

湖北白背飞虱种群消长与迁飞动态*

范淑琴** 翟保平***

(南京农业大学植物保护学院昆虫学系, 昆虫信息生态研究室, 南京 210095)

摘 要 【目的】湖北省是我国水稻的主产区之一, 位居稻飞虱发生的北界, 也是回迁时的起始站, 是整个迁飞链条中的重要环节。明确这里稻飞虱的发生消长和迁飞动态, 可为预测预报提供科学依据。

【方法】利用 NOAA 的轨迹分析平台 HYSPLIT 和气象制图工具 GrADS 分析总结湖北稻区 2000—2013 年间白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horvath) (WBPH) 的发生情况和中小尺度虫源地分布及迁出降落区的分布, 并分析白背飞虱迁飞降落的气象条件。【结论】(1) 白背飞虱发生程度较重的年份, 其上灯虫量较高且始见期也相对提前, 可作为大发生预测的有效指标。(2) 湖北地区白背飞虱虫源地大部分分布在湖南、贵州、重庆, 也有部分白背飞虱来自于广西地区。(3) 秋季大部分白背飞虱借助东北气流回迁至湖南、重庆和贵州, 在气流比较强盛之时, 湖北稻区的飞虱可以直接到达广西稻区和云南稻区, 甚至可以直接降落至越南北部。(4) 低空急流有利于白背飞虱的远距离飞行, 风切变、气旋、降雨此类气象条件极易造成白背飞虱的集中降落。

关键词 白背飞虱, 种群消长, 中小尺度虫源地, 轨迹分析

Population fluctuation and migration dynamics of *Sogatella furcifera* (Horvath) in Hubei

FAN Shu-Qin** ZHAI Bao-Ping***

(Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, the Insect-Information Ecology Laboratory, Nanjing 210095, China)

Abstract [Objectives] Hubei Province (29°05'N–33°20'N, 108°21'E–116°07'E) is situated in central China and is one of China's major rice producing areas. This province is the northern boundary of the distribution, and the turning point for the return migration, of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horvath) (WBPH). It is therefore an important link in the migration chain of this species. Understanding the population fluctuations and migration dynamics of the WBPH in Hubei will provide useful information for forecasting outbreaks of this pest. [Methods] The annual fluctuations and distribution within mesoscale source areas of immigrant populations, and the destination areas of emigrating populations of the WBPH, were studied by trajectory analysis using NOAA's HYSPLIT based on the daily light-trap catches from 2000 to 2013. Migration processes were analyzed by GrADS using NCEP-NCAR to reanalyze the data. [Conclusion] (1) Light-trap catches of WBPH are a sensitive index for forecasting outbreaks of the WBPH, and the first appearance of WBPHs in light-traps should be earlier in outbreak years. (2) Simulations of migration trajectories during major migration events from 2000 to 2013 indicated that most immigrants to Hubei came from Hunan, Guizhou and Chongqing, with some from Guangxi. (3) In autumn, most individuals emigrated to Hunan, Chongqing and Guizhou via the northeast airflow. When the wind speed was higher, WBPH could migrate directly from Hubei to Guangxi and Yunnan, and a few could even reach northern Vietnam. (4) The low level jet-stream is a strong conveyor for long distance migrants, and landfall by large numbers of these pests can be caused by wind shear, cyclone and heavy rainfall.

Key words *Sogatella furcifera*, migration dynamics, mesoscale source areas, trajectory analysis

* 资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (31471763)

**第一作者 First author, E-mail: 526748918@qq.com

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

收稿日期 Received: 2015-07-03, 接受日期 Accepted: 2015-07-08

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horvath) 是目前为害我国及亚洲其他国家和地区水稻的主要迁飞性害虫之一 (包云轩等, 2007), 其为害对我国的水稻生产形成了严重威胁。20 世纪 90 年代, 全国水稻耕作制度出现了较大改变, 包括湖北稻区在内的长江中下游稻区大面积“压双扩单”, 大面积推广高产优质杂交稻, 但是其品种抗虫性差, 导致白背飞虱的种群数量迅速增加、发生为害程度逐年上升 (邓飞等, 2011)。从白背飞虱历年发生情况来看, 2005—2007 年白背飞虱在我国南部稻区以及长江中下游稻区连续大发生, 2012 年再度暴发, 给我国水稻生产带来了严重损失。所以必须明确白背飞虱虫源地的具体分布情况和迁入路径 (郑大兵等, 2014), 为白背飞虱的预测预报以及综合治理提供科学依据和理论指导。

