

滇东南地区白背飞虱早期迁入种群的 虫源地与降落机制*

徐兰珍^{1**} 谌爱东² 赵雪晴² 翟保平^{1***}

(1. 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;
2. 云南省农科院农业环境资源研究所, 昆明 650205)

摘要 【目的】滇东南地区位置特殊, 地形复杂, 是白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 迁入云南的重要通道之一, 早期迁入种群虫源及其降落机制的阐述将为白背飞虱的异地预测提供理论依据。【方法】(1) 用 HYSPLIT 对滇东南地区富宁、麻栗坡、丘北和广南 4 个站点 2008—2012 年 4—5 月白背飞虱迁入高峰日做轨迹分析以阐明其虫源区分布。(2) 用 GrADS 分析 NCEP 的再分析格点数据以形成各迁入峰期的风温场, 阐释迁入峰得以形成的气象背景和降落机制。【结果】(1) 滇东南白背飞虱早期迁入种群虫源地主要分布在越南和老挝北部, 部分来自于缅甸中北部及掸邦高原、泰国北部、滇西和滇西南。其中, 4 月份以缅甸和金三角为主, 5 月份则主要来自越南和老挝北部。(2) 影响白背飞虱降落的因子中, 风切变、低温屏障、降雨和下沉气流分别占 75.9%、56.5%、31.8% 和 25.2%。【结论】滇东南白背飞虱早期迁入虫源主要来自中南半岛, 风切变、低温屏障、降雨和下沉气流四者共同作用形成了白背飞虱在滇东南的频繁迁入。

关键词 白背飞虱, 早期迁入, 越南, 虫源地, 降落机制

Source areas and landing mechanisms of early immigrating white-backed planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) in southeastern Yunnan

XU Lan-Zhen^{1**} CHEN Ai-Dong² ZHAO Xue-Qing² ZHAI Bao-Ping^{1***}

(1. Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;
2. Institute of Agricultural Environments and Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China)

Abstract 【Objectives】The complicated terrain of southeastern Yunnan is an important pathway for the spring migration of the white-backed planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera* (Horváth). Determining the source area and factors that induce the mass landing of early migrant WBPH is important for forecasting outbreaks of this pest. 【Methods】(1) The origins of WBPH captured in light-traps in Funing, Malipo, Guangnan and Qiubei, during each peak period of abundance in April and May from 2008 to 2012 were tracked by trajectory analysis with HYSPLIT. (2) Detailed GrADS analysis of NCEP grid data during periods of peak light trap catch abundance was used to reveal the atmospheric conditions during WBPH immigration and the climatic factors associated with mass landing. 【Results】(1) Northern Vietnam and northern Laos are the major source areas of immigrating WBPH in southeastern Yunnan, but some early immigrants in April generally come from mid-north Myanmar and the Shan plateau, northern Thailand (Golden Triangle) and southwestern Yunnan. (2) Wind shear, low temperature, precipitation and downdrafts are the principal factors that induce the large scale mass landing of WBPH, accounting for 75.9%, 56.5%, 31.8 and 25.2% of immigration events, respectively. 【Conclusion】The source areas of WBPH immigrants during April and May in southeastern Yunnan are generally in the Indo-Chinese Peninsula. Synergy between wind shear, low temperature, heavy rainfall

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 NSFC-云南联合基金项目 (U1202266); 公益性行业(农业)科研专项 (200903051)

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

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

收稿日期 Received: 2016-09-06, 接受日期 Accepted: 2016-09-13

and downdrafts plays a critical role in immigration events.

Key words white-black planthopper, early immigration, Vietnam, source areas, landing mechanisms

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 是我国水稻生产上重要的迁飞性害虫,广泛分布在国内各稻区。白背飞虱是喜温性昆虫,在国内大部分稻区均不能越冬,少量的越冬虫源不足在广大稻区内暴发成灾(胡国文等,1988)。云南稻区白背飞虱是全年的优势种,每年3月底4月初陆续迁入,从南到北、从西到东依次推进,持续为害至9至10月份。早期当地大规模的灯诱虫量和田间大范围的暴发一般取决于迁入代的虫源基数(杨家鸾等,1982;李蒙等,2009),前期的迁入峰早、迁入峰多、迁入量大往往会导致白背飞虱的大发生(朱明华等,1990;祝增荣等,1994)。

云南地处低纬度高原,沟壑相间,地形复杂,各地区水稻栽培制度复杂。滇东南地处云南省与广西省和越南的交界地区,是白背飞虱从境外迁入云南的必经之地,每年受西南气流和东南季风的双重影响,白背飞虱在滇东南地区为害严重。中日稻飞虱越冬考察组和云南的科研工作者对滇南和滇东南是白背飞虱迁入云南的第一站具有普遍认识。沈慧梅等(2011)对江城(滇南)和西畴(滇东南)稻飞虱初始虫源研究发现,滇南的主要虫源来自缅甸、泰国东北部和老挝北部,而滇东南虫源地则集中在越南红河三角洲地区。蒋春先等(2012)对富宁地区2012年白背飞虱3次迁入虫源分析得出,富宁地区白背飞虱迁入虫源主要来自缅甸中部,部分来自泰国北部和越南北部。常年白背飞虱大量迁入滇东南地区,而不是继续北迁或者东迁,哪些因素导致其集中降落仍需要探讨。虽然前人已经做过相关研究,但未能系统阐述滇东南地区早期白背飞虱来自哪里,又如何降落?种种问题表明对滇东南地区白背飞虱早期迁入虫源系统的深入分析势在必行。

本文对滇东南地区的丘北、广南、麻栗坡和富宁4个站点2008—2012年4—5月白背飞虱灯下高峰期进行轨迹模拟,并结合气象资料对迁入

峰天气学背景的分析,阐明滇东南地区白背飞虱早期迁入种群的虫源地分布范围和降落机制所在,从而对稻飞虱的跨境监测和源头治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

虫情资料:白背飞虱历史虫情数据由全国农业技术推广服务中心提供,包括丘北(24.05°N, 104.19°E)、广南(24.05°N, 105.06°E)、麻栗坡(23.12°N, 104.09°E)、富宁(23.63°N, 105.61°E)4个站点2008—2012年的逐日灯诱数据;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。

气象资料:美国国家环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心的全球再分析数据(6 h 1次, 1°×1°)。

地图资料:中国省级行政区图(1:4 000 000),从国家基础地理信息中心网站下载。

1.2 研究方法

1.2.1 轨迹分析 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软件将回推轨迹的落点进行格式转换,并采用ArcGIS地理信息系统对轨迹落点进行精细化统计处理,再利用GrADS平台提供再分析数据中不同等压面上的风场、温度场和垂直速度场等,对相应地区不同高度层做针对性分析。

1.2.2 参数设置 白背飞虱的迁飞与风密切相关,迁飞的方向随风向的转变而定向移动,成虫一日中的迁飞活动呈早晚双峰型,即日出前和日落后有两次起飞迁出活动,其中早上起飞的虫量

要比晚上起飞虫量少得多,白天空中虫群的密度只有夜间的 5%(邓望喜,1981;刘芹轩等,1982;罗举等,2011;Riley *et al.*,1991,1994)。白背飞虱在空中运行的持续时间参差不齐,个体之间差异极大;故弱飞者可能飞行 1 h 左右,但强飞者能持续飞行 30 多个小时,在跨海迁飞时可能达到 48 h(Padgham,1983;Rosenberg and Magor,1983,1987;汪远昆等,2004)。这种飞行力的差异形成了迁入种群的大小与距迁出地的距离呈显著负相关的分布特征(程遐年等,1979)。白背飞虱的迁飞高度有明显的季节变化性,受温度影响较大,夏季的迁飞高度为 1 500~2 000 m,秋季为 500~1 000 m(邓望喜,1981;Riley *et al.*,1991,1994)。

根据白背飞虱生物学特性、起飞节律及滇东南地区的地形特征,轨迹分析中的飞行参数设定(芦芳等,2013)如下参数:(1)白背飞虱是顺风迁移的;(2)白背飞虱在日出前或日落后 1 h 内起飞;(3)迁飞高度根据季节和各高度层温度不同而设,白背飞虱的迁飞高度为 1 000~1 500 m,飞行低温阈限为 16℃。考虑到 4 个站点海拔情况,并结合 4—5 月份的温度,设定轨迹起始高度为距地面 500、800 和 1 000 m;(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 1 h 回推一次。滇东南四地的 4—5 月份的日出、日落时刻分别为北京时间 6:00、19:00,转化为 UTC 时间分别为 22:00、11:00,选定 11:00 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;(5)最长续航时间取 35 h(Rosenberg and Magor,1983,1987)。

1.2.3 迁入虫峰日选择标准 参照稻飞虱测报调查规范(1995),从出现稻飞虱成虫量突增日到高峰后突减日为止,为一个峰期,峰期中虫量最多的日期为高峰日;前一峰的突减日和后一峰的突增日之间相距 3 d 以内(含 3 d)的,则计入同一个峰期;同时结合灯下虫情发生动态,对连续大规模降虫的峰期进行逐日轨迹回推。

