



赵雪晴, 齐国君, 赵秀兰, 吕华, 尹艳琼, 李向永, 李秋阳, 谌爱东. 滇西南稻区白背飞虱种群特征及其关键影响因子 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (2): 365–372.

滇西南稻区白背飞虱种群特征及其关键影响因子

赵雪晴¹, 齐国君^{2*}, 赵秀兰³, 吕华⁴, 尹艳琼¹,
李向永¹, 李秋阳³, 谌爱东^{1**}

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所/云南省农业跨境有害生物绿色防控重点实验室, 昆明 650205;

2. 广东省农业科学院植物保护研究所/广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640;

3. 沧源县植保植检站, 沧源 677499; 4. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095)

摘要: 为明确滇西南沧源县稻区白背飞虱 *Sogatella furcifera* 的种群发生特征及其影响因子, 于 2010–2019 年通过灯诱监测和田间调查的方法, 分析沧源县白背飞虱的越冬种群、灯诱种群及田间种群发生特征, 并对白背飞虱种群数量的影响因素进行相关性分析。结果表明: (1) 白背飞虱以成、若虫在再生稻、落粒稻上越冬, 越冬虫量最高可达 1 600 头/667 m², 越冬虫量大小与冬季极端最低温度呈显著正相关 ($r=0.473$); (2) 白背飞虱灯诱高峰主要集中在 3 月下旬至 4 月上旬、5 月下旬至 7 月上旬以及 9 月, 灯诱峰期和诱虫量在不同年份之间差异较大; 随着白背飞虱不断迁入, 田间白背飞虱种群呈增长趋势, 一般于 5 月底至 6 月初田间种群数量最大, 构成田间种群的危害高峰, 而水稻抽穗之后, 白背飞虱田间种群数量迅速下降, 向外迁出, 9 月水稻进入成熟收割期, 外地回迁的灯诱峰次虽虫量较大, 但对当地水稻威胁较小; (3) 沧源县白背飞虱田间最大虫量与 5 月累积灯诱虫量呈显著正相关 ($r=0.670$), 与越冬虫量以及 3、4 月累积灯诱虫量无显著关系, 5 月累积灯诱量又与 5 月降雨存在显著正相关 ($r=0.758$), 说明 5 月迁入虫源是影响白背飞虱种群为害的关键因素。明确滇西南稻区白背飞虱的种群发生特征及其影响因子, 对当地白背飞虱的预测预报和防治工作具有重要意义。

关键词: 滇西南; 白背飞虱; 种群特征; 影响因子

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674–0858 (2021) 02–0365–08

Population characteristics and key factors influencing the abundance of *Sogatella furcifera* in Southwest Yunnan Province, China

ZHAO Xue-Qing¹, QI Guo-Jun^{2*}, ZHAO Xiu-Lan³, LV Hua⁴, YIN Yang-Qiong¹, LI Xiang-Yong¹, LI Qiu-Yang³, CHEN Ai-Dong^{1**} (1. Key Laboratory of Green Prevention and Control of Agricultural Transboundary Pests of Yunnan Province, Agricultural Environment and Resource Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection/Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 3. Plant Protection and Quarantine Station of Cangyuan County, Cangyuan 677499, Yunnan Province, China; 4. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

基金项目: 云南省重点研发计划 (2019IB007); 广州市珠江科技新星专项 (201806010013); 国家自然科学基金项目 (31760536, 31860504); 云南省创新团队培育对象; 国家重点研发计划项目 (2016YFE0117400)

作者简介: 赵雪晴, 女, 研究员, 主要从事昆虫生态学研究, E-mail: snow.xue-5@163.com

* 共同第一作者: 齐国君, 男, 硕士, 副研究员, 主要从事昆虫生态学研究, E-mail: qigj@gdppri.com

** 通讯作者 Author for corresponding: 谌爱东, 博士, 研究员, 主要从事昆虫生物学与生态学研究, E-mail: shenad68@163.com

收稿日期 Received: 2020–08–26; **接受日期** Accepted: 2021–03–09

Abstract: To understand the population characteristics and influencing factors of *Sogatella furcifera* (Horváth) in Cangyuan County, Southwest Yunnan Province, the population dynamics of *S. furcifera* under light trap and in the field in Cangyuan County were analyzed by light trapping and field investigation from 2010 to 2019. The correlation between population size of *S. furcifera* and influencing factors were analyzed by SPSS. The results showed that the adults and nymphs of *S. furcifera* could overwinter in ratoon and shattering rice, and its highest population density was up to 1 600 adults/667 m² in winter. The overwintering population density of *S. furcifera* was significantly correlated with extreme low temperature ($r=0.473$). *S. furcifera* had three main density peaks under light trap which concentrated in late March to early April, late May to early July and September. The peak period and light trap catches of *S. furcifera* fluctuated widely between different years. The peak periods of field population showed an increasing trend along with the continuous migration of *S. furcifera*, which formed the damage peak of field population between late May and early June. Population size of *S. furcifera* decreased rapidly after rice heading. The return migration peak had huge captures of *S. furcifera* under light trap in September, showing low threat to local rice production. The field maximum population of *S. furcifera* was significantly positive correlated with cumulative light-trap catches in May ($r=0.670$), while there was no significant correlation with overwintering population density, and cumulative light-trap catches in March and April. There was a significant positive correlation between the cumulative light-trap catches in May and the rainfall in May ($r=0.758$), indicating that the immigration population in May was the key factor affecting the population damage of *S. furcifera*. Therefore, a better understanding of the population characteristics and influencing factors of *S. furcifera* will be a great favor for the monitoring and controlling of this pest in Southwest Yunnan Province.

