

云南早稻区白背飞虱种群增殖影响因子分析*

李向永^{1**} 谌爱东^{1***} 田维逵² 石小云² 尹艳琼¹ 赵雪晴¹

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205; 2. 云南省勐海县植保植检站, 勐海 666200)

摘要 【目的】明确云南早稻区白背飞虱 *Sogatella furcifera* Horváth 在不同品种、不同虫口密度及不同生育期组合条件的种群增殖能力。【方法】采用正交实验设计, 分析了不同虫口密度, 不同生育期和不同水稻品种组合条件下白背飞虱的种群增殖倍数。【结果】水稻生育期和接虫密度对种群增殖倍数的影响分别达到了极显著和显著水平, 而品种的影响不显著。移栽期、拔节期、孕穗期和抽穗期的种群增殖倍数分别为 10.0 倍、8.8 倍、2.6 倍和 1.3 倍, 移栽期与孕穗期、抽穗期的种群增殖倍数差异极显著 ($P<0.01$), 拔节期与孕穗期、抽穗期的种群增殖倍数差异极显著 ($P<0.01$); 5、10、20、40 对/丛的增殖倍数分别为 9.2 倍、6.1 倍、4.3 倍、3.1 倍, 5 对/丛与 40 对/丛处理间种群增殖倍数差异极显著 ($P<0.01$), 5 对/盆与 20 对/盆处理间种群增殖倍数差异显著 ($P<0.05$); 滇泷 201、两优 2161、内 5 优 306 和两优多系 1 号的种群增殖倍数分别为 7.8 倍、5.9 倍、4.3 倍、4.8 倍, 各品种间差异不显著 ($P>0.05$)。【结论】勐海早稻区, 水稻生育期对种群增殖倍数的影响极显著, 接虫密度的影响显著, 主栽品种对种群增殖倍数影响不显著; 在移栽期至拔节期, 较低的迁入密度能导致较大的种群增殖率。

关键词 白背飞虱, 正交实验, 种群增殖

Analysis of factors affecting population growth of the white-backed planthopper (*Sogatella furcifera*) in early rice crop areas of Yunnan Province

LI Xiang-Yong^{1**} CHEN Ai-Dong^{1***} Tian Wei-Kui²
Shi Xiao-Yun² YIN Yan-Qiong¹ ZHAO Xue-Qing¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China;

2. Plant Protection and Quarantine Station of Menghai County, Yunnan Province, Menghai 666200, China)

Abstract 【Objectives】To determine the population growth rate of the white-backed planthopper (*Sogatella furcifera* Horváth) on different rice varieties, at different stages of the rice growing season, and different initial plant-hopper population densities. 【Methods】We used an orthogonal experimental design to analyze the impact of initial planthopper density, rice variety, and stage of the growing season, on the population growth rate of *S. furcifera*. 【Results】Population growth rates were significantly affected by both rice developmental period ($P<0.01$) and initial planthopper density ($P<0.05$). Population growth rates during the transplanting period, jointing stage, booting stage, and heading stage, were 10.0, 8.8, 2.6 and 1.3, respectively; the population growth rate during the transplanting period was significantly higher than that recorded during all other growing stages ($P<0.01$). Growth rates at 4 initial densities (5 pairs/clump, 10 pairs/clump, 20 pairs/clump, 40 pairs/clump) were 9.2, 6.1, 4.3 and 3.1, respectively; the growth rate at 5 pairs/clump was significantly different to that at 40 pairs/clump ($P<0.01$), and to that at 20 pairs/clump ($P<0.05$). Population growth rates on the rice varieties Dianlong 201, Liangyou 2161, Neiwuyou 306 and Liangyoudoux 1 were 7.8, 5.9, 4.3 and 4.8, respectively, which were not significantly different ($P>0.05$). 【Conclusion】There was no significant difference in the population growth rate of the white-backed planthopper on different rice varieties in the early rice season in Menghai County. Lower initial density of *S. furcifera* can result in a faster population growth from the transplanting to the jointing stage.