2 结果与分析

2.1 虫源地分布

2.1.1 年际间分布情况 对丘北、广南、麻栗坡和富宁 4 个站点 2008—2012 年 4—5 月共 349 个灯诱高峰日进行轨迹回推,结果表明(图 1):2008 年虫源主要来自于越南北部,老挝北部和云南西南部,部分来自于缅甸北部和东北部;2009 年虫源地主要来自于越南和老挝北部,部分来自于云南西南部;2010 年与其他年份不同的是,比较特殊,范围整体分布偏西,主要来自于缅甸北部和云南西南部,部分来自于越南北部;2011 年虫源地相对比较集中,主要来自于越南北部,部分来自于老挝北部、缅甸东部和云南西部;2012 年虫源地分布范围较广,主要来自于越南北部和老挝北部,部分来自于老挝中北部和云南西南部。

2.1.2 月份间分布差异——以富宁为个例 对富宁 2008—2012 年 4—5 月白背飞虱的灯诱高峰日的回推轨迹分析结果表明,4 月份(图 2)富宁白背飞虱的虫源地主要分布于滇西与缅甸交界、滇西南与老挝交界处以及印度与缅甸交界的英帕尔,部分分布于缅甸中北部。5 月份的虫源地范围较广,主要分布在越南北部的红河三角洲,部分虫源来自滇西南,缅甸中北部、老挝北部以及中部。

2.2 降落机制分析

对广南、丘北、麻栗坡和富宁四个站点 2008—2012 年 4—5 月白背飞虱 349 个迁入高峰日的降落机制进行统计,因海拔差异,对富宁、麻栗坡和广南 3 个站点的分析采用 800 hPa 和 850 hPa 两个高度层,而对丘北的分析采用 750 hPa 和 800 hPa 两个高度层。结果表明(表 1):349 个白背飞虱降落高峰日中,有 31.81%的高峰日伴随着降雨,75.93%的峰日存在风切变,25.21%的峰日气流下沉运动显著,56.45%的降虫高峰日有低温屏障参与。年际间,各气象因子的影响不尽相:降水在 2008 年只占 21%,而在 2011 年达到 42%;下沉气流在 2008 年只占 8%,而 2010 年达到 50%左右;低温屏障在 2009 年达到 68%,

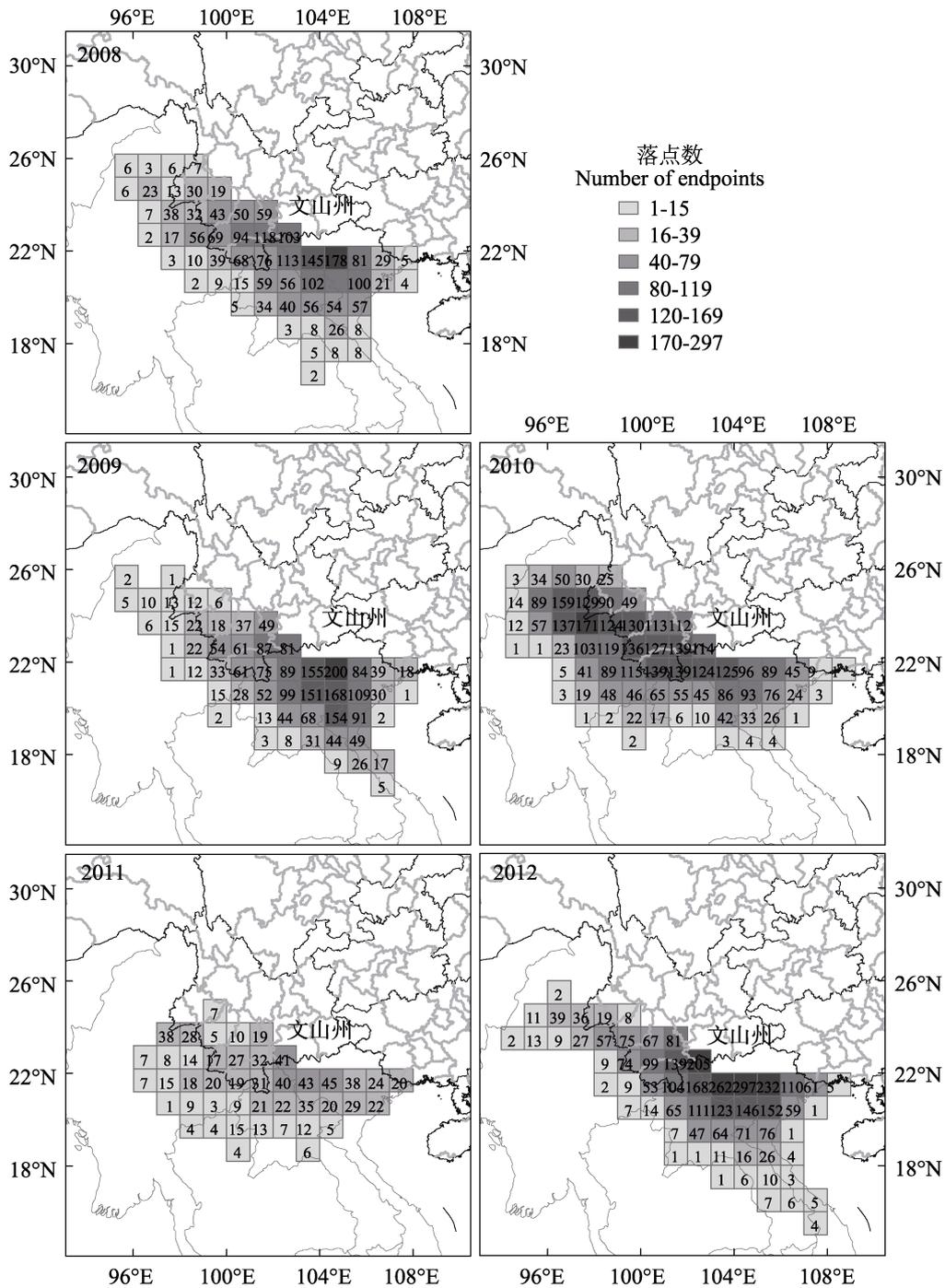


图 1 2008—2012 年滇东南（文山州）白背飞虱虫源地分布

Fig. 1 The distribution of source population of *Sogatella furcifera* in southeast Yunnan from 2008 to 2012

扮演着主要角色。

2.2.1 雨日降虫 2010 年 5 月下旬，我国大部分普遍降雨，从 22 日开始滇东南地区出现连续性降雨，27—30 日滇东南降雨由小雨转为中雨（图 3）；其中，27 日广南降雨量为 10.06 mm，29 日麻栗坡和富宁为 10.14 mm 和 10.39 mm，30 日麻

栗坡为 10.55 mm。同期灯下有明显的迁入峰，27—30 日广南、富宁、麻栗坡和丘北累计迁入量分别是 6 800、62 307、185 和 6 211 头（麻栗坡日灯诱量较少），为典型的雨日降虫。27—30 日轨迹回推显示（图 4），除 30 日来自于缅甸东部以外，均来自于越南北部和老挝北部。27 日

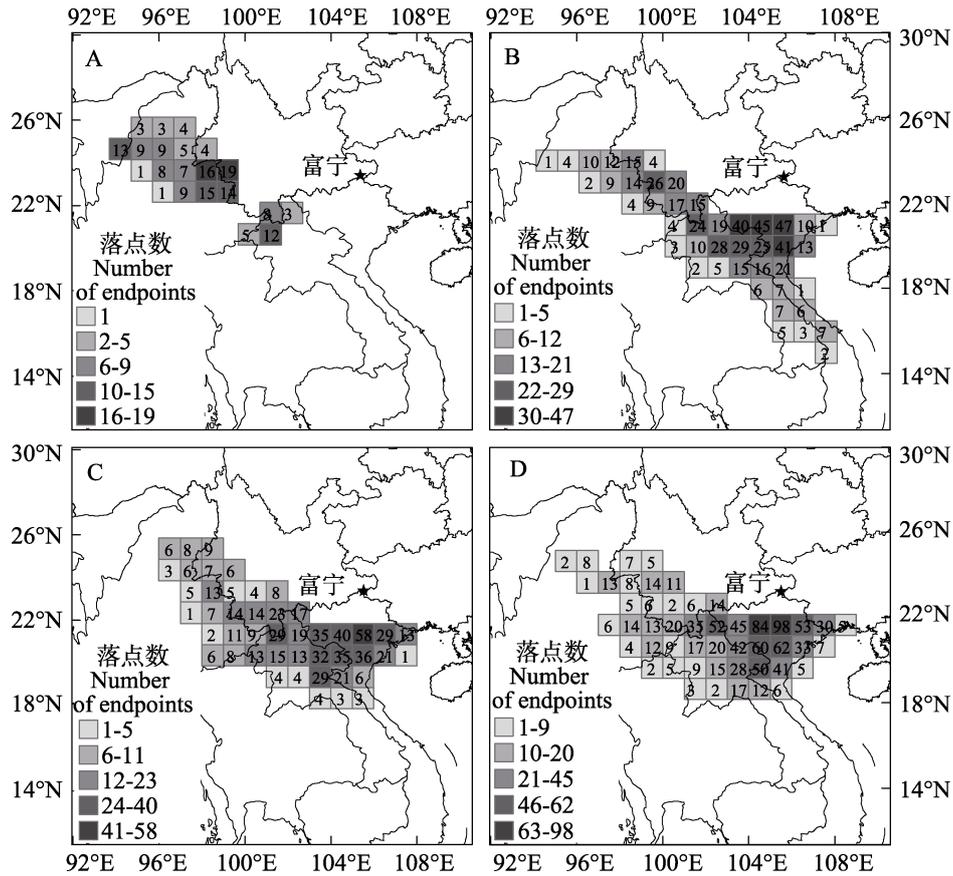


图 2 2008—2012 年 4—5 月富宁白背飞虱虫源地分布

Fig. 2 The distribution of source area of immigrating WBPH in Funing in April and May during 2008 to 2012

