

DOI: 10.5846/stxb201212051752

郑大兵, 崔茂虎, 何洪平, 沈慧梅, 胡高, 陈晓, 翟保平. 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, 2014, 34(15): 4262-4271.

Zheng D B, Cui M H, He H P, Shen H M, Hu G, Chen X, Zhai B P. Source areas and landing mechanisms of early immigrant population of white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) in Shizong, Yunnan Province. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(15): 4262-4271.

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

郑大兵¹, 崔茂虎², 何洪平¹, 沈慧梅³, 胡高², 陈晓², 翟保平^{2,*}

(1. 云南省师宗县植保植检站, 师宗 655700;

2. 南京农业大学植物保护学院昆虫学系, 农作物生物灾害综合治理教育部和农业部重点实验室, 南京 210095;

3. 云南省农科院农业环境资源研究所, 昆明 650205)

摘要:通过对 1990—2012 年云南省师宗县 4—5 月出现的白背飞虱灯诱高峰日进行轨迹模拟以及降虫高峰日的风场分析, 得到以下结果: 4 月下旬, 师宗上空盛行西风, 白背飞虱虫源主要来自缅甸东北部, 部分来自越南北部和金三角地区; 5 月份, 西南风为盛行风向, 其中上中旬的虫源地主要分布在越南西北部、老挝北部和滇西南, 缅甸东北部可提供部分虫源; 下旬则主要分布在滇西南, 部分虫源来自越南西北部、老挝北部和缅甸东北部。对降虫高峰期的大气环流背景、峰日风温场、降雨等气象因子的分析结果表明, 降水、风切变和气流垂直扰动是造成白背飞虱集中降落的主要因子。

关键词:白背飞虱; 前期迁入; 虫源地; 轨迹模拟; 降落机制

Source areas and landing mechanisms of early immigrant population of white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) in Shizong, Yunnan Province

ZHENG Dabing¹, CUI Maohu², HE Hongping¹, SHEN Huimei³, HU Gao², CHEN Xiao², ZHAI Baoping^{2,*}

1 Shizong Plant Protection and Quarantine Station, Shizong 655700, China

2 Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Insect Pests (Ministry of Education, Ministry of Agriculture of China), Nanjing 210095, China

3 Institute of Agricultural Environments and Resource, Yunnan Academy of Agricultural Science, Kunming 650205, China

Abstract: From April to May, 1990—2012, the source areas of early immigration of white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) (WBPH) were studied through the analysis on the daily light-trap catches, immigration trajectory simulation and horizontal wind field. The following results were obtained: The high frequency of westerly wind carried the large population of WBPH to Shizong in late April. The source areas were mainly located in northeastern Myanmar and the secondary source areas were at northern Vietnam and Golden Triangle. Airborne WBPH populations were carried by a strong, low-level, southwest jet-stream in May and the mass immigration of WBPH into Shizong during early and middle May was found from northern Laos, northwestern Vietnam and Southwestern Yunnan, and some immigrants from northeastern Myanmar. Most of the immigrants in late May were tracked to Southwestern Yunnan, and part of immigrants to northwestern Vietnam, northern Laos and northeastern Myanmar. Based on the analysis on the meteorological background and rainfall distribution, it was found that the extensive heavy rainfall in southeastern Yunnan during late April to May and

基金项目:国家 973 项目(2010CB126200); NSFC-云南联合基金重点项目(U1202266); 农业公益性行业科研专项(200903051)

收稿日期:2012-12-05; **修订日期:**2014-04-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

low temperature shield of surrounding to flying WBPH and the wind shear associated with heavy precipitation were the key factors to affect the concentrated landing of WBPH.

Key Words: *Sogatella furcifera*; early immigration; source area; migration simulation; landing mechanism

师宗地处滇东北高原区向滇东南低山与河谷的过渡地带,境内形成西南-东北和东南-西北走向的廊道,是白背飞虱从境外入滇北上直进黔川渝的主要通道^[1-4]。师宗位于哀牢山以东,主要受东南季风影响,同时受西南季风影响,常为两种季风的交汇处^[5-6],增加了稻飞虱虫源地分布的复杂性和迁飞路径的多样性。

师宗以单季稻为主,常年3月底育秧,5月中旬移栽。本地无越冬虫源,水稻上的稻飞虱均为外地迁入种群,因此主害代的发生程度取决于白背飞虱迁入代的虫源基数^[7-8]。2012年5月,师宗出现持续灯诱高峰,白背飞虱单灯单日过3000头的虫峰达16个,其中5日、8日和12日分别达85043头、252723头和285168头。5月中旬的田间调查发现,部分乡镇秧田期每平方米成虫达千头,大田期百丛虫量5000—8000头以上,个别田块上万头。如此大规模的迁入实属历史罕见,确定师宗白背飞虱虫源地的具体分布已迫在眉睫。

诸多稻飞虱迁入事件的随机性和不确定性以及近年来的发生情况表明,宏观层面上的迁飞基本规律尚不足以展现中小尺度的实际迁飞动态,而影响稻飞虱种群迁出、迁入和暴发的外界因子(温度、湿度、降雨、季风等)在年际间、代际间变化极大,大大增加了稻飞虱预测和防治的难度。因此,只有在中小尺度水平上阐明稻飞虱的虫源地分布、大规模迁入的降落机制、迁出虫源降落地等才能满足测报防治的实际需要,解决测报工作中的“瓶颈”问题,进而实现稻飞虱的精细化异地预测的目标。

从地形地貌、地理位置、受季风影响、水稻种植和稻飞虱迁入量上,师宗都是滇东南最有代表性的地区,本研究对师宗县1990—2012年4—5月白背飞虱迁入高峰日进行回推轨迹模拟,分析迁飞期间的天气学背景,并结合虫源地虫情数据来验证虫源地分布的合理性,最终确定师宗白背飞虱前期迁入种群的虫源地分布,以期对白背飞虱的精细化异地监测和综合治理提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 资料来源