根据已有的研究, 我国春季白背飞虱的早期迁入种群主要来自中南半岛, 此后随夏季风逐渐由南向北迁移, 到了秋季又随着东北气流回迁 (胡国文等, 1988), 所以各稻区迁入和迁出的时期与当地气候条件和气流等息息相关。因为各地气候条件的差异, 导致稻飞虱的迁飞时期和路径也各不相同。湖北省是我国水稻的主产区之一, 位居稻飞虱发生的北界, 也是秋季回迁的起点站, 因而是整个迁飞链条中的重要环节。湖北白背飞虱的年度间变化和迁飞动态研究不多, 明确这里白背飞虱的发生消长和迁飞动态, 可为白背飞虱的预测预报及综合治理提供技术支撑和科学依据。

1 材料与方法

1.1 灯诱数据

全国农业技术推广服务中心病虫测报处提供的 2000—2013 年湖北省宣恩、监利、通城、宜城 4 个站点的白背飞虱和褐飞虱灯下诱捕资料。稻飞虱的发生程度按 6 级划分 (胡国文等, 1997): 特大发生程度为 6 级, 大发生程度为 5 级, 中等偏重发生程度为 4 级, 中等发生程度为 3 级, 中等偏轻发生程度为 2 级, 轻发生程度为

1 级。

1.2 地图资料

研究所用的基础地理图层为国家基础地理信息中心 (<http://nfgis.nsdi.gov.cn>) 提供的 1:4 000 000 中国电子地图 (图 1)。

1.3 气象资料

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 (6 h 一次, $1^{\circ} \times 1^{\circ}$)。部分气温资料采用国家气象信息中心提供的中国地面气候资料 (<http://cdc.cma.gov.cn>)。

利用气象图形显示处理软件 GrADS (Grid analysis and display system) 提取 NCEP/NCAR 理念的全球 FNL 格点数据中 850 hPa 的水平流场、垂直速度和温湿度等变量参数进行绘图处理, 对降虫期间的天气背景做诊断分析。

1.4 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) 与澳大利亚国家气象局 (Australian Bureau of Meteorology) 共同开发的轨迹分析平台 HYSPLIT, 运行再分析格点数据, 经纬网格为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

轨迹计算时的参数设置: (1) 白背飞虱是顺风迁移的 (翟保平和张孝羲, 1997; Furuno *et al.*, 2005); (2) 白背飞虱在日出日落前 1 h 内起飞 (邓望喜, 1981; 赖仲廉, 1982); (3) 白背飞虱春秋季节迁飞高度通常为 1 000 m 上下, 夏季为 1 000~2 000 m (封传红等, 2002)。设定白背飞虱的迁飞高度为距地面 2 000、1 800、1 500、1 200 和 1 000 m; (4) 回推轨迹以降虫区为起点, 以降落时间为起始时刻, 回推至白背飞虱的起飞时刻 (翟保平等, 1997)。选择逐时灯诱的上灯高峰时段作为回推的起始时刻。顺推轨迹以虫源地白背飞虱起飞时间为起始时刻 (封传红, 2002; 翟保平, 2004)。对湖北而言, 6—8 月份分别取 05:00 和 07:00, 对应的 UTC 时间分别为 21:00 和 11:00) 作为回推轨迹的起始

时间, 降落日期即为灯诱高峰日, 轨迹分析的飞行时间最长取 36 h。

有效轨迹判定标准:回推或顺推轨迹的起点或终点, 其具体时刻必须符合白背飞虱起飞或降落的生物学时间节律特性 (翟保平, 2004), 回推轨迹终点必须是适宜水稻生育期即生长中后期的水稻种植区 (邹运鼎等, 1982), 当地稻田存在大量长翅型白背飞虱且正值迁出高峰 (张孝羲, 1980)。按以上标准剔除不合理轨迹后得到有效轨迹。