A. 4 月 ; B. 5 月上旬 ; C. 5 月中旬 ; D. 5 月下旬。

A. April; B. The first ten days of May; C. The second ten days of May; D. The last ten days of May.

表 1 2008—2012 年 4—5 月白背飞虱灯诱高峰日各气象因子所占的百分比

Table 1 Percentage of each meteorological factors in the major immigration peaks of *Sogatella furcifera* from April to May, 2008-2012

年份 Year	作用因子占比 Percentage of active factors (%)			
	降水 Precipitation	风切变 Wind shear	下沉气流 Dwindraft	低温屏障 Low temperature barrier
2008	21.52	78.48	8.86	49.37
2009	40.63	67.19	12.50	68.75
2010	34.83	76.40	50.56	51.69
2011	42.86	75.00	39.29	53.57
2012	28.09	79.78	19.10	59.55
平均 Average	31.81	75.93	25.21	56.45

800 hPa 高度上垂直速度场显示 (图 5), 滇东南正受下沉气流控制, 中心速度达 0.3 Pa/s, 而下沉气流的东北部有强的上升气流, 中心速度达到 0.9 Pa/s, 受垂直方向气流的影响, 白背飞虱不能穿越滇东南上空而继续向北迁飞, 同时降雨也为

飞虱在滇东南的集中降落提供了条件。28 日 800 hPa 的 8:00 的风场 (图 6) 显示, 滇东南的上空水平风向切变严重, 风向偏转近 180°, 东北方向的偏北气流纵贯贵州上空, 经桂西北部到达滇东和滇东南地区, 并伴随着冷空气的南下; 14:00

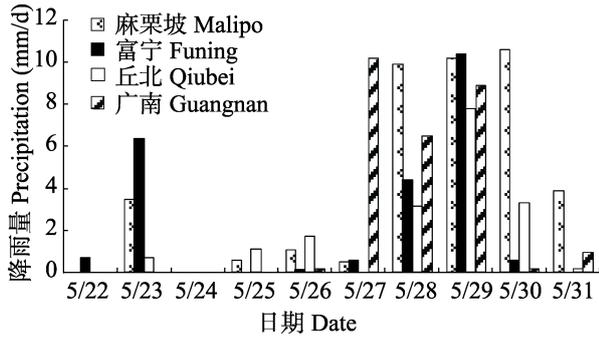


图3 2010年5月22—31日滇东南富宁、麻栗坡、广南和丘北24h降雨量分布

Fig. 3 Precipitation of Funing, Malipo, Guangnan and Qiubei of southeast Yunnan in the past 24 hours during 22 to 31 May, 2010

温度场显示，滇东南上空正处于冷暖气流交汇处，并且冷气流逐渐占主导地位；8:00的垂直速度场显示（图5：右），滇东南处于强上升气流的边界处，温度的下降，气流在垂直和水平方向的强对流运动，再加上地形的起伏，导致连续降雨的产生；8:00以后4个站点降雨量明显增加（图7），白背飞虱受风切变，温度和降雨等因素的共

同影响，集中降落在此地。29日800 hPa的8:00的风场显示（图8），滇东南的上空水平风向仍然存在大幅度的切变，同时温度场显示滇东南上空800 hPa上的温度已经低于白背飞虱的飞行阈值，850 hPa高度上温度能满足白背飞虱的迁飞要求，或许降低飞行高度能够继续迁飞，但是风向的切变，降雨的存在再加上1000 m以上的海拔，白背飞虱不得不降落在此地。30日与前几日不同的是白背飞虱虫源来自缅甸东部和滇西南地区，白背飞虱乘西南气流从缅甸东部迁飞至滇东南上空时，风向发生严重切变（图9）。800 hPa的温度显示（图9），滇东南位于中心温度为24℃控制着云南大部分地区的暖气团的东南边界处，东部温度的骤降、风切变、和降雨是造成30日滇东南的集中降虫。

2012年5月5日，广南、丘北、麻栗坡和富宁4个站点灯下白背飞虱出现明显的迁入峰，虫量分别是248、650、2420和20736头，4个站点的迁入量有明显差异，南边多（麻栗坡和富

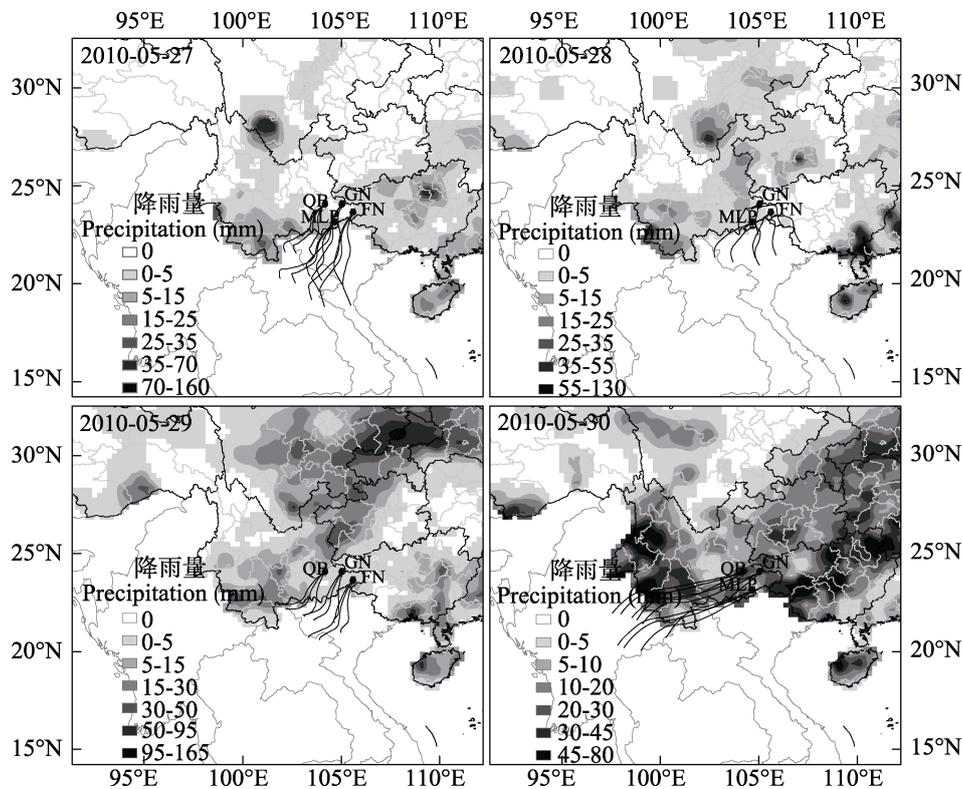


图4 2010年5月27—30日滇东南白背飞虱迁飞路径回推轨迹和累计降雨量

Fig. 4 Backward trajectories of migration pathway of *Sogatella furcifera* and accumulated precipitation in southeast Yunnan in the past 24 hours during 27 to 30 May, 2010

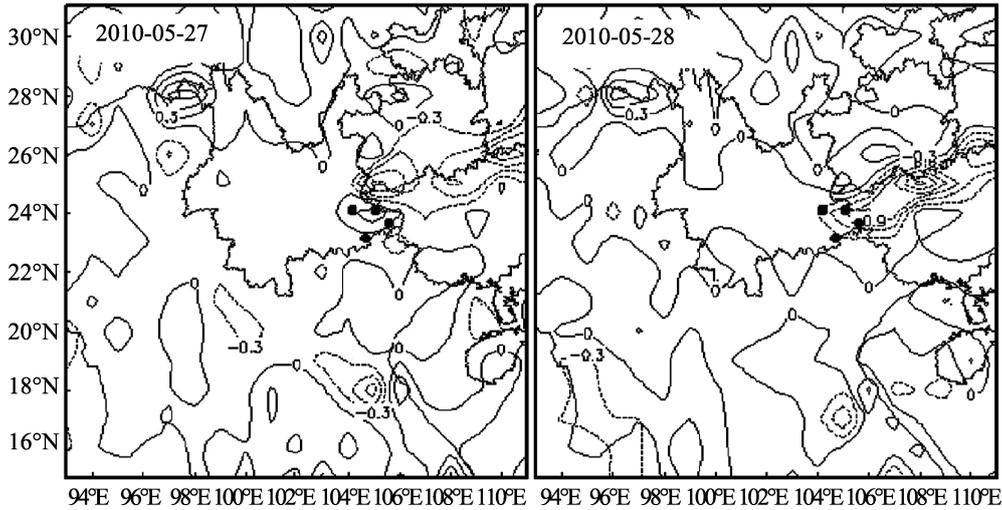


图 5 2010 年 5 月 27 日和 28 日 800 hPa 高度上垂直速度场
 Fig. 5 Vertical velocity (Pa/s) at 800 hPa on 27 and 28 May, 2010