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 NSFC-云南省联合基金 (U1202266)

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

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: shenad68@163.com

收稿日期 Received: 2016-01-11, 接受日期 Accepted: 2016-07-21

Key words *Sogatella furcifera*, orthogonal experiment, population proliferation

白背飞虱 *Sogatella furcifera* Horváth 是云南省稻区害虫的常年优势种,近年来在云南省主要稻区发生频次增加,对移栽期至拔节期的水稻植株危害严重。勐海早稻区位于云南省西南部,是白背飞虱的主要越冬区,但本地越冬虫源种群小(赵雪晴等,2014),田间种群在4月下旬至6月上旬形成危害高峰期,主害代虫源以迁入虫源为主(沈慧梅等,2011),白背飞虱迁入勐海稻区后,除对当地水稻生产造成严重影响之外,繁殖1代后的田间种群还可成为云南省东部中稻区5月份的主要迁入虫源(郑大兵等,2014)。

虫口密度、水稻生育期(张夕林等,1999)、氮肥施用水平(徐红星等,2009;郑许松等,2009)及水稻品种(陈洁等,2005;李隽等,2012)等是影响白背飞虱种群增殖能力的主要因素,目前大多数研究主要是针对其中1~2个因素对种群增殖能力的影响。研究多个品种、不同生育期及不同虫口密度的种群增殖能力,如果按不同因素组合进行全面实验,则工作量巨大,难以完成;正交实验设计是一种研究多因素多水平实验的高效、快速、经济的方法,已经应用于很多研究领域。在昆虫学研究中较多应用昆虫人工饲料配方的筛选优化(刘慧敏和张国安,2007;季清娥等,2009;宋国晶等,2010;Lu,2014),烟粉虱饲养条件优化(杨海林等,2014;李向永等,2015),以及假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* 粘板的RGB颜色模型筛选等(Bian等,2014)。

本研究的目的在于探讨水稻品种、水稻生育期和虫口密度等外部因子对勐海早稻区白背飞虱种群增殖能力的影响作用大小。明确白背飞虱在不同品种、不同虫口密度及不同生育期的种群增殖能力,可为不同品种田间种群的发生动态提供预测预警并为及时开展防治工作提供技术支持。

1 材料与方法

选择影响白背飞虱种群增殖的水稻品种、生育期及虫口密度3个因素,每个因素设置4个水平,共计16种因素水平组合(详见表1,正交

实验表由SPSS 13.0(SPSS Inc.)软件中的Data-orthogonal design程序完成)。实验于2014年在勐海县勐混镇进行,试验所用稻苗移栽时间与当地的大田移栽时间一致,将4个品种的适龄秧苗单丛移栽至盛有稻田土的塑料桶内(桶口径:25 cm×h:60 cm),同时喷施2000倍吡虫啉,保证秧苗不带虫,塑料桶外罩50 cm×100 cm的80目尼龙沙网罩,避免外部白背飞虱成虫飞入。实验共16组,每组4次重复共64盆秧苗,施肥水平参照当地施肥习惯进行管理。稻苗移栽至塑料桶2周成活后,按不同的因素组合开始接入稻飞虱成虫,为方便实验操作,每次接虫时间间隔为20 d(详见1.3)。

1.1 水稻品种

选择勐海县勐混镇当地历年来的主栽品种,分别是品种A:滇泷201;品种B:两优2161;品种C:内5优306;品种D:两优多系1号。

1.2 接虫密度

5、10、20、40对/丛。

1.3 接虫时期

移栽期(2014年5月28日),分蘖期(2014年6月17日),拔节期(2014年7月7日),孕穗期(2014年7月27日)。

1.4 调查及数据分析方法

接虫5 d后开始调查若虫、长翅成虫及短翅成虫数量,至水稻蜡熟期结束。以水稻生育期内种群最大值和初始接虫量的比值作为种群增殖率。用SPSS 13.0(SPSS Inc.)软件中的Analyze模块对不同因素水平下的种群增殖率进行多因素方差分析,因素不同水平间的差异性采用LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 各因素影响作用方差分析

白背飞虱在移栽期的种群增殖倍数最高,随

表 1 因素及因素水平设计
Table 1 Factors and factor levels design

因素水平 Level of factors	接虫密度 Density of <i>S. furcifera</i>	生育期 Development period	品种 Varieties of rice
1	5 对/丛 5 pairs/clump	移栽期 Transplanting period	滇泷 201 Dianlong 201
2	10 对/丛 10 pairs/clump	拔节期 Shooting period	两优 2161 Liangyou 2161
3	20 对/丛 20 pairs/clump	孕穗期 Booting stage	内 5 优 306 Neiwuyou 306
4	40 对/丛 40 pairs/clump	抽穗期 Heading period	两优多系 1 号 Liangyouduoxi 1