Key words: Southwest Yunnan; *Sogatella furcifera*; population characteristics; influencing factors

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 是滇西南稻区的主要害虫,其成、若虫不仅直接刺吸危害,造成水稻大面积虱烧绝产,还可作为媒介昆虫传播南方水稻黑条矮缩病毒 (Southern rice black-streaked dwarf virus, SRBSDV),给水稻生产造成毁灭性的灾难 (周国辉等, 2008; 翟保平等, 2011)。近年来,白背飞虱在滇西南沧源县的发生频率、发生面积及危害损失跃居水稻害虫之首 (赵秀兰和李秋阳, 2015),其迁飞性、暴发性和毁灭性的特点给预测预报和综合防治带来了很大的难度,往往猝不及防,致使小虫屡成大灾 (翟保平和程家安, 2006)。

白背飞虱暴发成灾受水稻品种、耕作制度、气候条件、抗药性以及白背飞虱生物学特性等诸多因素的影响 (刘芹轩等, 1982),但早期迁入虫源基数一直是白背飞虱大发生的重要决定因素之一 (Otuka *et al.*, 2009; Hu *et al.*, 2011; 王政等, 2011; 齐国君等, 2011)。滇西南稻区白背飞虱的早期虫源主要来自缅甸、泰国及老挝等境外迁入虫源 (沈慧梅等, 2011; Hu *et al.*, 2020),白背飞虱迁入虫源基数大往往可直接造成落地成

灾 (徐兰珍等, 2016; 赵雪晴等, 2018),其早期虫源的迁飞峰次及迁入量与滇西南稻区白背飞虱的发生轻重关系十分密切。此外,白背飞虱种群增长又受温度、湿度和降雨等气象因子影响 (程家安等, 2008),其中温度是最显著的影响因子,极端温度对白背飞虱的生长发育和繁殖不利 (冯炳灿等, 1985; Hu *et al.*, 2010),而高温干燥、低温低湿、暴雨冲刷也对白背飞虱生长繁殖有抑制作用 (侯婷婷等, 2003; 吕芬等, 2008)。

沧源县地处云南西南边陲,与缅甸接壤,地形、地貌和气候类型十分多样,常年水稻种植面积 4 700 hm² (赵秀兰和李秋阳, 2015),可种植早稻、中稻和晚稻,水稻种植制度较为复杂,造成了白背飞虱发生为害存在明显的区域性和复杂性 (四川、贵州、云南三省稻飞虱科研协作组, 1982; 赵雪晴等, 2018; 韦丽莉等, 2020)。沧源县在滇西南稻区具有明显的区域代表性,近年来白背飞虱在该区域的发生为害呈明显加重趋势,落地成灾现象较为突出,及时掌握沧源县白背飞虱的种群发生特征及其影响因子,对滇西南稻区白背飞虱的预测预报及综合防治具有重要的实践

意义。为此,于2010–2019 年对沧源县白背飞虱进行灯诱监测和田间系统调查,研究沧源县白背飞虱的种群发生特征及其与气象因子的相关性,以期明确滇西南稻区白背飞虱的种群特征及其影响因子,为该稻区白背飞虱的监测预警及防控策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查区域

白背飞虱的越冬调查区域主要在勐董乡、勐角乡、勐省乡等低热河谷坝区;白背飞虱的灯诱监测点、大田系统监测点位于沧源县勐角乡莲花塘村(99.2470°E, 23.2347°N, 1 203 m),周边连片种植水稻约 70 hm²。

1.2 调查方法

调查方法参考“稻飞虱测报调查规范 GB/T15794-2009”。

1.2.1 越冬虫源调查

选取再生稻、落粒稻等主要越冬场所(赵雪晴等,2014;赵秀兰和李秋阳,2015),采用扫网和刮盘(白瓷盘规格 30 mm×40 mm)方法相结合,每1个点扫网100网(来回为1网),刮盘不少于20 m²。每年调查2~3次,使用GPS确定调查点经、纬度和海拔高度,并记录白背飞虱的越冬虫量、越冬场所、寄主植物和取样方法等(赵雪晴等,2014;2018)。

1.2.2 测报灯监测

使用佳多牌全自动测报监测灯作为观测工具,每年3月1日–10月30日(水稻播种前1周开灯,收获后1个月关灯),逐日计数诱集的白背飞虱虫量,同时记录开灯时的天气情况(赵雪晴等,2014)。虫量很大时,分格取样,折算总虫量(赵秀兰和李秋阳,2015)。