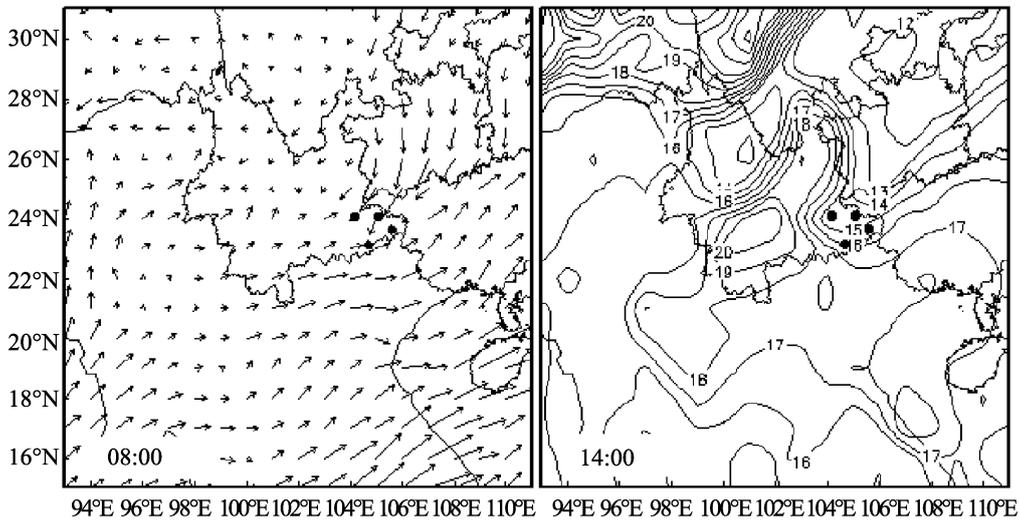


图 6 2010 年 5 月 28 日 800 hPa 高度上水平风场 (左) 和温度场 (右)
 Fig. 6 Horizontal wind fields (m/s) (left) and temperature fields (right) at 800 hPa on 28 May, 2010

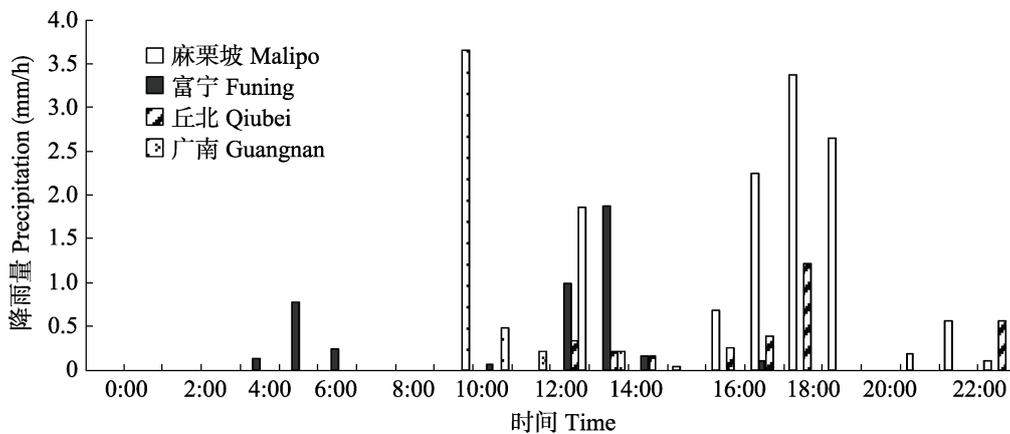


图 7 2010 年 5 月 28 日滇东南富宁、麻栗坡、广南和丘北逐时降雨量 (mm/h) 分布
 Fig. 7 Hourly precipitation (mm/h) of Funing, Malipo, Guangnan and Qiubei on 28 May, 2010

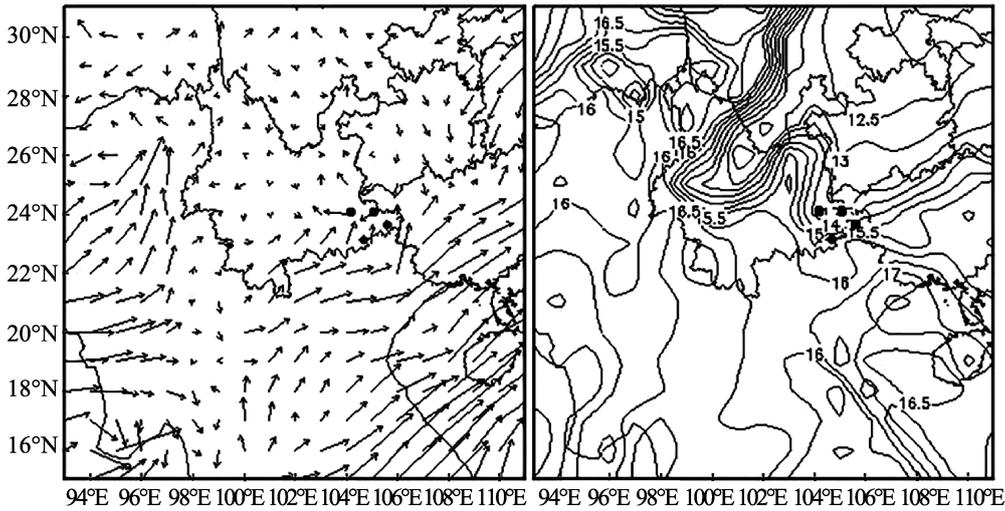


图 8 2010 年 5 月 29 日 800 hPa 高度上水平风场 (左) 和温度场 (右)

Fig. 8 Horizontal wind fields (m/s) (left) and temperature fields (right) at 800 hPa on 29 May, 2010

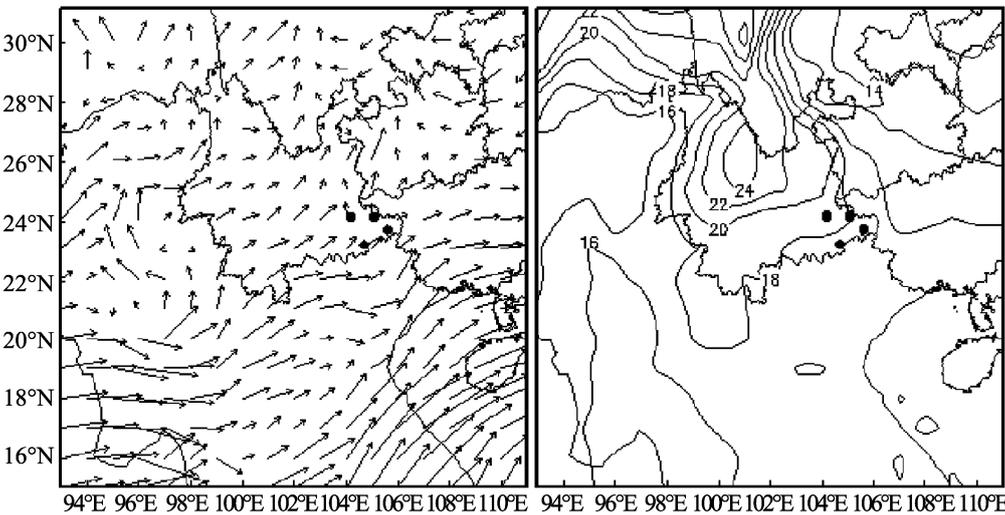


图 9 2010 年 5 月 30 日 800 hPa 高度上水平风场 (左边) 和温度场 (右边)

Fig. 9 Horizontal wind fields (m/s) (left) and temperature fields (right) at 800 hPa on 30 May, 2010

宁), 北边少 (丘北和广南)。5 月 5 日 4 个站点的轨迹回推显示, 白背飞虱的虫源主要来自于越南北部, 少量来自于老挝北部 (图 10)。5 月上旬, 北部的水稻生育期正直孕穗至齐穗期 (表 2), 恰逢当地白背飞虱迁出期, 同期 800 hPa 上 0:00 时风场 (图 11) 显示, 中南半岛北部盛行西南风, 白背飞虱乘西南气流和偏南气流北上, 而滇东南上空天气要素极不稳定, 800 hPa 上风向有明显的切变, 滇东南东边有明显的降雨且伴随着温度的下降, 致使北上迁飞的白背飞虱不能继续飞行, 在滇东南地区集中降落, 其中主降富宁和麻栗坡。2012 年 5 月 6 日, 广南、丘北、麻栗