着水稻的逐渐成熟,种群增殖倍数递减,在同一生育期,增殖倍数随接虫密度递增而递减,根据表 2 中的种群增殖倍数结果进行方差分析,结果如表 3 所示。

从表 3 方差分析可以看出,水稻生育期对白

背飞虱的种群增殖倍数的影响极显著 ($P < 0.01$); 接虫密度对增殖倍数的影响显著 ($P < 0.05$); 而品种对种群增殖倍数的影响不显著 ($P > 0.05$)。根据各因素的 F 值大小,可确定三个因素对种群增殖倍数的影响作用大小为生育期 ($F = 15.2$,

表 2 白背飞虱种群增殖正交实验结果
Table 2 Results of orthogonal experiment of *Sogatella furcifera* population proliferation

实验号 Experiment list	接虫密度 Density of <i>S. furcifera</i>	生育期 Development period	品种 Varieties	最大密度 Maximum of density	增殖倍数 Proliferation times
1	5 对/丛 5 pairs/clump	移栽期 Transplanting period	滇泷 201 Dianlong 201	232.0	18.5
2	10 对/丛 10 pairs/clump	移栽期 Transplanting period	两优 2161 Liangyou 2161	88.7	8.9
3	20 对/丛 20 pairs/clump	移栽期 Transplanting period	内 5 优 306 Neiwuyou 306	162.3	6.7
4	40 对/丛 40 pairs/clump	移栽期 Transplanting period	两优多系 1 号 Liangyouduoxi 1	179.0	5.7
5	5 对/丛 5 pairs/clump	拔节期 Shooting period	两优 2161 Liangyou 2161	71.3	12.9
6	10 对/丛 10 pairs/clump	拔节期 Shooting period	滇泷 201 Dianlong 201	194.3	9.7
7	20 对/丛 20 pairs/clump	拔节期 Shooting period	两优多系 1 号 Liangyouduoxi 1	159.0	7.5
8	40 对/丛 40 pairs/clump	拔节期 Shooting period	内 5 优 306 Neiwuyou 306	236.3	5.1
9	5 对/丛 5 pairs/clump	孕穗期 Booting stage	内 5 优 306 Neiwuyou 306	4.7	3.2
10	10 对/丛 10 pairs/clump	孕穗期 Booting stage	两优多系 1 号 Liangyouduoxi 1	37.0	3.7
11	20 对/丛 20 pairs/clump	孕穗期 Booting stage	滇泷 201 Dianlong 201	46.7	2.3
12	40 对/丛 40 pairs/clump	孕穗期 Booting stage	两优 2161 Liangyou 2161	48.3	1.2
13	5 对/丛 5 pairs/clump	抽穗期 Heading period	两优多系 1 号 Liangyouduoxi 1	7.0	2.1
14	10 对/丛 10 pairs/clump	抽穗期 Heading period	内 5 优 306 Neiwuyou 306	20.7	2.1
15	20 对/丛 20 pairs/clump	抽穗期 Heading period	两优 2161 Liangyou 2161	12.3	0.6
16	40 对/丛 40 pairs/clump	抽穗期 Heading period	滇泷 201 Dianlong 201	20.7	0.5

表 3 种群增殖倍数方差分析结果
Table 3 Variance analyses results of population proliferation

方差来源 Source of variance	离均差平方和 Sum squares	自由度 df	均方差 Mean square deviation	F	P
生育期 Development period	225.7	3	75.2	15.2	0.003
接虫密度 Density of <i>S. furcifera</i>	83.6	3	27.9	5.6	0.035
品种 Varieties	28.7	3	9.6	1.9	0.225
误差 Error	29.6	6	4.9		

$P=0.003$) > 接虫量 ($F=5.6$, $P=0.035$) > 品种 ($F=1.9$, $P=0.225$)。

2.2 生育期影响作用分析

由表 4 可知, 移栽期、拔节期、孕穗期和抽穗期 4 个生育期中, 移栽期的种群增殖倍数最高, 为 10.0 倍, 其次是拔节期 8.8 倍、孕穗期 2.6 倍、抽穗期 1.3 倍。

对各生育期增殖倍数的配对比较结果表明, 移栽期与孕穗期、抽穗期的种群增殖倍数差异极显著 ($P<0.01$), 拔节期与孕穗期、抽穗期的种群增殖倍数差异极显著 ($P<0.01$); 而移栽期与拔节期、孕穗期与抽穗期的种群增殖倍数差异不显著 ($P>0.05$) (表 4)。