1.2.3 大田系统调查

沧源县主要种植单季中稻,一般3月上中旬播种,4月上中旬移栽,8月中下旬收割。大田系统调查从水稻秧苗移栽返青(4月20日)至收获期(8月25日),每5 d调查1次(赵秀兰和李秋阳,2015)。选取有代表性的稻田进行定田定点调查,采用五点取样法和拍盘法,每点调查水稻20丛,共计100丛,分别记录水稻田中白背飞虱各虫态数量、水稻生育期及防治情况等(赵雪晴等,2014)。系统调查田一般用药3次,防治时间视田间虫量而定。

1.3 气象数据

2010–2019 年气象数据包括月平均温度、月平均降雨量、月相对湿度、月极端最高温度、月极端最低温度等要素,由云南省沧源县气象局提供。

1.4 数据分析方法

采用 Excel 分析沧源县白背飞虱灯诱和田间种群消长动态图,利用 SPSS 软件 Person 相关性分析法对不同月份越冬虫量与气象因子、月累积灯诱虫量与气象因子及越冬虫量、田间高峰期(5月下旬至6月中旬)最大虫量与越冬虫量、月累积灯诱虫量及气象因子进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 白背飞虱越冬种群特征

2011–2018 年的白背飞虱越冬调查结果表明,再生稻、落粒稻是白背飞虱越冬虫源的主要栖息场所,12月至翌年2月,沧源县勐董镇、勐角乡、勐省镇的低热河谷坝区均可以采集到白背飞虱越冬虫源,以若虫为主,其次是成虫。年度间白背飞虱越冬种群密度波动较大,2013年冬季白背飞虱种群密度较低,为333.50头/667 m²,2014年冬季虫量最高,为911.57头/667 m²,不同月份之间白背飞虱越冬种群也存在明显的差异,一般12月越冬虫量较大,1月虫量有所降低,2月虫量明显上升,最高虫量出现在2014年2月,为1 600.8头/667 m²(表1)。总体而言,沧源县白背飞虱以成、若虫在再生稻、落地稻上越冬,但越冬虫量较低,不同年度和月份之间差异较大。

2.2 白背飞虱种群季节性消长动态

从旬灯诱种群消长动态看,3月、4月白背飞虱的灯诱种群数量较低,期间可出现小的灯诱高峰,5月上中旬白背飞虱灯诱量逐渐增多,5月下旬至6月中旬灯诱量一直维持在较高水平,之后灯诱量逐渐下降,7月中旬至8月中旬白背飞虱的灯诱量较低,9月白背飞虱灯诱量陡然升高,出现一段明显的灯诱高峰,10月中旬之后灯诱量逐渐下降(图1)。基于10年平均的旬灯诱虫量动态,全年存在3个较为明显的灯诱虫峰:3月下旬至4月上旬、5月下旬至7月上旬以及9月上旬至下旬(图2)。不同峰期之间白背飞虱的诱虫量存在较大差异,第一峰期灯诱虫量较低,旬平均虫量仅为百头,第二峰期为千头数量级,第三峰期灯诱虫量最高,为万头数量级。

表 1 沧源县白背飞虱的越冬虫量 (2011–2018 年)

Table 1 Overwintering density of *Sogatella furcifera* in Cangyuan County from 2011 to 2018

月份 Month	白背飞虱种群密度/头·(667 m ²) ⁻¹ Population density of WBPH							
	2011 年冬	2012 年冬	2013 年冬	2014 年冬	2015 年冬	2016 年冬	2017 年冬	2018 年冬
	Winter of 2011	Winter of 2012	Winter of 2013	Winter of 2014	Winter of 2015	Winter of 2016	Winter of 2017	Winter of 2018
12 月 December	433.55	266.80	466.90	933.80	933.80	933.80	466.90	733.70
1 月 January	533.60	233.45	200.10	200.10	66.70	333.50	333.50	933.80
2 月 February	166.75	667.00	333.50	1600.80	66.70	200.10	867.10	533.60
平均值 Average	377.97	389.08	333.50	911.57	355.73	489.13	555.80	733.70

注: 冬季包括 12 月、翌年 01 月和 02 月。Note: Winter refers to December of this year, January and February of the coming year.