坡和富宁 4 个站点灯下白背飞虱出现明前的迁入峰, 虫量分别是 640、754、1 686 和 113 168 头, 和 5 日相似, 南边降虫多, 北边少。4 个站点回推轨迹显示白背飞虱的虫源来自于越南北部, 当时越南北部的水稻生育期有利于白背飞虱外迁 (表 2)。与 5 日不同的是, 越南北部和云南东南部 800 hPa 的风向由强东南风和偏南风转为强的西南风 (图 11), 将白背飞虱从虫源地带到滇东南地区。6 日 6:00 800 hPa 的温度场显示整个云南受暖气团控制, 中心温度可达 24°C (图 11), 适宜飞虱继续北迁, 但是滇东南上空有强的下沉气流, 从 800 hPa 延伸到 750 hPa (图 12),

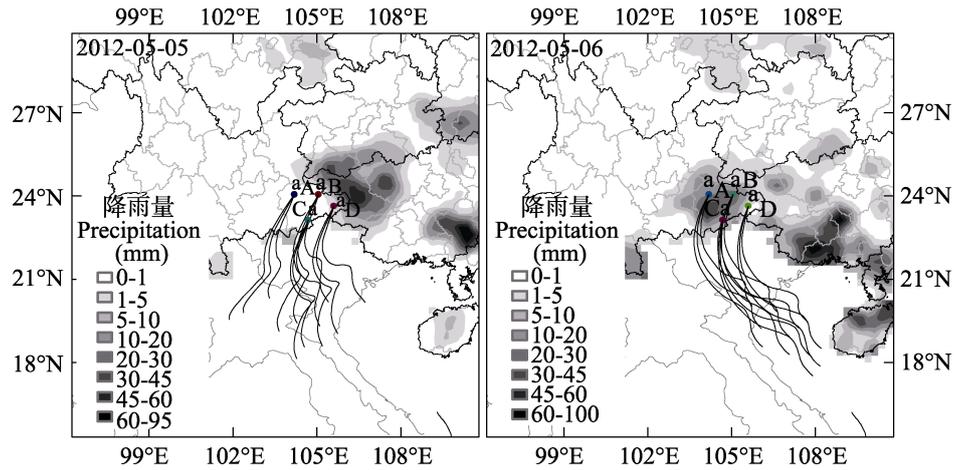


图 10 2012 年 5 月 5—6 日滇东南白背飞虱迁飞路径回推轨迹和累计降雨量

Fig. 10 The backward trajectories and the accumulated precipitation of *Sogatella furcifera* in southeast Yunnan in the past 24 hours during 5 to 6 May, 2012

表 2 4—5 月份东南亚及云南南部白背飞虱虫情汇总

Table 2 The *Sogatella furcifera* situation 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 (°) Longitude	纬度 (°) Latitude	百丛虫量 Counts per 100 hills	水稻生育期 Rice growth stage
2011-05-05	缅甸中部 Central Myanmar	觉色因多西 Indaw	96.20	21.50	322	分蘖末-拔节期 Later tillering to jointing stage
2011-05-06	缅甸中部 Central Myanmar	皎施北郊 Northern Kyaukse	96.13	21.64	310	分蘖中-拔节期 Mid-tillering stage to jointing stage
2011-05-09	缅甸中部 Central Myanmar	曼德勒南部 Southern Mandalay	96.09	21.89	200	孕穗-灌浆期 Booting stage to grain-filling stage
2011-05-09	缅甸中北部 North-central Myanmar	瑞保以南 Southern Shwebo	95.69	22.53	992	分蘖中期 Mid-tillering stage
2011-05-07	缅甸东北部 Northeastern Myanmar	皎梅东北部 Northeastern Kyaukse	97.19	22.56	148	灌浆期 Grain-filling stage
2008-04-24	越南北部 Northern Vietnam	海防省北部 Northern Hai-Phong	106.67	20.98	410	分蘖期 Tillering stage
2008-04-25	越南北部 Northern Vietnam	宁平以西 Western Ning Binh	105.97	20.22	317	拔节期 Jointing stage
2008-04-28	越南北部 Northern Vietnam	北江省东北部 Northeastern Bac Giang	106.28	21.42	635	分蘖期 Tillering stage
2010-05-16	越南北部 Northern Vietnam	谅山省 Lang Son	106.62	21.82	7 805	分蘖中期 Mid-tillering stage
2010-05-16	越南北部 Northern Vietnam	河内北郊 Northern Ha Noi	105.97	21.09	907	齐穗期 Full heading stage
2010-05-17	越南北部 Northern Vietnam	府里 Thu Ly, Hai nam	105.92	20.42	1 280	齐穗期 Full heading stage
2012-05-15	越南北部 Northern Vietnam	北江省和德镇 Hoa Dak, Bac Giang	106.24	21.29	423	始穗-齐穗期 Initial heading stage to heading stage

续表 2 (Table 2 continued)

日期 Date	区域 Region	调查地点 Location	经度 (°) Longitude	纬度 (°) Latitude	百丛虫量 Counts per 100 hills	水稻生育期 Rice growth stage
2012-05-15	越南北部 Northern Vietnam	北宁省 Bac Ninh	106.02	21.18	321	孕穗-始穗期 Booting stage to initial heading stage
2009-05-06	云南南部 Southern Yunnan	金平县 Jinping county	103.22	22.78	3 100	分蘖期 Tillering stage
2009-05-06	云南南部 Southern Yunnan	元阳 Yuanyang county	102.74	23.17	21 000	返青-分蘖期 Returning green stage to tillering stage
2009-05-10	云南西部 Western Yunnan	江城县 Jiangcheng county	101.87	22.63	7 976	分蘖期 Tillering stage
2010-05-10	云南西部 Western Yunnan	双江县 Shuangjiang county	99.83	23.47	2 107	拔节-孕穗期 Jointing stage to booting stage
2011-04-29	老挝中部 Central Laos	琅勃拉邦蒙南县 Muane Nam, Luang Prabang	102.87	19.49	190	黄熟期, 部分灌浆 Yellow ripeness stage, grouting partly

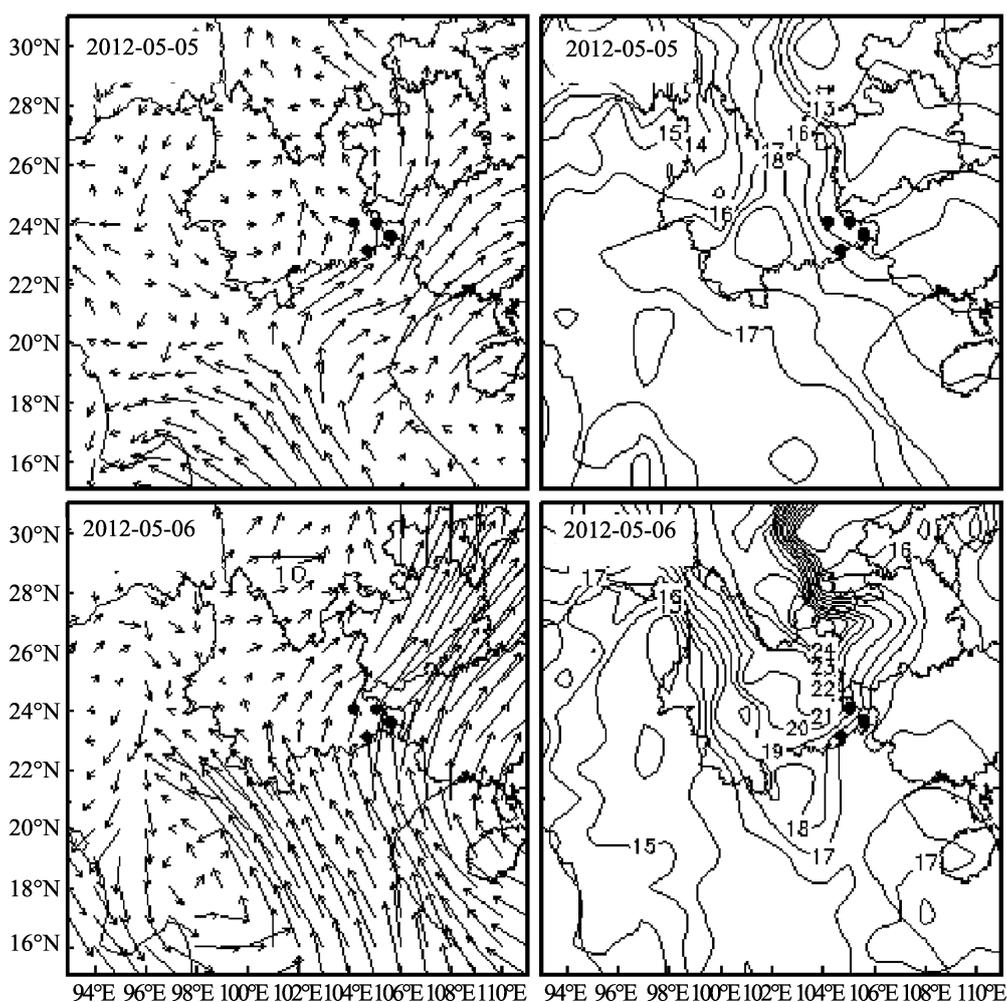


图 11 2012 年 5 月 5—6 日 800 hPa 上的水平风场 (左) 和温度场 (右)