2.3 接虫量影响作用分析

由表 5 可知, 5、10、20、40 对/丛 4 个接虫密度中, 5 对/丛接虫量的种群增殖倍数最高为 9.18 倍, 其次是 10 对/丛 (6.10 倍)、20 对/丛 (4.28 倍)、40 对/丛 (3.13 倍)。对各接虫量的配对比较结果表明, 接虫量 5 对/丛与 40 对/丛处理间种群增殖倍数差异极显著 ($P<0.01$); 5 对/丛与 20 对/丛处理间种群增殖倍数差异显著 ($P<0.05$); 5 对/丛与 10 对/丛、20 对/丛与 40 对/丛处理间差异不显著 ($P>0.05$) (表 5)。

2.4 品种影响作用分析

由表 6 可知, 滇泷 201 品种的种群增殖倍数

表 4 生育期不同水平的影响作用方差分析
Table 4 Variance analysis of the effects of different levels of growth period

生育期 Development period	均值±标准误 Mean±SE	95% 置信限 95% Confidence limit	差异显著性 Deference significant
移栽期 Transplanting period	10.0±2.9	7.2-12.67	Aa
拔节期 Shooting period	8.8±1.7	6.1-11.52	Aa
孕穗期 Booting stage	2.6±0.5	-1.2-5.3	Bb
抽穗期 Heading period	1.3±0.4	-1.4-4.0	Bb

表中数据后标有不同大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上的差异性。下表同。

Data followed by different capital and small letters indicate significant difference at 0.01 level and 0.05 level, respectively. The same below.

表 5 接虫密度不同水平的影响作用方差分析
Table 5 Variance analysis of the effects of different levels of density of *Sogatella furcifera*

接虫密度 Density of <i>S. furcifera</i>	均值 ± 标准误 Mean ± SE	95% 置信限 95% Confidence limit	差异显著性 Deference significant
5 对/丛 5 pairs/clump	9.2±3.9	6.5-11.9	Aa
10 对/丛 10 pairs/clump	6.1±1.9	3.4-8.8	ABab
20 对/丛 20 pairs/clump	4.3±1.7	1.6-7.0	ABb
40 对/丛 40 pairs/clump	3.1±1.3	0.4-5.8	Bb

表 6 品种不同水平的影响作用方差分析
Table 6 Variance analysis of the effects of different levels of varieties

品种 Varieties	均值 ± 标准误 Mean ± SE	95% 置信限 95% Confidence limit	差异显著性 Deference significant
滇泷 201 Dianlong 201	7.8±4.1	5.0-10.5	Aa
两优 2161 Liangyou 2161	5.9±3.0	3.2-8.6	Aa
内 5 优 306 Neiwuyou 306	4.3±1.0	1.6-7.0	Aa
两优多系 1 号 Liangyouduoxi 1	4.8±1.2	2.0-7.5	Aa

最高为 7.8 倍, 其次是品种两优 2161 为 5.9 倍、品种内 5 优 306 为 4.3 倍、品种两优多系 1 号为 4.8 倍。对各品种的配对比较结果表明, 滇泷 201 品种、两优 2161 品种、内 5 优 306 品种和两优多系 1 号品种 4 个品种处理间差异不显著 ($P>0.05$)。

3 结论与讨论

通过对生育期、接虫量、品种等因素对白背飞虱种群增殖倍数的方差分析, 结果表明生育期白背飞虱的种群增殖倍数的影响极显著, 接虫密度对增殖倍数的影响显著; 而品种对种群增殖倍数的影响不显著。三个因素对种群增殖倍数的影响作用大小为生育期>接虫量>品种。

在相同的食物资源及空间条件下, 种群增殖倍数随接虫密度的增加而递减, 表现出明显的种群密度制约效应, 这可能是由于食物资源竞争激烈及空间有限等原因造成了这种现象。水稻植株韧皮部汁液中的蔗糖、氨基酸等是白背飞虱生长发育和生殖所需的主要营养物质, 游离氨基酸的含量影响着稻飞虱的种群增殖能力, 抗虫品种叶鞘内游离氨基酸总量低于感虫品种 (彭忠魁等, 1979; 曾玲等, 1992), 研究表明亮氨酸、丙氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸和天冬酰胺的含量与白背飞虱的产卵量呈显著正相关关系 (俞晓平等, 1990)。此外, 水稻生育期还影响白背飞虱卵巢的发育快慢, 在水稻分蘖初期, 卵巢发育最快, 孕穗抽穗期则卵巢发育最慢 (陈宇等, 2012), 这也从另外一个方面证明了在移栽期至拔节期白背飞虱种群增殖倍数较高的原因。