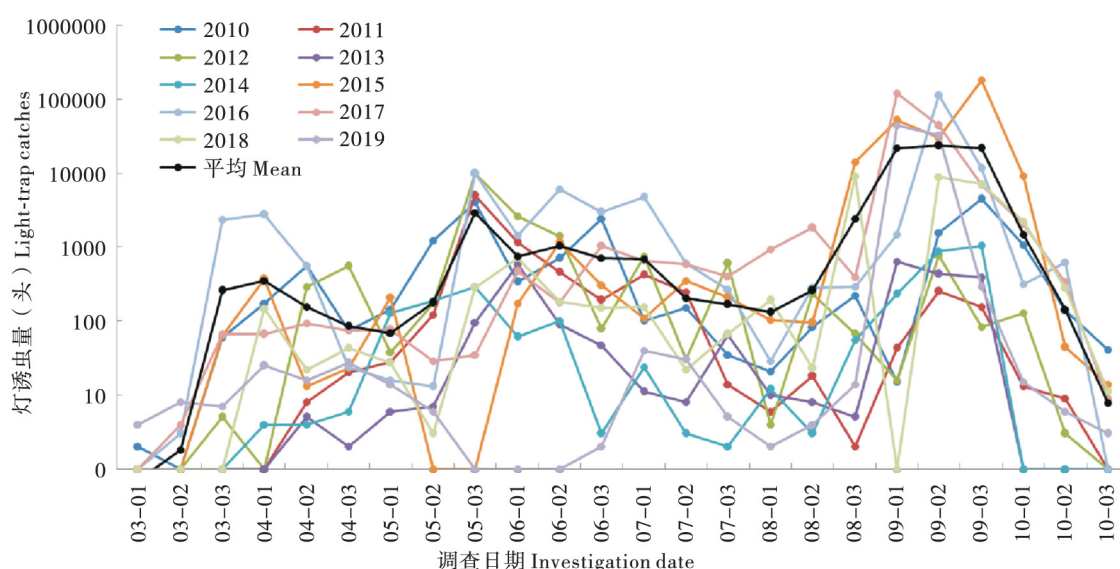


图 1 2010–2019 年沧源县白背飞虱逐旬灯诱虫量

Fig. 1 Every ten-days light-trap catches of *Sogatella furcifera* in Cangyuan County from 2010 to 2019

注: 横坐标中 03–10 分别代表月份, 01、02、03 分别代表上旬、中旬、下旬。Note: 03, March; 04, April; 05, May; 06, June; 07, July; 08, August; 09, September; 10, October; 01, 02 and 03 represented the first ten-days of a month, the middle ten-days of a month and the last ten-days of a month respectively.

白背飞虱田间种群调查结果表明, 沧源县白背飞虱成虫和若虫共同构成危害种群, 其中若虫比例高达 85.18%~96.45%, 为危害主虫态。3–5 月, 水稻处于分蘖期和拔节期, 植株条件有利于白背飞虱种群增长, 随着白背飞虱不断迁入, 田间白背飞虱种群呈增长趋势, 以低龄若虫为主, 一般于 5 月底 6 月上旬田间种群数量达到最大值, 构成田间种群危害高峰。6 月下旬水稻进入孕穗期, 田间白背飞虱高龄若虫种群虫量上升, 种群开始向外迁出。7 月初水稻抽穗后, 营养条件不利于白背飞虱种群增长, 田白背飞虱种群数量迅速下降, 成若虫均无明显的发生高峰期。8 月中下旬

水稻进入成熟收割期, 白背飞虱田间种群数量极低, 9 月出现的灯诱虫峰为从外地回迁高峰, 虽然灯诱虫量特别大, 但对当地水稻威胁较小 (图 2)。

2.3 白背飞虱年际发生动态

从灯诱高峰期看, 白背飞虱会出现大小不一的灯诱高峰, 且年度间差别较大, 2011 年、2012 年白背飞虱灯诱高峰期主要在 5 月下旬, 高峰期诱虫量占全年灯诱量的 61.35%、55.59%, 2014–2019 年, 白背飞虱的灯诱高峰集中 9 月, 高峰期诱虫量占 54.03~99.71%, 而 2010 年、2013 年白背飞虱灯诱高峰呈明显的双峰型 (图 1)。从灯诱虫量看, 白背飞虱在不同年度之

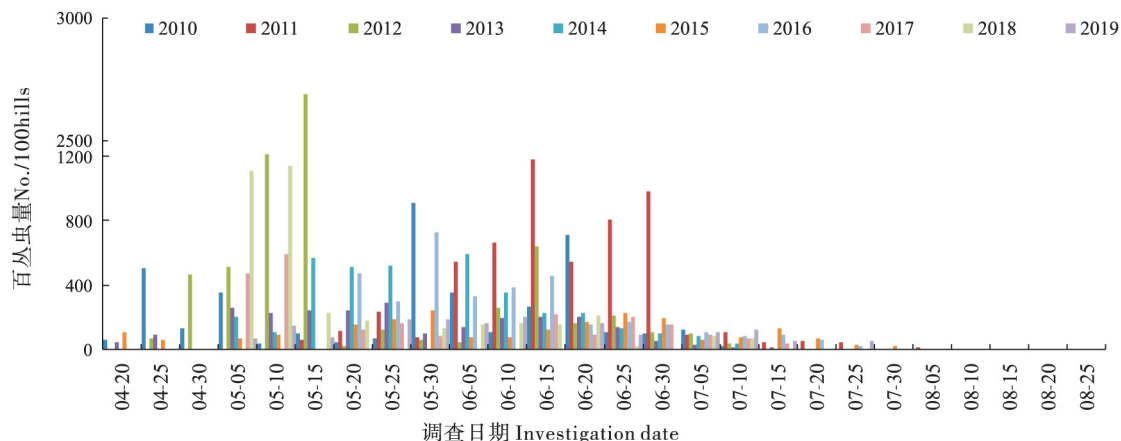


图2 2010–2019年沧源县白背飞虱田间种群发生动态

Fig. 2 Population dynamics of *Sogatella furcifera* in rice field of Cangyuan County from 2010 to 2019