Fig. 11 Horizontal wind fields (m/s) (left) and temperature fields (right) at 800 hPa during 5 to 6 May, 2012

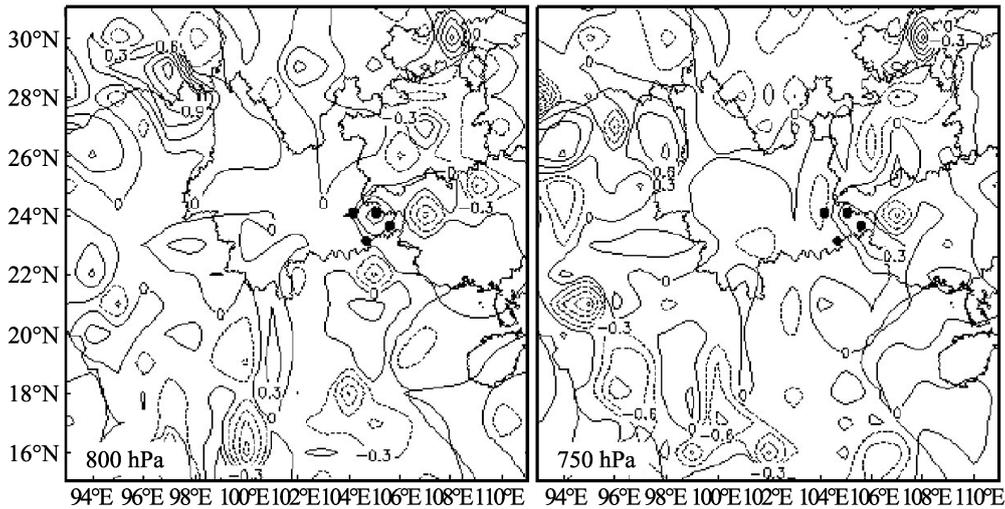


图 12 2012 年 5 月 5 日 800 hPa 和 750 hPa 上垂直速度场
 Fig. 12 Vertical velocity (Pa/s) at 800 hPa and 750 hPa on 5 May, 2012

且当地有强降雨,多种因素的集中影响下,白背飞虱在滇东南集中降落。主要降落在南部地区。

2.2.2 非雨日降虫 与其他年份不同的是,2010 年我国西南地区遭遇历史上罕见的干旱天气。2010 年 5 月 5—6 日,富宁、麻栗坡、丘北和广南 4 个站点白背飞虱累计迁入量分别是 1 464、938、3 182 和 19 760 头,白背飞虱的集中降虫均属于非雨日降虫,回推轨迹显示(图 13),白背飞虱虫源来自于缅甸北部及东北部、云南西部和西南部。缅甸北部和东北部主要以旱稻种植为主,每年 12 月至次年 1 月播种,4 月底收割,云南西部白背飞虱一般是 3 月底 4 月初就有迁入,繁殖一代后迁出,而西南部水稻可以终年种植,5 月初正好恰逢缅甸北部及东北部、云南西部和西南部白背飞虱大量外迁,乘西南气流和偏

西气流往云南东部地区迁飞。5 月 5 日滇东南上空 750—850 hPa 高空上的风场显示(图 14),滇东南上空水平方向上风向发生严重的切变现象,垂直方向上影响巨大,从 750 hPa 延生到 850 hPa 高层上。6 日 800 hPa 上的温度场(图 15)显示,20:00 滇东南上空处于暖气团控制下,温度达到 20℃ 以上,其东北方向受冷气团控制,冷暖气团中心温度相差达 16℃。而 2:00,受冷气团南下的影响,滇东南上空的温度明显下降,几乎降至白背飞虱的飞行的低温阈值,而温度影响飞虱的飞行高度,为适应温度下降的变化,白背飞虱试图降低飞行高度继续迁飞,但是 800~850 hPa 高度层间急剧的风向切边(图 16),使白背飞虱不得不在滇东南地区集中降落。因此造成此次白背飞虱集中降落的主要原因

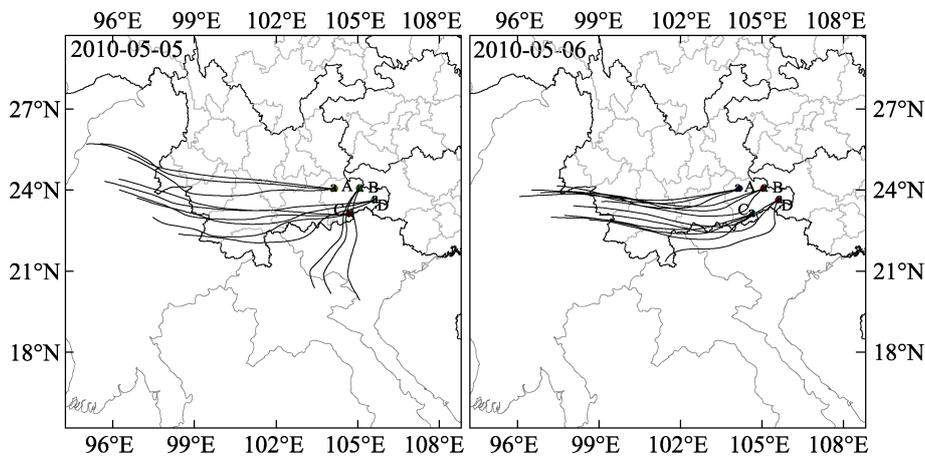


图 13 2010 年 5 月 5 日和 6 日滇东南白背飞虱迁飞路径轨迹回推
 Fig. 13 The backward trajectories of *Sogatella furcifera* in southeast Yunnan during 5 to 6 on May, 2010

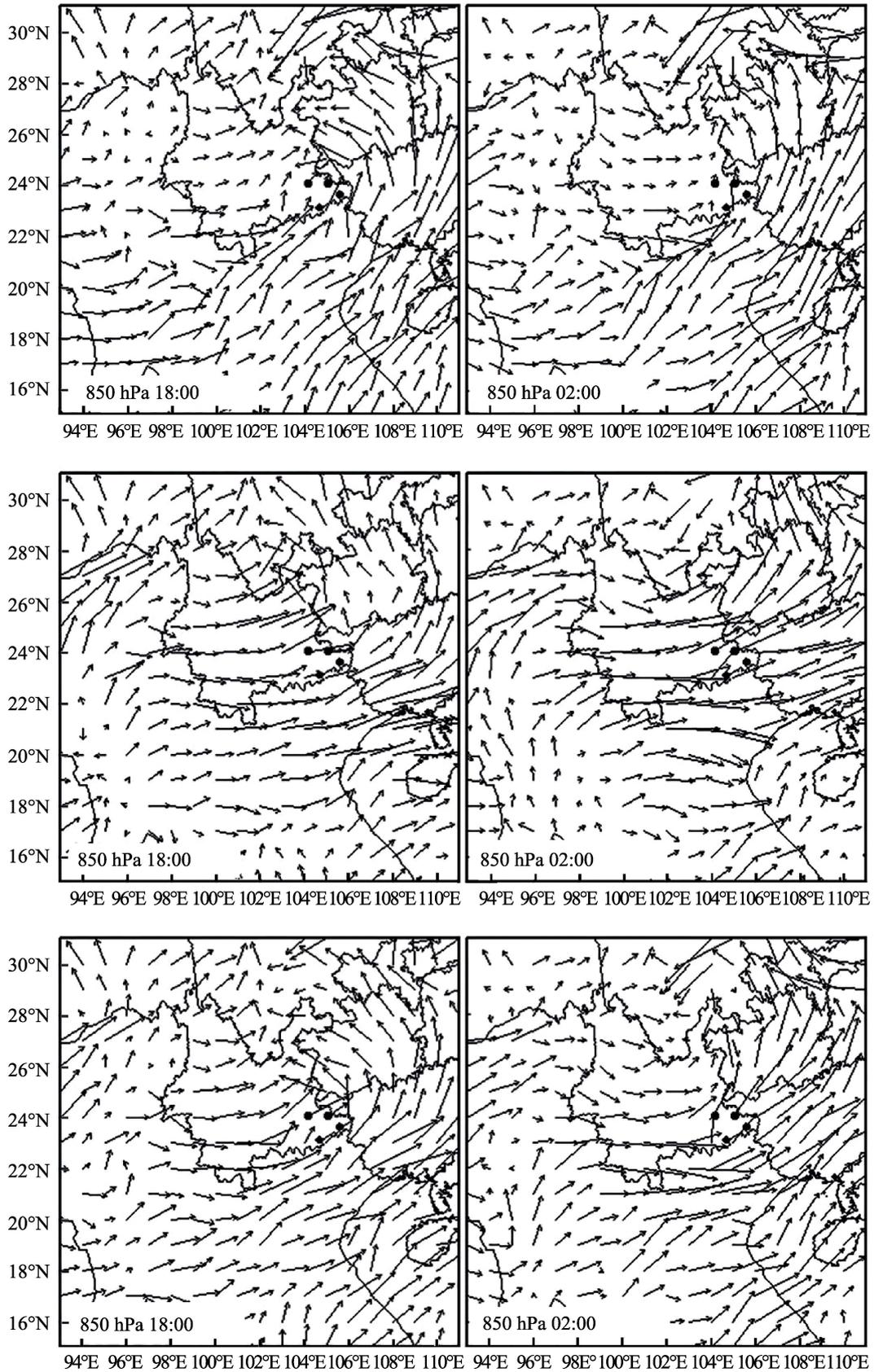


图 14 2010 年 5 月 5 日 850 hPa、800 hPa 和 750 hPa 上的水平风场
Fig. 14 Horizontal wind fields (m/s) at 850 hPa, 800 hPa and 750 hPa on 5 May, 2010