(1)虫情资料 稻飞虱历史虫情数据由云南省师宗县植保植检站提供,包括1990—2012年的逐日灯诱数据以及田间普查数据;东南亚水稻种植和稻飞虱虫情信息为南京农业大学昆虫学系信息生态实验室实地考察所得。

(2)气象资料 采用美国国家环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)的全球再分析数据(6h 1次,1°×1°)。降水资料采用中国气象局提供的6h 1次地面观测资料(从广西GMISS网站下载)和国家气象信息中心提供的中国地面气候资料(包括逐日降水资料和24h降水资料,网址:<http://cdc.cma.gov.cn>)。

1.2 轨迹分析与参数设置

轨迹分析软件采用美国国家大气与海洋局(NOAA)和澳大利亚国家气象局(ABM)共同开发的大气质点轨迹分析平台HYSPLIT进行在线模拟。模型所使用的数据为NCEP再分析格点数据,经纬网格为2.5°×2.5°。网址<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>。

利用Visual Foxpro软件将回推轨迹的终点、风向、风速分别组建数据库,并采用ArcGIS地理信息系统对各虫源区的概率进行Spline插值运算。

参数设置:(1)白背飞虱是顺风迁移的^[9-11];(2)白背飞虱在日出前或日落后1h内起飞^[10,12-13];(3)迁飞高度根据季节和各高度层温度不同而设,春、秋季白背飞虱的迁飞高度为1000—1500m^[9-11],飞行低温阈限为16.5℃^[14]。师宗五龙的平均海拔在1200m以上,地面气压接近850hPa(天气学背景分析时主要考虑800hPa和750hPa两个高度层),结合师宗4—5月份不同高度层温度的差异,设定轨迹起始高度为距地面500、800和1200m;(4)设定高峰日灯诱的白背飞虱在开灯后至翌日关灯前的时间段内降落,回推轨迹以降虫区为起点,以降虫峰日作为回推

起始日期,以此时间段内整点时刻为起始时刻,每隔 1h 回推 1 次。师宗 4—5 月份的日出、日落时刻^[15]分别为北京时间 6:00、19:00,转化为 UTC 时间分别为 22:00、11:00,选定 12:00 至 22:00(UTC Time)间的整点时刻(包括 12:00 和 22:00)为回推轨迹的起始时刻^[16-17]; (5)最长续航时间取 35h^[18-19]。

有效轨迹判定标准:回推或顺推轨迹的起始时间与终止时间必须符合白背飞虱的起飞或降落的时间节律特性^[13,20-21],回推轨迹终点处必须具有适宜生育期即生长中后期的水稻种植区,且当地稻田存在大量正值迁出期的长翅型白背飞虱^[22-24]。按以上标准剔除不合理轨迹后得到有效轨迹。

1.3 迁入高峰日的选择

以灯下诱虫量突增作为分析 1 次迁入过程的起始日期,根据病虫害情报所提供信息进一步确定迁入高峰期。以 4 月份白背飞虱单灯单日虫量过 100 头、5 月份过 1000 头的标准对 1990—2008 年师宗灯诱数据进行筛选,得到 20 个峰次;2009 年更换测报灯(由黑光灯变为佳多虫情测报灯)后,以 4 月份单灯单日虫量过 150 头,5 月份过 3000 头的标准对 2009—2012 年的灯诱数据进行筛选,得到 32 个峰次。

2 结果与分析

2.1 师宗白背飞虱春季迁入的特征分析

2.1.1 白背飞虱灯下始见日

师宗无本地越冬虫源,因此诱虫灯下白背飞虱的始见之日,即外地虫源开始迁入之时。1990—2012 年的灯诱资料显示,师宗白背飞虱始见期呈现明显的提早趋势。最早出现在 2012 年的 3 月 15 日,最迟年份则是 1990 年,始见日为 5 月 18 日,23a 的平均始见日为 4 月 16 日(图 1)。由图 2 可知,始见日在不同月份出现频次及频率差异明显,以 4 月份居多。其中 3 月中旬 1 次,占 5.56%;3 月下旬 2 次,占 11.11%;4 月上旬 4 次,占 22.22%;4 月中旬 3 次,占 16.67%;4 月下旬 6 次,占 33.33%;5 月上旬和中旬各 1 次,均占 5.56%。

2.1.2 白背飞虱灯诱虫量的年际变化

1990—2012 年 4 月和 5 月的灯诱资料表明,师宗白背飞虱早期迁入虫量呈逐年增加趋势。4 月份诱虫量最大值出现在 2009 年,为 1096 头;5 月份最

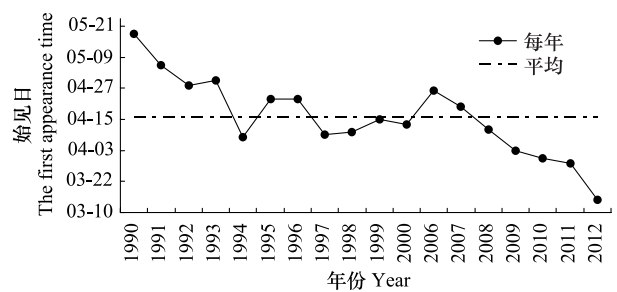


图 1 1990—2012 年云南师宗白背飞虱始见日

Fig.1 The first appearance date of light-trap catches of WBPH from 1990 to 2012 in Shizong, Yunnan

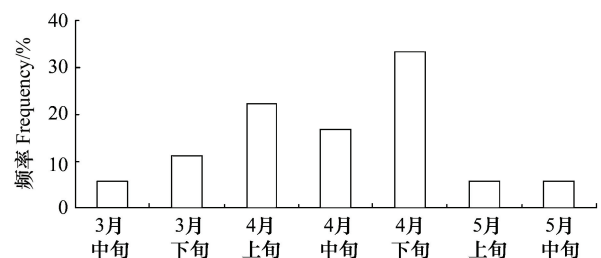


图 2 3—5 月云南师宗白背飞虱始见日在各旬出现频率

Fig.2 The frequency of the first appearance date of light-trap catches of WBPH for each ten-days from March to May in Shizong, Yunnan