滇南早稻区是云南省各稻区中白背飞虱发生最早、危害程度较高的稻区, 在水稻的生育期内有多个迁入峰次, 除了要注意较大规模的迁入虫量对水稻生产的直接危害之外, 还需要注意在移栽期至拔节期, 即使较低的迁入虫峰密度往往能导致较大的种群增殖。在实际的预测预报工作中, 应当注意白背飞虱的这种“低密度, 高增长”的种群增殖现象。

本研究只是初步明确了在勐海稻区, 水稻生

育期、接虫密度和水稻品种对白背飞虱种群增殖的影响。水稻韧皮部汁液中的营养物质是稻飞虱完成生长发育过程的物质基础, 常用主栽品种在不同生育期的营养物质 (氨基酸) 组分及含量变化是决定白背飞虱种群增殖的内在因素, 还需在以后的工作中进行深入探讨和研究。

参考文献 (References)

- Bian L, Sun XL, Luo ZX, Zhang ZQ, Chen ZM, 2014. Design and selection of trap color for capture of the tea leafhopper, *Empoasca vitis*, by orthogonal optimization. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 151(3): 247–258.
- Chen J, Li GT, Liu GJ, Zhang L, Zhang XC, 2005. Effects of different rice varieties on feeding and oviposition of white-backed planthopper, *Sogatella furcifera*. *Journal of Anhui Agricultural University*, 32(3): 345–348. [陈洁, 李桂亭, 刘光杰, 张磊, 张新才, 2005. 水稻品种对白背飞虱取食及产卵行为的影响. 安徽农业大学学报, 32(3): 345–348.]
- Chen Y, Fu Q, Lai FX, Luo J, Zhang ZT, Hu GW, Chen JH, 2012. The effects of rice growth stages on the development and take-off *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*. *Acta Ecologica Sinica*, 32(5): 1546–1552. [陈宇, 傅强, 赖凤香, 罗举, 张志涛, 胡国文, 2012. 水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响. 生态学报, 32(5): 1546–1552.]
- Ji QE, Ren ZZ, Huang JC, 2009. The orthogonal optimization of artificial liquid larval diet for *Bactrocera dorsalis* (H). *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 38(6): 567–572. [季清娥, 任真真, 黄居昌, 陈家骅, 2009. 橘小实蝇幼虫液体人工饲料正交设计优化. 福建农林大学学报 (自然科学版), 38(6): 567–572.]
- Li J, Gui FR, Li ZY, Chen B, 2012. Resistance screening of Yunnan traditional rice varieties to the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera*. *Plant Protection*, 38(1): 60–64. [李隽, 桂富荣, 李正跃, 陈斌, 2012. 云南传统水稻品种对白背飞虱的抗性筛选. 植物保护, 38(1): 60–64.]
- Li XY, Chen AD, Yin YQ, Zhao XQ, Yang HL, 2015. The impact of environmental factors on development period of sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) F₁ generation. *Journal of Environmental Entomology*, 37(2): 242–249. [李向永, 谌爱东, 尹艳琼, 赵雪晴, 杨海林, 2015. 环境因子对烟粉虱子代发育历期的影响. 环境昆虫学报, 37(2): 242–249.]
- Liu HM, Zhang GA, 2007. Optimizing the artificial diet composition for the rice stem borer, *Chilo suppressalis*, by orthogonal design. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(5): 754–757. [刘慧敏, 张国安, 2007. 用正交试验法优选二化螟人工饲料配方. 昆虫知识,

