rice fields. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 23(4): 1107–1110. [钟平生, 吴耀琪, 钟振芳, 2010. 有机稻田主要天敌类群发生动态调查. 西南农业学报, 23(4): 1107–1110.]
- Zhou X, Guo YL, Kong H, Zuo J, Huang QX, Jia RZ, Guo AP, Xu L, 2016. A comprehensive assessment of the effects of transgenic Cry1Ac/Cry1Ab rice Huahui 1 on adult *Micraspis discolor* (Fabricius) (Coleoptera: Coccinellidae). *PLoS ONE*, 11(2): 1–12.
- Zhu PY, Lu ZX, Heong KL, Chen GH, Zheng XS, Xu HX, Yang YJ, Nicol HI, Gurr GM, 2014. Selection of nectar plants for use in ecological engineering to promote biological control of rice pests by the predatory bug, *Cyrtorhinus lividipennis* (Heteroptera: Miridae). *PLoS ONE*, 9(9): 1–12.
- Zhu PY, Wang GW, Zheng XS, Tian J, 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 RZ, He JH, Yun JX, 1976a. Parasitoids of *Naranga aeneascens* Moore (I): Braconidae. *Entomological Knowledge*, 13(5): 145–147. [祝汝佐, 何俊华, 恽静娴, 1976a. 稻螟蛉的寄生蜂(一)-茧蜂. 昆虫知识, 13(5): 145–147.]
- Zhu RZ, He JH, Yun JX, 1976b. Parasitoids of *Naranga aeneascens* Moore (II): Ichneumonidae. *Entomological Knowledge*, (6): 172–175. [祝汝佐, 何俊华, 恽静娴, 1976b. 稻螟蛉的寄生蜂(二)-姬蜂. 昆虫知识, (6): 172–175.]
- Zhuang XQ, 1989. Studies on the relationship between the insect community and the grasses on the rice field ridges. *Acta Ecologica Sinica*, 9(1): 35–40. [庄西卿, 1989. 稻田田埂昆虫群落与田埂杂草关系的研究. 生态学报, 9(1): 35–40.]