间的差异较大, 2013 和 2014 年的灯诱虫量仅为 2 146、3 031 头/年, 明显低于 2015–2017 年的 291 753、160 436、181 373 头/年, 而单灯单日诱虫量也存在较大差异, 2013 年白背飞虱高峰日的诱虫量最低, 仅为 515 头 (6 月 10 日), 而 2015、2016 年的单灯单日诱虫量高达 120 320 头 (9 月 22 日)、111 190 头 (9 月 15 日)。

白背飞虱田间发生存在极大的年度差异, 成若虫的高峰虫量和高峰期在不同年度之间差异明显 (图 2), 如 2011 年白背飞虱发生较迟, 6 月 10 日田间成虫高峰日百丛虫量为 38 头, 6 月 15 日若虫高峰日虫量为 1 170 头; 2012 年白背飞虱田间发生早, 4 月 30 日成虫高峰日百丛虫量为 201 头, 5 月 15 日若虫高峰日虫量为 2 660 头; 而 2013、2015、2019 年田间白背飞虱发生高峰量为 288、240、201 头/百丛, 明显低于其他年份 (图 2)。

2.4 白背飞虱种群数量的影响因子分析

白背飞虱越冬虫量与气象因子的相关性分析结果表明, 沧源县白背飞虱的越冬虫量与冬季极端最低温度之间的相关关系显著, 相关系数 r 为 0.473 ($P=0.02$), 但与温度、降雨、相对湿度及极端最高温度等因子的相关性不显著。白背飞虱灯诱虫量与气象因子的相关性分析结果表明, 5 月累积灯诱虫量与 5 月降雨存在显著的相关性 ($r=0.758$, $p=0.011$), 其他月份累积灯诱虫量与温度、降雨、相对湿度、极端最高温度及极端最低温度之间没有显著性的相关关系, 此外, 3 月、4 月、5 月份的累积灯诱虫量与越冬虫量之间也没有显著的相关关系, P 值均 > 0.05 。田间高峰期最大虫量与各月越冬虫量及 3 月、4 月累积灯诱虫量

不存在显著的相关关系, 与 5 月累积灯诱虫量呈显著正相关 ($r=0.670$, $P=0.034$)。此外, 田间最大虫量还与 3 月极端最低温度呈显著负相关关系 ($r=0.746$, $P=0.013$), 与 6 月温度存在极显著正相关关系 ($r=0.765$, $P=0.009$)。

综上所述, 白背飞虱的越冬虫量大小与冬季极端最低温度存在显著正相关关系, 田间高峰期最大虫量与 5 月累积灯诱虫量呈显著正相关, 但与越冬虫量及 3 月、4 月灯诱虫量无显著关系, 而 5 月累积灯诱量又与 5 月降雨存在显著正相关。

3 结论与讨论

云南地处低纬度内陆地区, 地形、地貌和气候类型十分复杂, 白背飞虱发生为害存在明显的区域性、严重性与复杂性 (四川、贵州、云南三省稻飞虱科研协作组, 1982; 程遐年等, 2003)。赵雪晴等 (2014) 研究了云南省白背飞虱发生特点, 田间种群高峰和迁入种群均呈现由南向北逐渐延后的趋势, 滇南、滇东南和滇西南危害严重 (赵雪晴等, 2014)。本研究分析了沧源县 2010–2019 年白背飞虱的灯诱种群动态、高峰期及虫量, 明确了白背飞虱的灯诱高峰期主要集中在 3 月下旬至 4 月上旬、5 月下旬至 7 月上旬以及 9 月, 与赵秀兰和李秋阳 2010–2013 年的调查结果基本吻合 (赵秀兰和李秋阳, 2015), 沧源县白背飞虱主害代种群高峰在 5 月底至 6 月初, 要明显早于滇东南、滇东及滇东北地区 (赵雪晴等, 2014), 加强监测大田初始迁入虫源和 5–6 月主害代, 是该稻区白背飞虱防治的关键。9 月的灯诱峰次属于北虫

南迁形成的回迁虫峰(全国白背飞虱科研协作组, 1981), 虫量受北方稻区的自然环境和人为防治等因素影响, 多表现为虫峰多、虫量大、单日单灯虫量多的现象(赵雪晴等, 2014), 如 2015、2016 年的单灯单日诱虫量高达 120 320 头、111 190 头, 明显高于赵秀兰和李秋阳(2015) 2010–2013 年监测的同期灯诱量。由于此时滇西南稻区田间早、中稻已基本成熟收获, 对当地水稻生产的威胁较小(赵雪晴等, 2014), 仅为害再生稻和晚稻(赵秀兰和李秋阳, 2015)。