大的是 2012 年,达 927380 头。4—8 月灯诱资料(其中 2012 年为 4—6 月)表明,总诱虫量最大的年份为 2012 年,其次为 2009 年,分别高达 928452 头和 296030 头(图 3)。

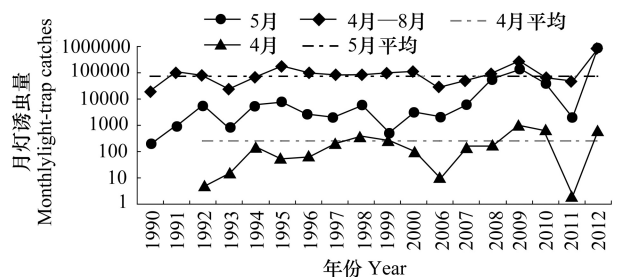


图 3 1990—2012 年 4—8 月师宗白背飞虱灯诱虫量动态

Fig.3 The light-trap catches of WBPH from April to August from 1990 to 2012 in Shizong

2.1.3 白背飞虱迁入期的风场分析

白背飞虱体型小,自身飞行能力弱,常利用运载气流从虫源地到达降虫区。每年 4—5 月份,云南省上空主要盛行西风与西南风。4 月下旬,滇东南地区 800hPa 高度上盛行西风,5 月份以后,西南气流逐渐强势并控制滇东南上空。

对师宗 2007—2012 年 4 月下旬至 5 月份

800hPa 等压面上风速大于或等于 5m/s 的风向做频次统计,结果如表 1 所示。6a 的统计结果显示西南风、西风、南风 and 东南风 4 种风向频次累积总和占总频次的 78.08%,其中西南风所占比例最大,为 31.23%,其次为西风 25.58%,南风和东南风各占 21.27%。4 种风向频次在年际间和每月各旬间所占比例均有变化,4 月下旬盛行西风,而 5 月份则盛行西南风,西南风和西风是师宗上空的主导风向。

表 1 2007—2012 年 4—5 月份师宗 800hPa 风向风速(≥5m/s) 频次统计
Table 1 The frequency of wind direction and speed (≥5m/s) at 800hPa in Shizong from April to May, 2007—2012

高度 Height	风向 Direction	4 月 April				总计 Total	百分率/% Percentage
		C	A	B	C		
800hPa	N	0	2	1	2	5	1.66
	NE	7	12	12	10	41	13.62
	E	9	3	5	3	20	6.64
	SE	8	5	1	7	21	6.98
	S	5	15	11	12	43	14.29
	SW	19	36	22	17	94	31.23
	W	32	18	14	13	77	25.58
	NW	0	0	0	0	0	0

2.2 师宗白背飞虱虫源地分析

将师宗稻区白背飞虱的虫源地按运载气流的风向划分为 3 个区域,并参照白背飞虱在滇南的越冬北界(23.5°N)及轨迹落点的分布情况进一步将虫源地细划为 39 个小区,分别为西风虫源区、西南风虫源区、南风或东南风虫源区。

对 1990—2012 年 45 个迁入高峰日白背飞虱虫源地的轨迹分析结果表明,4—5 月师宗白背飞虱虫源地主要分布在越南老挝北部、云南南部和西南部以及缅甸东北部,越老中部、泰国北部和东北部、缅甸中部、印度东部和孟加拉国可提供部分虫源。由表 2 可知,西南风虫源区的落点数有 1569 个,占总落点数的 50.40%;西风虫源区有 731 个,占总体的

23.48%;南风或东南风虫源区 813 个,占 26.12%。39 个小区中,以 24 区(滇东南、越南北方)的落点数最多,为 518 个,占总落点数的 16.64%,其次为 18 区(滇中)和 23 区(滇东南与越南西北部),落点数分别为 467 个和 477 个,所占比例分别为 15.00%和 15.32%。

对 4—5 月各旬的虫源地分析表明,4 月下旬白背飞虱虫源地主要分布在缅甸东北部、越南北部及缅、老、滇三地交界处;5 月上旬主要分布越南西北部、缅甸东北部和滇西南;5 月中旬主要分布在越南西北部以及越、老、滇三地交界处;5 月下旬主要分布滇西南和越南西北部。

表 2 师宗 4—5 月份各旬白背飞虱虫源地频次及概率分布
Table 2 The distribution of frequency and percentage of source area of WBPH from April to May in Shizong

区域 Regions(See fig. 4A)	各旬回推轨迹落点分布 The distribution of endpoints of backward trajectories for each period									
	4 月下旬		5 月上旬		5 月中旬		5 月下旬		4 月下旬—5 月下旬	
	F	P/%	F	P/%	F	P/%	F	P/%	F	P/%
1	2	0.65	0	0	0	0	0	0	2	0.06
2	3	0.97	0	0	0	0	0	0	3	0.10
3	3	0.97	0	0	0	0	0	0	3	0.10
4	3	0.97	0	0	0	0	0	0	3	0.10
5	6	1.95	7	0.85	0	0	0	0	13	0.42
6	23	7.47	28	3.39	9	1.14	17	1.43	77	2.48
7	38	12.34	37	4.47	15	1.91	27	2.27	117	3.76
8	34	11.04	36	4.35	14	1.78	32	2.68	116	3.73
9	2	0.65	0	0	0	0	0	0	2	0.06
10	2	0.65	0	0	0	0	0	0	2	0.06
11	1	0.33	0	0	0	0	0	0	1	0.03
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