- 44(5): 754–757.]
- Lu X, Han SC, De Clercq P, Dai JQ, Li LY, 2014. Orthogonal array design for optimization of an artificial medium for in vitro rearing of *Trichogramma dendrolimi*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 152(1): 52–60
- Peng ZK, Tang MY, Chen YS, 1979. Studies of resistance to brown plant-hopper in hybrid rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 12(2): 71–77. [彭忠魁, 唐明远, 陈意生, 1979. 杂交水稻对褐飞虱抗性的研究. *中国农业科学*, 12(2): 71–77.]
- Shen HM, Lü JP, Zhang XX, Chen XN, Zhai BP, 2011. Source areas and landing mechanism of early immigration of white-backed planthoppers, *Sogatella furcifera* (Horváth) in Yunnan, 2009. *Acta Ecologica Sinica*, 31 (15): 4350–4364. [沈慧梅, 吕建平, 周金玉, 张孝羲, 程遐年, 翟保平, 2011. 2009 年云南省白背飞虱早期迁入种群的虫源地范围与降落机制. *生态学报*, 31(15): 4350–4364.]
- Song GJ, Li GP, Feng HQ, Li HP, Qiu F, 2010. Optimization of artificial diet composition for *Apolygus lucorum* nymphs by orthogonal design. *Plant Protection*, 36(6): 96–99, 107. [宋国晶, 李国平, 封洪强, 李海平, 邱峰, 2010. 用正交试验法优选绿盲蝽若虫人工饲料配方. *植物保护*, 36(6): 96–99, 107.]
- Xu HX, Zhang YF, Zheng XS, Yu XP, Lü ZX, 2009. Effects of nitrogen application on ecological fitness of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* on rice (*Oryza sativa*). *Chinese Journal of Rice Science*, 23(2): 219–222. [徐红星, 张珏锋, 郑许松, 俞晓平, 吕仲贤, 2009. 施氮对白背飞虱在水稻上适应性的影响. *中国水稻科学*, 23(2): 219–222.]
- Yang HL, Li XY, Zhang LM, Yin YQ, Zhao XQ, Chen AD, 2014. Optimization for *Bemisia tabaci* egg development conditions using orthogonal design. *Journal of Southern Agriculture*, 45(11): 1970–1975. [杨海林, 李向永, 张立猛, 尹艳琼, 赵雪晴, 谌爱东, 2014. 烟粉虱卵发育条件的正交优化筛选. *南方农业学报*, 45(11): 1970–1975.]
- Yu XP, Wu GR, Hu C, 1990. Effects of variety difference on oviposition of white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horvath). *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 16(1): 61–65. [俞晓平, 巫国瑞, 胡萃, 1990. 不同水稻品种对白背飞虱产卵的影响. *浙江农业大学学报*, 16(1): 61–65.]
- Zeng L, Wu ZR, Feng C, Li JQ, 1992. On Relationship between the free amino acids content and resistance to *Nilaparvata lugens* in rice varieties. *Journal of South China Agricultural University*, 13(4): 69–76. [曾玲, 吴荣宗, 冯成, 李洁群, 1992. 水稻品种游离氨基酸含量与抗褐稻虱的关系. *华南农业大学学报*, 13(4): 69–76.]
- Zhang XL, Zhang GF, Sun XM, Ding ZZ, Li F, 1999. Economic damage to Japonica by the second generation population of the white-backed planthopper in the middle-late non-glutinous rice zone. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 25(5): 539–542. [张夕林, 张谷丰, 孙雪梅, 丁宗泽, 李飞, 1999. 中、晚粳稻区白背飞虱为害损失及其防治指标研究. *浙江大学学报 (农业与生命科学版)*, 25(5): 539–542.]
- Zhao XQ, Shen HM, Yin YQ, Li XY, Lü JP, Chen AD, 2014. The occurrence characteristics and population dynamics of *Sogatella furcifera* (Horváth) in Yunnan Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(2): 516–524 [赵雪晴, 沈慧梅, 尹艳琼, 李向永, 吕建平, 谌爱东, 2014. 云南白背飞虱的发生与种群消长特点. *应用昆虫学报*, 51(2): 516–524.]
- Zheng DB, Cui MH, He HP, Shen HM, Hu G, Chen XP, Zhai BP, 2014. Source areas and landing mechanisms of early immigrant population of white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horvath) in Shizong, Yunnan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 34(15): 4262–4271. [郑大兵, 崔茂虎, 何洪平, 沈慧梅, 胡高, 陈晓, 翟保平, 2014. 云南师宗白背飞虱前期迁入种群的虫源地分布与降落机制. *生态学报*, 34(15): 4262–4271.]
- Zheng XS, Chen GH, Xu HX, Lü ZX, 2009. Interactive effects of temperature and nitrogen fertilizer on the survival, development, and reproduction of brown planthopper *Nilaparvata lugens*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20(5): 1171–1175. [郑许松, 陈桂华, 徐红星, 吕仲贤, 2009. 温度和氮肥对褐飞虱存活、生长发育和繁殖的交互作用. *应用生态学报*, 20(5): 1171–1175.]