滇西南稻区常年有少量的白背飞虱越冬虫源(杨家鸾等, 1982), 主要越冬区域分布在海拔 1 244 m 以下(赵秀兰和李秋阳, 2015; 韦丽莉等, 2020), 以成、若虫在再生稻、落粒稻、早稻秧苗和稻桩上越冬(四川、贵州、云南三省稻飞虱科研协作组, 1982; 赵雪晴等, 2018; 韦丽莉等, 2020)。本研究于 2011–2018 年选取白背飞虱的主要越冬场所再生稻、落粒稻, 利用扫网和刮盘两种方法, 明确了沧源县勐董镇、勐角乡、勐省镇的低热河谷坝区为白背飞虱越冬区域, 平均越冬虫量为 333.50~911.57 头/667 m², 但不同年度之间白背飞虱越冬种群密度存在明显的差异, 这与赵雪晴等(2018)、韦丽莉等(2020)研究基本吻合。本研究发现, 滇西南稻区白背飞虱的田间发生为害与越冬虫量不存在相关性, 证实了该稻区白背飞虱发生轻重与本地越冬虫源关系不大。随着滇西南稻区耕作制度的变革, 取消冬秧, 扩大冬早蔬菜和小春复种, 加之农闲田进行翻犁板田(赵秀兰和李秋阳, 2015), 白背飞虱的越冬场所越来越少, 越冬虫量较低, 对翌年春季初始虫源和大发生种群的贡献较小(Hu *et al.*, 2010; 2015; 罗举等, 2013; 赵雪晴等, 2018)。

一般而言, 迁入基数是迁飞性害虫大发生的决定因素(张孝羲, 1980; 齐国君等, 2009), 而早期迁入虫源基数是白背飞虱大发生的重要前提条件(朱明华和龚泽明, 1983; 王政等, 2011)。境外白背飞虱虫源迁入滇西南稻区定殖后, 可随秧苗进入大田, 构成田间的初始虫源, 5–6 月田间的主害代也以迁入虫源为主(胡国文等, 1988), 迁入虫源的数量直接决定田间白背飞虱的种群数量变动(朱明华和龚泽明, 1983)。本研究认为沧源县白背飞虱田间高峰期最大虫量与 3、4 月累积灯诱虫量不存在显著的相关关系, 与 5 月累积灯诱虫量呈显著正相关($r = 0.670$, $P =$

0.034), 这意味着白背飞虱田间主害代的种群为害主要取决于 5 月的外地迁入虫源。此期水稻正值分蘖至拔节期, 白背飞虱迁入后, 营养条件十分适宜白背飞虱种群快速增殖(陈宇等, 2012), 形成田间种群的危害高峰。

白背飞虱暴发成灾受水稻品种、耕作制度、抗药性及人为防治等诸多因素的影响(全国白背飞虱科研协作组, 1981), 还与天气气候条件关系十分密切(汪毓才等, 1982; 吕芬等, 2008)。本研究表明 5 月累积灯诱虫量与 5 月降雨也存在显著的相关性, 也反映出白背飞虱迁飞降落与降雨等天气条件关系十分密切(Crummay & Atkinson, 1997), 白背飞虱田间高峰期最大虫量与 6 月温度存在极显著正相关关系, 可见沧源县 6 月温度较为适宜, 对白背飞虱的生长发育和繁殖极为有利(冯炳灿等, 1985; 李凯龙等, 2014)。本研究选用的系统调查田为防治田块, 基本可以反映出该稻区白背飞虱的实际发生及防治情况, 但用药防治会影响白背飞虱的田间种群虫量, 具有一定的局限性。

参考文献 (References)

- Bao YX, Xu XY, Wang JQ, *et al.* Analysis of the atmospheric dynamical backgrounds for the great immigration events of white back planthopper (*Sogatella furcifera*) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (11): 4527–4535. 包云轩, 徐希燕, 王建强, 等. 白背飞虱重大迁入过程的大气动力背景 [J]. *生态学报*, 2007, 27 (11): 4527–4535]
- Chen JA, Zhu JL, Zhu ZR, *et al.* Rice planthopper outbreak and environment regulation [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 30 (2): 176–182. 程家安, 朱金良, 祝增荣, 等. 稻田飞虱灾变与环境调控 [J]. *环境昆虫学报*, 2008, 30 (2): 176–182]
- Chen Y, Fu Q, Lai FX, *et al.* The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (5): 1546–1552. 陈宇, 傅强, 赖凤香, 等. 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 [J]. *生态学报*, 2012, 32 (5): 1546–1552]
- Cheng XN, Wu JC, Ma F. Occurrence and Control of Brown Planthopper [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2003: 104–105. 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: 104–105]
- Crummay FA, Atkinson BW. Atmospheric influences on light-trap catches of the brown planthopper rice pest [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1997, 88 (1–4): 181–197.
- Feng BC, Huang CW, Wang HD, *et al.* Influence of temperature on the population dynamics of the whitebacked planthopper, *Sogatella*