续表

区域 Regions(See fig. 4A)	各旬回推轨迹落点分布 The distribution of endpoints of backward trajectories for each period									
	4月下旬		5月上旬		5月中旬		5月下旬		4月下旬—5月下旬	
	F	P/%	F	P/%	F	P/%	F	P/%	F	P/%
13	0	0	0	0	3	0.38	0	0	3	0.10
14	2	0.65	0	0	9	1.14	0	0	11	0.35
15	24	7.79	8	0.97	6	0.76	34	2.85	72	2.31
16	29	9.42	34	4.11	12	1.53	76	6.38	151	4.85
17	—	—	42	5.08	11	1.40	102	8.56	155	4.98
18	—	—	125	15.11	70	8.91	272	22.82	467	15.00
19	5	1.62	0	0	3	0.38	0	0	8	0.26
20	0	0	2	0.24	12	1.53	16	1.34	30	0.96
21	2	0.65	12	1.45	13	1.65	51	4.28	78	2.51
22	11	3.57	39	4.72	61	7.76	79	6.63	190	6.10
23	18	5.84	167	20.19	156	19.85	136	11.41	477	15.32
24	24	7.79	173	20.92	155	19.72	166	13.93	518	16.64
25	0	0	12	1.45	38	4.83	30	2.52	80	2.57
26	0	0	0	0	0	0	1	0.08	1	0.03
27	0	0	0	0	0	0	3	0.25	3	0.10
28	2	0.65	0	0	8	1.02	0	0	10	0.32
29	21	6.82	6	0.73	47	5.98	15	1.26	89	2.86
30	5	1.62	52	6.29	63	8.02	32	2.68	152	4.88
31	29	9.42	13	1.57	42	5.34	69	5.79	153	4.91
32	11	3.57	0	0	0	0	11	0.92	22	0.71
33	0	0	0	0	3	0.38	6	0.50	9	0.29
34	0	0	0	0	19	2.42	1	0.08	20	0.64
35	0	0	15	1.81	16	2.04	1	0.08	32	1.03
36	6	1.95	5	0.61	1	0.13	15	1.26	27	0.87
37	2	0.65	0	0	0	0	0	0	2	0.06
38	0	0	3	0.36	0	0	0	0	3	0.10
39	0	0	11	1.33	0	0	0	0	11	0.35
总计 Total	308	100.00	827	100.00	786	100.00	1192	100.00	3113	100.00

F: 频次, P: 概率

2.3 降落机制

2.3.1 师宗白背飞虱春季迁入的降落机制

对 2007—2012 年 45 个迁入高峰日的白背飞虱降落机制进行了分析(表 3),其中有 21 次降虫峰与

风切变有关,27 次与气流的垂直扰动有关,3 次与低温屏障有关,35 次与降水有关,有 2 次降虫峰与下沉气流有关。可见,降水、风切变和气流垂直扰动是师宗稻区白背飞虱集中降落的重要因子。

表 3 4—5 月份师宗白背飞虱主要迁入峰日的影响降落的气象因子

Table 3 The meteorological factors in the major immigration peaks of WBPH in Shizong from April to May

峰期 Peak period	降落因子 Landing factor				
	风切变 Wind shear	下沉气流 Downdraft	垂直扰动 Vertical perturbation	低温屏障 Low temperature barrier	降水 Precipitation
2007-05-11	+		+		+
2007-05-17	+			+	+
2008-05-16	+			+	+
2008-05-17					+
2008-05-18		+	+	+	+
2008-05-21			+		
2008-05-22					+

续表

峰期 Peak period	降落因子 Landing factor				
	风切变 Wind shear	下沉气流 Downdraft	垂直扰动 Vertical perturbation	低温屏障 Low temperature barrier	降水 Precipitation
2008-05-23	+		+		+
2008-05-24					+
2008-05-25			+		+
2008-05-26			+		
2008-05-27	+		+		
2008-05-28					+
2009-04-27	+		+		+
2009-04-30			+		
2009-05-06					+
2009-05-07			+		
2009-05-08			+		
2009-05-11			+		
2009-05-24			+		+
2009-05-25			+		+
2009-05-26			+		+
2009-05-27			+		
2010-04-21	+		+		+
2010-05-09	+		+		+
2010-05-14	+		+		+
2010-05-26					+
2010-05-27					+
2012-04-30		+	+		
2012-05-04	+		+		+
2012-05-05	+		+		+
2012-05-06					+
2012-05-07					+
2012-05-08					+
2012-05-09	+		+		+
2012-05-10	+				+
2012-05-11	+				+
2012-05-12	+				+
2012-05-13	+				+
2012-05-14	+		+		+
2012-05-15	+				
2012-05-16	+		+		+
2012-05-17			+		+
2012-05-21	+				+
2012-05-22	+		+		+

+示造成集中降落的气象因子 + The factor bringing out immigration peaks of WBPH

2.3.2 几次迁入峰的个例分析

2009 年 5 月 26 日的回推轨迹显示虫源来自缅甸东部、云南西南部以及越南西北部与老挝北部交界地区。2010 年 5 月 26 日的回推轨迹显示虫源来自越南北部的红河三角洲地区和清化省、老挝中部

和西部的湄公河流域。

2009 年 5 月 26 日 14:00(所述时间为 BJT,下同)800hPa 高度上,10m/s 的西南气流穿过缅甸东部上空并到达滇东南(图 4);5 月 27 日 02:00,云南东部有降雨过程,并且师宗 800hPa 高度上空出现强的

垂直气流扰动,向上速度大于 0.3Pa/s(图 4),造成稻飞虱在滇东南的集中降落,其中 26 日晚师宗灯下出现 2 万头以上的白背飞虱迁入峰。

2010 年 5 月 26 日 20:00 800hPa 高度上,9m/s 的东南气流穿过越南北部上空并控制滇东地区(图 4);5 月 27 日 02:00,滇东、桂西和贵南三地交界处出现一次大的降雨过程,北迁的稻飞虱无法穿越大雨区而降落,师宗正处于大雨区西南边缘,26 日晚灯下出现 5000 头以上的白背飞虱迁入峰。可见,降雨