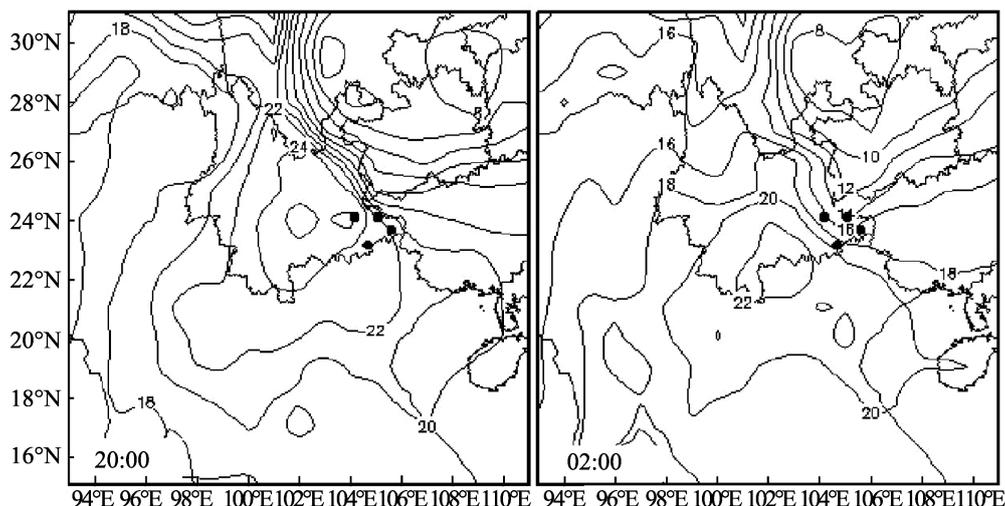


图 15 2010 年 5 月 6 日 800 hPa 上的温度场

Fig. 15 Temperature fields at 800 hPa on 5 May, 2010

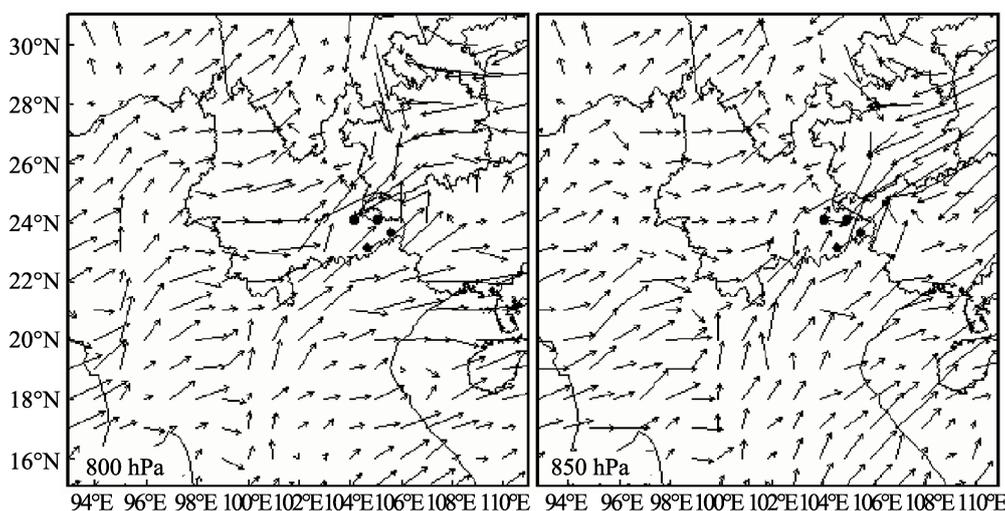


图 16 2010 年 5 月 6 日 850 hPa 和 800 hPa 上的水平风场

Fig. 16 Horizontal wind fields (m/s) at 850 hPa and 800 hPa on 6 May, 2010

子是风切变和低温屏障,且 6 日低温屏障和风切变共同影响造成滇东南集中降虫。

3 结论与讨论

3.1 虫源地分布

2008—2012 年 4 月和 5 月份滇东南地区早期白背飞虱虫源地分布范围差别较大。其中,富宁 4 月份虫源地以缅甸和金三角为主;5 月份虫源主要分布在越南北部和中北部、老挝北部,部分来自于缅甸东部和云南西部和西南部。年际间略有差异,虫源地主要集中在越南北部和老挝北部,仅 2010 年比较特殊,虫源地主要分布在緬

甸北部以及云南西南部和西部。

缅甸位于中南半岛的西部,气候与云南相似,干湿季分明。北部主要以旱季稻的种植(1 月份播种,5 月份收割)为主(彭继明,2007),自从缅甸政府的一系列措施实施后,旱季稻的播种面积大大增加,2006 年达到 200 万 hm^2 ,旱稻种植面积占全国旱稻的 60%。4 月中下旬至 5 月初,当地旱稻处于孕穗至齐穗期,大量白背飞虱外迁,借助盛行的西南气流,为滇东南地区提供虫源。越南位于中南半岛的东部,总面积 33 091 km^2 ,其中水稻种植面积约 740 万 hm^2 ,水稻种植主要集中在北部的红河三角洲平原和南部的湄公河三

角洲平原,北部稻区每年一般种植两季水稻,冬春稻一般是 12 月至次年 1 月份播种,2 月份移栽,5 月下旬到 6 月上旬收获(杨文坎等,2004;杨普云,2006;阮刘青等,2011;曾娟等,2013),5 月份,越南中部到北部,水稻依次进入抽穗-齐穗期,白背飞虱大量从南往北依次迁出,借助盛行的偏南气流,成为滇东南 5 月份迁入种群的主要来源。老挝位于东南半岛北部,系内陆国家,北部与云南接壤,境内 80% 为山地和高原。水稻是老挝的主要农作物,种植面积占全国农作物种植面积的 85%,与缅甸相似,自从 2000 年农业灌溉工程的建设后,旱季稻的种植面积大大增加。旱季水稻主要分布的中部和北部(吕荣华,2011)。为滇东南地区虫源的输送提供条件。当地水稻生育期和同期越南相似,但因水稻种植面积有限,能够提供部分虫源。此外,云南的西部和西南部,每年白背飞虱迁入较东部地区早一个月左右,借助盛行的西风和西南风,完全可以为滇东南地区提供部分虫源。

3.2 降落机制

白背飞虱在空中的迁飞过程不完全是被动的随风迁移,而是在一定程度上自主地选择适合自己的运行轨迹。在降雨、下沉气流、风向幅合等外力综合作用下会随携虫气流一起被集中迫降(翟保平和张孝羲,1993)。一次稻飞虱的迁入过程中涉及到多种因素的综合作用,其中,降水和下沉气流是影响稻飞虱集中降落的重要气象因子。江广恒等(1981、1982)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。谈涵秋等(1984)通过对 1977—1979 年 20 个褐飞虱迁入峰的天气背景诊断后发现稻飞虱具有克服弱上升气流而主动降落的能力,同时也证明下沉气流和降雨是促使稻飞虱集中降落的主要因子。胡高等(2007)通过分析 1999 年 6 月下旬至 7 月初灵川、东至、徽州褐飞虱大规模降落过程,认为地形胁迫引起的降雨和梅雨峰降雨是导致三站点集中降虫的主要原因。包云轩等

(2007)分析了 2003 年 7 月 10—11 日出现的白背飞虱迁入过程,表明降水是造成白背飞虱集中降落的直接原因。广南、丘北、麻栗坡和富宁 4 个站点 2008—2012 年 4—5 月白背飞虱 349 个迁入峰日的统计结果显示,风切变、低温屏障、降水和下沉气流是导致早期白背飞虱集中降落的气象因子,其中风切变几乎存在于每个降落事件中,低温屏障在白背飞虱的集中降落中有不可替代的作用,而每次降雨几乎发生在风切变和温度降低之后,通常三者共同作用,促使白背飞虱的集中降落。而下沉气流在 2010 年也扮演着重要的角色,作用与低温屏障相当。

参考文献 (References)

- Bao YX, Xu XY, Wang JQ, Wang CH, Miu QL, Zhai BP, 2007. Analysis of the atmospheric dynamical backgrounds for the great immigration events of white backed planthopper (*Sogatella furcifera* (Horváth)). *Acta Ecologica Sinica*, 27(11): 4527–4535. [包云轩, 徐希燕, 王建强, 王翠花, 缪启龙, 翟保平, 2007. 白背飞虱重大迁入过程的大气动力背景. *生态学报*, 27(11): 4527–4535.]
- 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* Stål. *Acta Entomologica Sinica*, 22 (1): 1–21. [程遐年, 陈若簾, 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.]
- Deng WX, 1981. Migration discipline research of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål)) and the white-backed planthopper (*Sogatella furcifera* (Horváth)). *Journal of Plant Protection*, 8(2): 73–80. [邓望喜, 1981. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究. *植物保护学报*, 8(2): 73–80.]
- Forecast of Diseases and Insect Pests for Crops of Ministry of Agriculture, 1995. GB/T 15794–1995: 3. Rules for Investigation and Forecast of the Brown Planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) and the White-backed Planthopper (*Sogatella furcifera* (Horváth)). Beijing: Chinese Standard Press. 1–18. [农业部农作物病虫害测报站, 1995. GB/T 15794–1995: 3. 稻飞虱测报调查规范. 北京: 中国标准出版社. 1–18.]
- Hu G, Bao YX, Wang JQ, Zhai BP, 2007. Case studiess on the landing mechanism of the brown planthoppers (*Nilaparvata lugens* (Stål)). *Acta Ecologica Sinica*, 27 (12): 5068–5075. [胡高, 包云轩, 王建强, 翟保平. 2007. 褐飞虱的降落机制. *生态学报*, 27(12): 5068–5075.]