- furcifera (Horváth) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1985, 28 (4): 390–397. 冯炳灿, 黄次伟, 王焕弟, 等. 温度对白背飞虱种群增长的影响 [J]. *昆虫学报*, 1985, 28 (4): 390–397]
- Hou TT, Huo ZG, Li SK, *et al.* Causes of meteorological environment influencing on migration of rice planthopper [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12 (3): 142–147. 侯婷婷, 霍治国, 李世奎, 等. 影响稻飞虱迁飞规律的气象环境成因 [J]. *自然灾害学报*, 2003, 12 (3): 142–147]
- Hu G, Cheng XN, Qi GJ, *et al.* Rice planting systems, global warming and outbreaks of *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2011, 101 (2): 187–199.
- Hu G, Xie MC, Lin ZX, *et al.* Are outbreaks of *Nilaparvata lugens* (Stål) associated with global warming? [J]. *Environmental Entomology*, 2010, 39 (6): 1705–1714.
- Hu GW, Xie MX, Wang YC. A suggestion for delimitation of the incidence areas of white-backed planthopper in China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1988, 31 (1): 42–49. 胡国文, 谢明霞, 汪毓才. 对我国白背飞虱的区划意见 [J]. *昆虫学报*, 1988, 31 (1): 42–49]
- Hu SJ, Liu XF, Fu DY, *et al.* Projecting distribution of the overwintering population of *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae), in Yunnan, China with analysis on key influencing climatic factors [J]. *Journal of Insect science*, 2015, 15 (1): 148.
- Hu SJ, Sun SS, Fu DY, *et al.* Migration sources and pathways of the pest species *Sogatella furcifera* in Yunnan, China, and across the border inferred from DNA and wind analyses [J]. *Ecology and Evolution*, 2020, 10 (15): 8235–8250.
- Kisimoto R. Synoptic weather conditions inducing long-distance immigration of planthoppers, *Sogatella furcifera* Horváth and *Nilaparvata lugens* Stål [J]. *Ecological Entomology*, 1976, 1 (2): 95–109.
- Li KL, Wan PJ, Lai FX, *et al.* Effects of simulated microclimate near the water surface of rice paddies on growth and reproduction of *Sogatella furcifera* during high temperature season [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2016, 30 (2): 210–215. 阚凯龙, 万品俊, 赖凤香, 等. 模拟高温季节稻丛基部小气候条件下白背飞虱的生长发育与繁殖 [J]. *中国水稻科学*, 2016, 30 (2): 210–215]
- Liu QX, Lu FM, Zhang GF. Biology and ecology of the white back planthopper in Henan Province [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1982, 15 (3): 59–66. 刘芹轩, 吕万明, 张桂芬. 白背飞虱的生物学和生态学研究 [J]. *中国农业科学*, 1982, 15 (3): 59–66]
- Lü F, Zhou P, Huang XD, *et al.* Statistical analysis of relationship between meteorological factors and group number of *Sogatella furcifera* Horváth [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2008, 17 (3): 125–129. 吕芬, 周平, 黄新动, 等. 白背飞虱种群数量与气象要素关系的统计分析 [J]. *自然灾害学报*, 2008, 17 (3): 125–129]
- Luo J, Liu Y, Gong YF, *et al.* Investigation of the overwintering of three species of rice pest, *Nilaparvata lugens*, *Sogatella furcifera* and *Cnaphalocrocis medinalis* in China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (1): 253–260. 罗举, 刘宇, 龚一飞, 等. 我国水稻“两迁”害虫越冬情况调查 [J]. *应用昆虫学报*, 2013, 50 (1): 253–260]
- National coordinated research group for white back planthoppers. Studies on the migration of white back planthoppers (*Sogatella furcifera* Horváth) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1981, 14 (5): 25–31. 全国白背飞虱科研协作组. 白背飞虱迁飞规律的初步研究 [J]. *中国农业科学*, 1981, 14 (5): 25–31]
- Otuka A, Matsumura M, Watanabe T. The search for domestic migration of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae), in Japan [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2009, 44 (3): 379–386.
- Qi GJ, Liang ZL, Xin DY, *et al.* Analyse of the successive outbreaks of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) in early rice paddies in Yongfu County, Guangxi [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2009, 31 (2): 95–101. 齐国君, 梁载林, 辛德育, 等. 广西永福县近年来早稻田稻纵卷叶螟连年大发生的原因分析 [J]. *环境昆虫学报*, 2009, 31 (2): 95–101]
- Qi GJ, Xie MC, Liang ZL, *et al.* Anylysis of the unusual immigration of rice planthoppers in northern Guangxi in 2008 [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 1260–1267. 齐国君, 谢茂昌, 梁载林, 等. 2008年桂北地区稻飞虱特大迁入事件分析 [J]. *应用昆虫学报*, 2011, 48 (5): 1260–1267]
- Scientific research coordinated group for planthoppers of Sichuan, Yunnan and Guizhou Provinces. Migration and occurrence of white-backed planthoppers and brown planthoppers in southwest China [J]. *Acta Phytopythologica Sinica*, 1982, 9 (3): 179–186. 四川、贵州、云南三省稻飞虱科研协作组. 我国西南稻区白背飞虱, 褐稻虱的迁飞和发生特点 [J]. *植物保护学报*, 1982, 9 (3): 179–186]
- Shen HM, Lv HP, Zhou JY, *et al.* Source areas and landing mechanism of early immigration of white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) in Yunnan, 2009 [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (15): 4350–4364. 沈慧梅, 吕建平, 周金玉, 等. 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 [J]. *生态学报*, 2011, 31 (15): 4350–4364]
- Wang YC, Hu GW, Xie MX. A study of upper winds analysis for the migratory path of the white-back planthopper and the brown plant hopper in China [J]. *Acta Phytopythologica Sinica*, 1982, 9 (2): 73–82. 汪毓才, 胡国文, 谢明霞. 我国白背飞虱和褐稻虱迁飞路径的气流分析 [J]. *植物保护学报*, 1982, 9 (2): 73–82]
- Wang Z, Qi GJ, Lv LH, *et al.* Analysis of the source areas of early immigrant white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) in Guangdong Province [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 1253–1259. 汪政, 齐国君, 吕利华, 等. 广东白背飞虱早期迁入种群的虫源地分析 [J]. *应用昆虫学报*, 2011, 48 (5): 1253–1259]
- Wei LL, Lin XH, Li WF, *et al.* Investigation on overwintering of rice planthoppers in Southwest Yunnan Province [J]. *China Plant Protection*, 2020, 40 (4): 39–42. 韦丽莉, 林兴华, 李文芳,