和垂直气流扰动是这两次白背飞虱集中迁入的主要原因。

那么虫源地的情况如何呢? 每年 5 月中下旬,缅甸中、东部水稻基本处于分蘖末-孕穗期,部分灌浆,越南北部水稻处于齐穗-灌浆期(表 4);而滇西南水稻生育期较复杂,部分地区可全年种植,有一定基数的越冬虫源。2009 年 5 月 23 日调查结果显示,位于滇南的江城县白背飞虱田间百丛虫量为 7455 头;2010 年 5 月 17 日越南河南省府里县白背飞虱田间

表 4 4—5 月份东南亚及云南南部白背飞虱虫情汇总

Table 4 The WBPH and rice growth stage in southeast Asia and southern Yunnan from April to May

日期 Date	区域 Region	调查地点 Location	经度 Lon.	纬度 Lat.	百丛虫量 Counts per 100 hills	水稻生育期 Rice growth stage
2011-05-05	缅甸中部	觉色因多西	96.20	21.50	322	分蘖末-拔节期
2011-05-06	缅甸中部	皎施北郊	96.13	21.64	310	分蘖中-拔节期
2011-05-09	缅甸中部	曼德勒南部	96.09	21.89	200	孕穗-灌浆期
2011-05-09	缅甸中北部	瑞保以南	95.69	22.53	992	分蘖中期
2011-05-07	缅甸东北部	皎梅东北部	97.19	22.56	148	灌浆期
2008-04-24	越南北部	海防省北部	106.67	20.98	410	分蘖期
2008-04-25	越南北部	宁平省宁平以西	105.97	20.22	317	拔节期
2008-04-28	越南北部	北江省东北部	106.28	21.42	635	分蘖期
2010-05-16	越南北部	谅山区	106.62	21.82	7805	分蘖中期
2010-05-16	越南北部	北江省米县	106.26	21.34	378	齐穗期
2010-05-16	越南北部	河内北郊	105.97	21.09	907	齐穗期
2010-05-17	越南北部	河南省府里	105.92	20.42	1280	齐穗期
2012-05-15	越南北部	谅山区同心村	106.59	21.66	2035	苗期-分蘖末期
2012-05-15	越南北部	北江省和德镇	106.24	21.29	423	始穗-齐穗期
2012-05-15	越南北部	北宁省	106.02	21.18	321	孕穗-始穗期
2009-05-23	云南南部	江城县国庆乡	101.87	22.63	7455	分蘖期
2011-04-29	老挝中部	琅勃拉邦蒙南县	102.87	19.49	190	黄熟期,部分灌浆

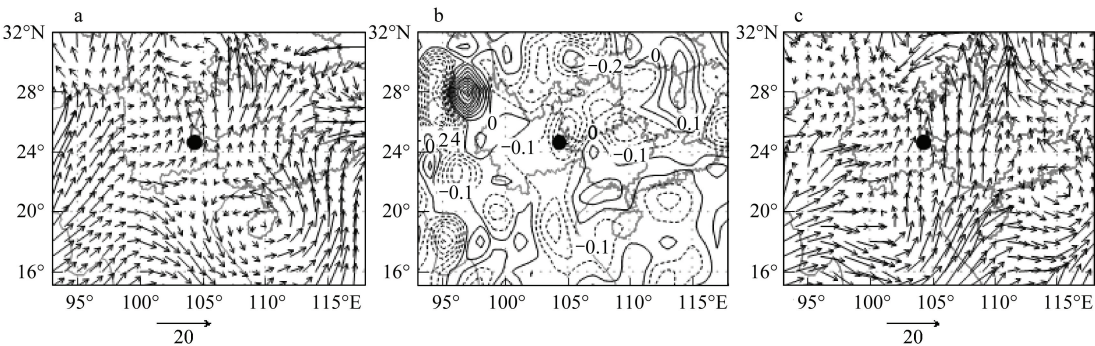


图 4 2009—2010 年师宗部分迁入峰日 800hPa 高度上的水平风场 (m/s) (a,c) 和垂直速度场 (Pa/s) (b)

Fig.4 Horizontal wind field (m/s) (a,c) and Vertical velocity (Pa/s) (b) on 800hPa during some immigration peaks from 2009 to 2010 in Shizong, Yunnan

a: 2009-05-26, 14: 00 b: 2009-05-26, 20: 00 c: 2010-05-26, 20: 00; 黑圆点示师宗县

百丛虫量为 1280 头,且以 4—5 龄若虫为主,清化省和中县为 100 头;5 月 21 日老挝中部琅勃拉邦市附近白背飞虱田间百丛虫量为 85 头,表明以上地区均有水稻种植且具备白背飞虱外迁的条件。可见,5 月下旬越南北部、云南西南部和缅甸东部可为师宗提供主要虫源,老挝中部和西部可提供部分虫源。

3 结论与讨论

2005 年以来,云南省白背飞虱多次暴发危害,给当地的粮食生产带来了巨大损失,植保部门对白背飞虱的测报防治急需新的理论指导,关于云南省白背飞虱虫源地中小尺度上的精细化研究变得更加重要。