- Hu GW, Xie MX, Wang YC, 1988. A suggestion for delimitation of the incidence areas of white-backed planthopper (*Sogatella furcifera* (Horváth)) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 31(1): 42–49. [胡国文, 谢明霞, 汪毓才, 1988. 对我国白背飞虱的区划意见. 昆虫学报, 31(1): 42–49.]
- Jiang GH, Tan HQ, Shen WZ, Cheng XN, Chen RC, 1981. Relation between long-distance northward migration of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål)) and synoptic weather conditions. *Acta Entomologica Sinica*, 24(3): 251–261. [江广恒, 谈涵秋, 沈婉贞, 程遐年, 陈若麓, 1981. 褐飞虱远距离向北迁飞的气象条件. 昆虫学报, 24(3): 251–261.]
- Jiang GH, Tan QH, Shen WZ, Cheng XN, Chen RC, 1982. Relation between long-distance southward migration of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål)) and synoptic weather conditions. *Acta Entomologica Sinica*, 25(2): 147–155. [江广恒, 谈涵秋, 沈婉贞, 程遐年, 陈若麓, 1982. 褐飞虱远距离向南迁飞的气象条件. 昆虫学报, 25(2): 147–155.]
- Jiang CX, Wei JG, Zhang YH, Li Q, Cheng DF, 2012. Study on source area and landing mechanism of early immigration of white backed planthopper (*Sogatella furcifera* (Horváth)) in funing, Yunnan. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 30(2): 232–237. [蒋春先, 韦加贵, 张云慧, 李庆, 程登发, 2012. 云南富宁县白背飞虱早期迁入虫源地及降落机制分析. 四川农业大学学报, 30(2): 232–237.]
- Li M, Xie GQ, Lü JP, 2009. The study on meteorological factors and occurrence characteristic of rice planthoppers in Yunnan. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, (Suppl.): 101–103. [李蒙, 谢国清, 吕建平, 2009. 云南稻飞虱发生特征及气候因素分析. 云南农业科技, (增刊): 101–103.]
- Liu QX, Lü WM, Zhang GF, 1982. Biology and ecology research of white backed planthopper (*Sogatella furcifera* (Horváth)). *Scientia Agricultura Sinica*, 15(3): 59–66. [刘芹轩, 吕万明, 张桂芳, 1982. 白背飞虱的生物学和生态学研究. 中国农业科学, 15(3): 59–66.]
- Lu F, Zhai BP, Hu G, 2013. Trajectory analysis methods for insect migration research. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(3): 853–862. [芦芳, 翟保平, 胡高, 2013. 昆虫迁飞研究中的轨迹分析方法. 应用昆虫学报, 50(3): 853–862.]
- Lü RH, Xia XZ, Liu KQ, Nong BX, 2011. Agricultural production status in Laos. *Guangxi Agricultural Sciences*, 41(12): 1358–1360. [吕荣华, 夏秀忠, 刘开强, 农保选, 2011. 老挝农业生产概况. 广西农业科学, 41(12): 1358–1360.]
- 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.]
- Padgham DE, 1983. Flight fuels in the brown planthopper *Nilaparvata lugens*. *Journal of Insect Physiology*, 29(1): 95–99.
- Peng JM, 2001. Rice Production and plant experimentally profiles in hybrid of Myanmar. *Hybrid Rice*, 16(5): 55–56. [彭既明, 2001. 缅甸的水稻生产与杂交稻试种简况. 杂交水稻, 16(5): 55–56.]
- Riley JR, Cheng XN, Zhang XX, Reynolds DR, Xu GM, Smith AD, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, 1991. The long-distance migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Delphacidae) in China: radar observations of mass return flight in the autumn. *Ecological Entomology*, 16(4): 471–489.
- Riley JR, Reynolds DR, Smith AD, Rosenberg LJ, Cheng XN, Zhang XX, Xu GM, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, Wang HK, 1994. Observations of the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and other pests in East Central China. *Bulletin of Entomological Research*, 84(3): 389–402.
- Rosenberg LJ, Magor JI, 1983. Flight duration of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Ecological Entomology*, 8(3): 341–350.
- Rosenberg LJ, Magor JI, 1987. 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*, 56(1): 39–51.
- Ruan LQ, Jiang YZ, Lü LX, Lin H, Pang QL, 2011. Analysis on rice production and international trade in Vietnam. *Hybrid Rice*, 26(2): 75–78. [阮刘青, 江云珠, 吕利湘, 林海, 庞乾林, 2011. 越南水稻生产与国际贸易情况分析. 杂交水稻, 26(2): 75–78.]
- Shen HM, Lü JP, Zhou JY, Zhang XX, Cheng 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.]
- Tan HQ, Mao RZ, Cheng JY, Yao HF, 1984. Relation between landing of brown planthoppers (*Nilaparvata lugens*(Stål)) in long distance migration and vertical air stream and rain fall. *Journal of Nanjing Agricultural College*, (2): 18–25. [谈涵秋, 毛瑞曾, 程极益, 姚禾芬, 1984. 褐飞虱远距离迁飞中的降落和垂直气流、降雨的关系. 南京农业大学学报, (2): 18–25.]
- Wang YK, Zhai BP, Zhang XX, 2004. Re-emigration capacity of white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth). *Acta Entomologica Sinica*, 47(4): 467–473. [汪远昆, 翟保平, 张孝羲, 2004. 白背飞虱的再迁飞能力. 昆虫学报, 47(4): 467–

- 473.]
- Yang JL, Liu YB, Kong FF, Lin L, 1982. Overwintering investigation of rice planthopper. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, (5): 31–36. [杨家鸾, 刘玉彬, 孔凡夫, 林莉, 1982. 稻飞虱越冬考察. 云南农业科技, (5): 31–36.]
- Yang WK, Li XG, 2004. Climatic change and its effect on rice yields in the north Vietnam. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 27(1): 55–64. [杨文坎, 李湘阁, 2004. 气候变化对越南北方水稻生产的影响. 南京气象学院学报, 27(1): 55–64.]
- Yang PY, Feng XD, Chang L, 2006. Surveillance and precaution and comprehensive treatment of rice planthoppers of Thailand and Vietnam. *China Plant Protection*, 26(9): 44–46. [杨普云, 冯晓东, 常玲, 2006. 泰国和越南水稻稻飞虱的监测预警与综合治理. 中国植保导刊, 26(9): 44–46.]
- Zeng J, Guan RF, Lü RH, Chen YZ, Xin DY, Wang B, 2013. The sample analysis of general occurring situation of significant pest and disease damage on rice and its relevance to China. *World Agriculture*, (7): 123–129. [曾娟, 关瑞峰, 吕荣华, 陈应志, 辛德育, 王标, 2013. 越南水稻重大病虫害发生概况及其与中国相关性浅析. 世界农业, (7): 123–129.]
- Zhai BP, Zhang XX, 1993. Behavior of airborne insects in their migratory process. *Journal of Applied Ecology*, 4(4): 440–446. [翟保平, 张孝羲, 1993. 迁飞过程中昆虫的行为. 应用生态学报, 4(4): 440–446.]
- Zhu MH, Chen GY, Tian MR, Hu GW, Qiu DW, Chen ZX, 1990. Population dynamics research of white-backed planthopper (*Sogatella furcifera* (Horváth)). *Entomological Knowledge*, 35(5): 257–260. [朱明华, 陈光玉, 田茂仁, 胡国文, 邱德文, 陈忠孝, 1990. 白背飞虱种群动态研究. 昆虫知识, 35(5): 257–260.]
- Zhu ZR, Cheng JA, Huang CW, Feng BC, Chen X, 1994. Population dynamic models research of white-backed planthopper (*Sogatella furcifera* (Horváth)). *Acta Ecologica Sinica*, 14(2): 188–195. [祝增荣, 程家安, 黄次伟, 冯炳灿, 陈琇, 1994. 白背飞虱种群动态的模拟研究. 生态学报, 14(2): 188–195.]