- 等. 滇西南稻区稻飞虱越冬情况调查 [J]. 中国植保导刊, 2020, 40 (4): 39–42]
- Xu LZ, Chen AD, Zhao XQ, *et al.* Source areas and landing mechanisms of early immigrating white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) in southeastern Yunnan [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2016, 53 (6): 1301–1316. 徐兰珍, 谌爱东, 赵雪晴, 等. 滇东南地区白背飞虱早期迁入种群的虫源地与降落机制 [J]. 应用昆虫学报, 2016, 53 (6): 1301–1316]
- Yan JL, Liu YB, Kong FF, *et al.* Overwintering investigation of rice planthopper [J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 1982, 5: 31–36. 杨家鸾, 刘玉彬, 孔凡夫, 等. 稻飞虱越冬考察 [J]. 云南农业科技, 1982, 5: 31–36]
- Zhai BP, Cheng JA. The conference summary of workshop on the two primary migratory pests of rice, rice planthopper and rice leaf roller in 2006 [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2006, 43 (4): 585–588. 翟保平, 程家安. 2006 年水稻两迁害虫研讨会纪要 [J]. 昆虫知识, 2006, 43 (4): 585–588]
- Zhai BP, Zhang XX. Behaviour of migrating insects: Adaptation and selection to atmospheric environment [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1993, 13 (4): 356–363. 翟保平, 张孝羲. 迁飞过程中昆虫的行为: 对风温场的适应与选择 [J]. 生态学报, 1993, 13 (4): 356–363]
- Zhai BP, Zhou GH, Tao XR, *et al.* Macroscopic patterns and microscopic mechanisms of the outbreak of rice planthoppers and epidemic SRBSDV [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (3): 480–487. 翟保平, 周国辉, 陶小荣, 等. 稻飞虱暴发与南方水稻黑条矮缩病流行的宏观规律和微观机制 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (3): 480–487]
- Zhang XX. The type, physiological and ecological mechanisms of migration insect [J]. *Entomological Knowledge*, 1980, 17 (5): 236–239. 张孝羲. 昆虫迁飞的类型及生理、生态机制 [J]. 昆虫知识, 1980, 17 (5): 236–239]
- Zhao XL, Li QY. Occurrence characteristics of *Sogatella furcifera* population in Cangyuan County, southwest Yunnan Province, China [J]. *Plant Protection*, 2015, 41 (5): 192–196. 赵秀兰, 李秋阳. 滇西南沧源县白背飞虱种群发生特点 [J]. 植物保护, 2015, 41 (5): 192–196]
- Zhao XQ, Shen HM, Yin YQ, *et al.* The occurrence characteristics and population dynamics of *Sogatella furcifera* (Horváth) in Yunnan Province [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (2): 516–524. 赵雪晴, 沈慧梅, 尹艳琼, 等. 云南白背飞虱的发生与种群消长特点 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (2): 516–524]
- Zhao XQ, Wu Y, Yan YQ, *et al.* Characteristics of the overwintering population of the white-backed planthopper and the correlation between the abundance of this population and that of the summer population in Yunnan [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (3): 338–348. 赵雪晴, 吴俨, 尹艳琼, 等. 云南稻区白背飞虱越冬种群发生及其与田间种群的相关性 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (3): 338–348]
- Zheng DB, Cui MH, He HP, *et al.* Source areas and landing mechanisms of early immigrant population of white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) in Shizong, Yunnan Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (15): 4262–4271. 郑大兵, 崔茂虎, 何洪平, 等. 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 [J]. 生态学报, 2014, 34 (15): 4262–4271]
- Zhou GH, Wen JJ, Cai DJ, *et al.* Southern rice black-streaked dwarf virus: A new proposed *Fijivirus* species in the family Reoviridae [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53 (20): 2500–2508. 周国辉, 温锦君, 蔡德江, 等. 呼肠孤病毒科斐济病毒属一新种: 南方水稻黑条矮缩病毒 [J]. 科学通报, 2008, 53 (20): 2500–2508]
- Zhu MH, Gong ZM. Study on the relationship between immigration and occurrence of white backed planthopper (*Sogatella furcifera*) [J]. *Entomological Knowledge*, 1983, 20 (4): 154–157. 朱明华, 龚泽明. 白背飞虱迁入虫源与发生程度的关系探讨 [J]. 昆虫知识, 1983, 20 (4): 154–157]