云南省东南与越南为邻,南接老挝,西南毗邻缅甸,是我国稻飞虱境外迁入的第一站。近十年,东南亚的越南、缅甸及老挝北部地区发展替代罂粟种植项目,其中杂交水稻已占到 1/4,稻飞虱的寄主面积大大增加。2006 年,缅甸北部的密支那省水稻种植面积达到 7.33 万 hm^2 (110 万亩),老挝北部风沙里省和南塔省分别为 1 万 hm^2 (15 万亩) 和 1.667 万 hm^2 (25 万亩)。随着水库水坝工程的发展,老挝、缅甸等国家北部一些地区可在每年的 4 月播种,比滇南水稻生育期早 1 个月,为滇南稻区提供了稻飞虱虫源的积累^[3]。每年 5 月中下旬,缅甸中部和东北部水稻处于分蘖末-孕穗期,部分灌浆期;越南北部水稻处于齐穗-灌浆期;而云南西南部水稻生育期复杂,部分地区水稻可全年种植,有一定基数的越冬虫源(表 4)。东南亚地区水稻耕作制度的变化以及杂交水稻的推广,为白背飞虱提供了充足的食料条件和生存场所,而增长的白背飞虱种群也为我国云南稻区提供了大量虫源,这是近年来我国云南稻区白背飞虱前期迁入虫量不断增加的主要原因。

黄凤宽等通过比较云南思茅(滇西南)与开远(滇东南)褐飞虱的致害性发现,两地的种群分别属于孟加拉型和生物型 II,从而推断出思茅和开远的初始虫源来自不同的地区^[25-26]。沈慧梅等对江城与西畴稻飞虱初始虫源的研究发现,滇南的江城主要虫源来自缅甸、泰国东北部和老挝北部,而滇东南的西畴虫源地则集中在越南红河三角洲地区^[27]。

师宗地处偏南暖湿气流迎风坡,境内山峦起伏,河流纵横,地势西北高东南低,由西北向东南呈梯

状。近年来,云南师宗白背飞虱的始见期呈提前趋势,前期灯诱虫量也在增加,2012 年 4—5 月份灯诱总虫量为 927380 头,单灯单日灯诱虫量在 5 万头以上的虫峰达 5 次之多,师宗已成为滇东南的“虫窝子”。本研究发现,师宗 4 月下旬的虫源主要来自缅甸北部,而 5 月份的虫源则主要来自越南西北部、老挝北部和滇西南。4 月下旬,缅甸东北部水稻处于分蘖末-拔节期,白背飞虱处于迁出期,迁出的白背飞虱借助西风东迁,为滇东南的师宗提供前期迁入虫源。5 月上中旬,越南北部和老挝北部的水稻处于抽穗-齐穗期,白背飞虱开始大量迁出,并借助盛行的偏南气流北迁。到 5 月下旬,滇西南的白背飞虱开始大量迁出,越南西北部及缅甸东北部也可提供部分虫源,共同组成师宗稻区的主要迁入虫源。

白背飞虱在迁飞过程中不完全是被动地随风漂流,而是在一定程度上自主地选择乘风远迁。携虫气流在降雨、下沉气流、风向幅合等外力作用下会被集中迫降,在飞行能源物质耗尽或温度骤变低于其飞行阈值时也会选择主动降落^[6,28-29]。其中,降水和下沉气流是影响稻飞虱集中降落的两个重要气象因子^[30]。江广恒等曾对 1977—1978 年出现的 67 次褐飞虱北迁过程和 15 次南迁过程中的气象要素进行统计,发现降雨和下沉气流是影响褐飞虱集中降落的主要气象因子^[31-32]。包云轩等分析了 2003 年 7 月 10—11 日出现的白背飞虱迁入过程,表明降水是造成此次白背飞虱集中降落的直接原因^[33]。本研究统计了 2007—2012 年 4—5 月师宗县白背飞虱的 45 次迁入过程,结果表明有 35 次降虫峰与降水有关,有 2 次降虫峰与下沉气流有关;此外,在 27 次降虫过程中出现了气流的垂直扰动,另有 21 次降虫与风切变有关,还有 3 次降虫由低温屏障所致。师宗地处偏南暖湿气流迎风坡,降水丰富,年均降水量 1235.57mm,雨季始于 5 月份。本研究所选取的 52 个迁入高峰中有 47 个出现在 5 月份,仅有 5 个出现在 4 月下旬,迁入高峰的出现与雨季具有同步性,可见降雨是影响师宗白背飞虱迁入种群集中降落的重要因子。师宗地势西北高东南低,由西北向东南呈梯状,地势波折起伏,气流在运动过程中由于地势的抬升或下降而引起垂直扰动对稻飞虱的降落也有一定的作用。

20 世纪 70、80 年代的飞机网捕、高山网捕及以

后的雷达观测均发现稻飞虱的迁飞与环境温度关系密切^[9-11,34],空中稻飞虱虫层高度的上限与其飞行低温阈值(16.5℃)的高度相一致^[10]。师宗位于24.8°N附近,4月气温较低,低温屏障是阻滞低空急流中稻飞虱越过滇东南上空的重要因子^[6];5月中下旬温度逐渐升高,低温对稻飞虱的迁飞影响减弱。师宗境内平均海拔在1800—1900m,但其东南部南盘江沿岸的五龙乡(本文所用诱虫灯所在地)、龙庆乡等地海拔稍低,平均在1200m左右。对师宗45个迁入高峰日850hPa(相当于海拔1500m)、800hPa(相当于海拔2000m)和750hPa(相当于海拔2500m)3个高度层温度的统计分析表明,仅有3次降虫过程与低温阈值有关。前人的研究表明,风切变可导致稻飞虱的集中降落^[6,31-33]。本研究中,也有21次降虫与风切变有关,风切变引起携虫气流风速大小和风向的改变及气温的骤变而干扰了稻飞虱的正常北迁,为其集中降落提供了条件。另外,地势的起伏、海拔高度等地形因素对稻飞虱的集中降落也会有一定的影响,但其影响的机制有待今后进一步研究。

References:

- [1] 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. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1982, 9 (3): 179-186.
- [2] Hu G W, Xie M X, Wang Y C. A suggestion for delimitation of the incidence areas of White-backed Planthopper in China. *Acta Entomologica Sinica*, 1988, 31 (1): 42-48.
- [3] China and Japan Coordinated Research Group of Rice Planthoppers. Investigation on the overwintering of rice planthoppers in Yunnan. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2000, (4): 3-6.
- [4] Gui R F, Li Y H, Han Z L, Li Z Y, Lü J P. The causes and management for the outbreaks of rice planthoppers in Yunnan. *China Plant Protection*, 2008, 28 (9): 15-17.
- [5] Dang J T. The Southwest Weather of China. Beijing: National Defense Industry Press, 2007: 110-111.
- [6] Shen H M, Lü J P, Zhou J Y, Zhang X X, Cheng X N, Zhai B P. Source areas and landing mechanism of early immigration of white-backed planthoppers, *Sogatella furcifera* (Horváth) in Yunnan, 2009. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (15): 4350-4364.
- [7] Liu Y B, Yang J L, Lin L, Kong F F. The study on occurrence characteristic of white-backed planthoppers and brown planthoppers in Yunnan. *Entomological Knowledge*, 1991, 28 (5): 257-261.
- [8] Li M, Xie G Q, Lu J P. The study on meteorological factors and occurrence characteristic of rice planthoppers in Yunnan. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2009, (S1): 101-103.
- [9] Deng W X. A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae) by means of airplane collections. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1981, 8 (2): 73-81.
- [10] Riley J.R., Cheng X N, Zhang X X, Reynolds D.R., Xu G M, Smith A.D., Cheng J Y, Bao A D, Zhai B P. The long-distance migration of *Nilaparvata lugens* in China: radar observations of mass return flight in the autumn. *Ecological Entomology*, 1991, 16 (4): 471-489.
- [11] Riley J.R., Reynolds D R, Smith A D, Rosenberg L J, Cheng X N, Zhang X X, Xu G M, Cheng J Y, Bao A D, Zhai B P, Wang H K. Observations on the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and other pests in East Central China. *Bulletin of Entomological Research*, 1994, 84 (3): 389-402.
- [12] Lai Z L. Investigation on the overwintering and migration of *Sogatella furcifera*, in Guiyang. *Acta Entomologica Sinica*, 1982, 25 (4): 397-402.
- [13] Zhai B P, Zhang X X, Cheng X N. Parameterizing the migratory behaviour of insects. I: Behavioural analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 1 (1): 7-17.
- [14] 大久保宣雄. 宙吊り飛しょう法によるウンカ類飛しょうの実験的研究. 第1報 トビイロウンカの飛しょうの特徴およびそれらに与える物理的環境条件の影響. *日本応用動物昆虫学会誌*, 1973, 17 (1): 10-18.
- [15] Zhai B P. Computing the day length for programming insect behavior. *Entomological Knowledge*, 2004, 41 (2): 178-184.
- [16] Feng C H, Zhai B P, Zhang X X, Tang J Y. Immigration of the 1991 outbreak populations of rice planthopper (*Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*) into northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (8): 1302-1314.
- [17] Diao Y G, Yang H B, Qu Y F, Chen X, Fang C H, Wu Y, Cheng X N, Zhang X X, Zhai B P. Analysis on population fluctuation and properties of the white-backed planthopper in Huizhou in 2009. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (9): 2872-2882.
- [18] Rosenberg L J, Magor J I. Flight duration of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Ecological Entomology*, 1983, 8 (3): 341-350.
- [19] Rosenberg L J, Magor J I. Prediction wind borne displacements of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* from synoptic weather data. I. Long distance displacements in the northeast monsoon. *Journal of Animal Ecology*, 1987, 56 (1): 39-51.
- [20] Luo J, Wang Y K, Zhang X X, Zhai B P. Migratory biology of the white-backed planthopper: Take-off and emigration. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 1202-1212.
- [21] Zheng D B, Yang F, Zhao Y, Xu J F, Wu C L, Zhang X X, Zhai B P. Formation of white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) population: Case studies in Qianshan, Anhui province, 2009. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 1242-1252.
- [22] Wang Y K, Luo J, Zhang X X, Zhai B P. Migratory biology of the White-backed Planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth): Case studies in Suzhou, Jiangsu Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 1213-1221.
- [23] Diao Y G, Zhang G, Yang H B. Migratory biology of the White-backed Planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth): Case studies on Huizhou, Anhui Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 1222-1230.

- [24] Yang F, Zheng D B, Zhao Y, *et al.* Migratory biology of the White-backed Planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth): Case studies on Qianshan, Anhui Province. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48 (5): 1231-1241.
- [25] Li Q, Luo S Y, Wei S M, Huang F K. An analysis of the relationship or biotypes and seasonal migration of brown planthoppers in China. Entomological Knowledge, 1999, 36 (5): 257-260.
- [26] Huang F K, Wei S M, Huang S S, Luo S Y, Li Q. Studies on the virulence characteristics of the rice brown planthopper collected from Simao and Kaiyuan, Yunnan province. Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science, 2004, 23 (4): 278-281.
- [27] Shen H M, Zhao X Q, Yin Y Q, Shen A D, Lü J P, Zhai B P. Analysis of the source areas of the early immigration of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae), in Jiangcheng and Xichou in Yunnan Province, China. Zoological Research, 2011, 32 (Sul): 17-24.
- [28] Shen H M. The study on oversea source area of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) in China. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.
- [29] Zhai B P, Zhang X X. Behaviour of migrating insects: adaptation and selection to atmospheric environment. Acta Ecologica Sinica. 1993, 13 (4): 356-363.
- [30] Hu G, Bao Y X, Wang J Q, Zhai B P. Case studies on the landing mechanisms of the brown planthoppers *Nilaparvata Lugens* (Stål). Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (12): 5068-5075.
- [31] Jiang G H, Tan H Q, Shen W Z, Cheng X N, Cheng R C. The relation between long-distance northward migration of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) and synoptic weather conditions. Acta Entomologica Sinica, 1981, 24 (3): 251-260.
- [32] Jiang G H, Tan H Q, Shen W Z, Cheng X N, Cheng R C. The relation between long-distance southward migration of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) and synoptic weather conditions. Acta Entomologica Sinica, 1982, 25 (2): 147-155.
- [33] Bao Y X, Xu H Y, Wang J Q, Wang C H, Miao Q L, Zhai B P. Analysis of the atmospheric dynamical backgrounds for the great immigration events of white back planthopper (*Sogatella furcifera*). Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (11): 4527-4535.
- [34] National Coordinated Research Group of Brown Planthoppers. Studies on the migrations of rice planthoppers and its forecast by means of alpine net. Entomological Knowledge, 1981, (6): 241-247.
- 参考文献:
- [1] 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. 植物保护学报, 1982, 9 (3): 179-186.
- [2] 胡国文, 谢明霞, 汪毓才. 对我国白背飞虱的区划意见. 昆虫学报, 1988, 31 (1): 42-48.
- [3] 中日稻飞虱冬季虫源考察. 云南稻飞虱冬季虫源考察. 云南农业科技, 2000, (4): 3-6.
- [4] 桂富荣, 李亚红, 韩忠良, 李正跃, 吕建平. 云南省稻飞虱发生原因及其治理对策. 中国植保导刊, 2008, 28 (9): 15-17.
- [5] 党建涛. 西南天气. 北京: 国防工业出版社, 2007: 110-111.
- [6] 沈慧梅, 吕建平, 周金玉, 张孝羲, 程遐年, 翟保平. 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, 2011, 31 (15): 4350-4364.
- [7] 刘玉彬, 杨家鸾, 林莉, 孔凡夫. 云南白背飞虱和褐稻虱发生特点的研究. 昆虫知识, 1991, 28 (5): 257-261.
- [8] 李蒙, 谢国清, 吕建平. 云南稻飞虱发生特征及气候因素分析. 云南农业科技, 2009, (增刊): 101-103.
- [9] 邓望喜. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究. 植物保护学报, 1981, 8 (2): 73-81.
- [12] 赖仲廉. 贵阳地区白背飞虱的越冬以及迁飞的观察. 昆虫学报, 1982, 25 (4): 397-402.
- [13] 翟保平, 张孝羲, 程遐年. 昆虫迁飞行为的参数化 I: 行为分析. 生态学报, 1997, 1 (1): 7-17.
- [15] 翟保平. 昆虫行为研究中日长的计算. 昆虫知识, 2004, 41 (2): 178-184.
- [16] 封传红, 翟保平, 张孝羲, 汤金仪. 我国北方稻区 1991 年稻飞虱大发生虫源的形成. 生态学报, 2002, 22 (8): 1302-1314.
- [17] 刁永刚, 杨海博, 瞿钰锋, 陈晓, 方春华, 吴颖, 程遐年, 张孝羲, 翟保平. 2009 年徽州稻区白背飞虱种群消长及虫源性质. 生态学报, 2012, 32 (9): 2872-2882.
- [20] 罗举, 汪远昆, 张孝羲, 翟保平. 白背飞虱的迁飞生物学: 起飞与迁出. 应用昆虫学报, 2011, 48 (5): 1202-1212.
- [21] 郑大兵, 杨帆, 赵运, 徐劲峰, 吴彩玲, 张孝羲, 翟保平. 白背飞虱回迁种群的形成: 2009 年安徽潜山的个例分析. 应用昆虫学报, 2011, 48 (5): 1242-1252.
- [22] 汪远昆, 罗举, 张孝羲, 翟保平. 白背飞虱的迁飞生物学: 江苏苏州个例分析. 应用昆虫学报, 2011, 48 (5): 1213-1221.
- [23] 刁永刚, 张国, 杨海博, 瞿钰锋, 张孝羲, 翟保平. 白背飞虱的迁飞生物学: 安徽徽州个例分析. 应用昆虫学报, 2011, 48 (5): 1222-1230.
- [24] 杨帆, 郑大兵, 赵运, 王丽, 徐杨洋, 齐国君, 徐劲峰, 吴彩玲, 张孝羲, 程遐年, 翟保平. 白背飞虱的迁飞生物学: 安徽潜山个例分析. 应用昆虫学报, 2011, 48 (5): 1231-1241.
- [25] 李青, 罗善昱, 韦素美, 黄凤宽. 褐飞虱生物型测定及其与迁飞关系分析. 昆虫知识, 1999, 36 (5): 257-260.
- [26] 黄凤宽, 韦素美, 黄所生, 罗善昱, 李青. 云南思茅和开远稻褐飞虱致害特性比较. 广西农业生物科学, 2004, 23 (4): 278-281.
- [27] 沈慧梅, 赵雪晴, 尹艳琼, 湛爱东, 吕建平, 翟保平. 云南江城和西畴白背飞虱早期迁入虫源分析. 动物学研究, 2011, 32 (增刊): 17-24.
- [28] 沈慧梅. 我国褐飞虱与白背飞虱的境外虫源研究. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [29] 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. 生态学报, 1993, 13 (4): 356-363.
- [30] 胡高, 包云轩, 王建强, 翟保平. 褐飞虱的降落机制. 生态学报, 2007, 27 (12): 5068-5075.
- [31] 江广恒, 谈涵秋, 沈婉贞, 程遐年, 陈若簏. 褐飞虱远距离向北迁飞的气象条件. 昆虫学报, 1981, 24 (3): 251-260.
- [32] 江广恒, 谈涵秋, 沈婉贞, 程遐年, 陈若簏. 褐飞虱远距离向南迁飞的气象条件. 昆虫学报, 1982, 25 (2): 147-155.
- [33] 包云轩, 徐希燕, 王建强, 王翠花, 缪启龙, 翟保平. 白背飞虱重大迁入过程的大气动力背景. 生态学报, 2007, 27 (11): 4527-4535.
- [34] 全国褐稻虱科研协作组. 高山捕虫网在研究稻飞虱迁飞规律和预测中的作用. 昆虫知识, 1981, (6): 241-247.