1.5 高峰日的选择

迁入高峰日选择标准:根据 2000—2013 年湖北省白背飞虱灯诱结果分析, 从出现白背飞虱成虫量突增日 (灯诱虫量较前一天明显增多) 到高峰后突减日为止, 为一个峰期, 峰期中虫量最多的日期即为高峰日 (稻飞虱测报调查规范, 1995)。

2 结果与分析

2.1 湖北省白背飞虱的发生概况和年度间变化

从湖北省 2000—2013 年各站点白背飞虱发

生程度来看, 湖北省白背飞虱 2005 年和 2012 年发生情况均较为严重, 为大发生年 (即 5 级); 2002—2005 年以及 2007—2009 年发生程度为中等偏重发生年 (即 4 级); 2000、2010、2011 和 2013 年发生程度为中等发生年 (即 3 级), 只有 2001 年白背飞虱发生程度较轻, 为轻发生年 (即 2 级), 总体来看, 湖北省白背飞虱发生情况较为严重, 14 年来平均发生等级接近中等偏重级 (即 4 级), 个别地区甚至接近大发生级 (即 5 级) (表 1)。

从湖北省 2000—2013 年各站点白背飞虱迁入种群灯诱始见期 (图 2) 可见, 湖北稻区白背飞虱平均始见期为 5 月中下旬, 不同站点始见期差距较大, 其中宣恩平均始见期为 5 月 22 日, 通城平均始见期为 5 月 8 日, 宜城平均始见期为 5 月 28 日, 监利平均始见期为 5 月 18 日。通过比较监利和宜城两个地区发现, 鄂北地区的宜城比鄂南地区的监利平均始见期迟 10 d 左右; 比较宣恩和监利两个地区发现, 鄂东和鄂西的白背飞虱平均始见期相差不大。在 2006 年和 2012 年稻飞虱重大发生年时, 白背飞虱的始见期普遍早于平均始见期 1~2 周左右, 2006 年和 2012 年宣

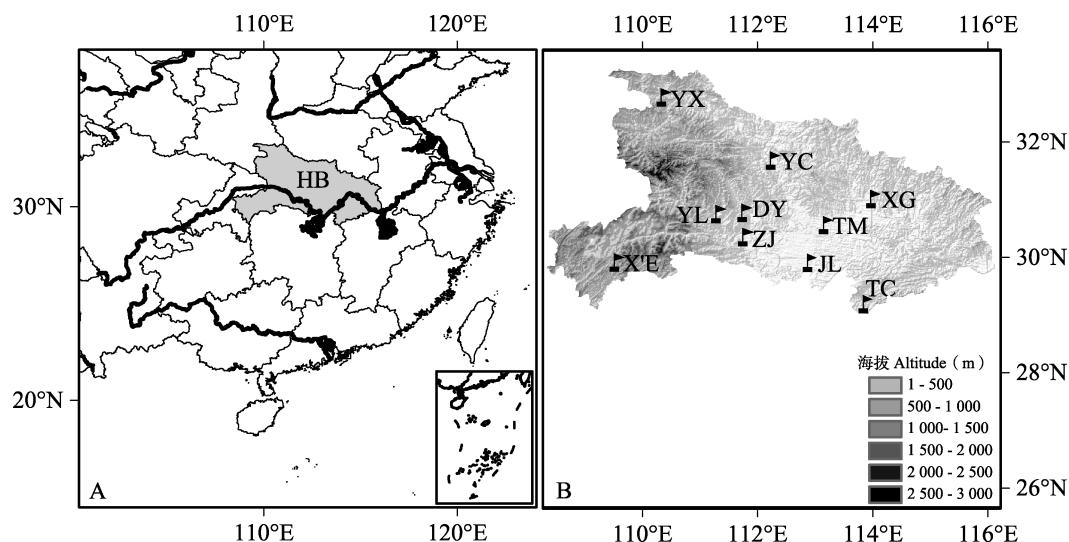


图 1 湖北省地理位置 (A) 及各站点分布 (B)

Fig.1 The geographical location (A) and distribution of trap site (B) of Hubei Province

HB: 湖北省; YC: 宜城; XG: 孝感; YL: 夷陵; TM: 天门; X'E: 宣恩; DY: 当阳; JL: 监利; TC: 通城; YX: 郧西。
HB: Anhui Province; YC: Yicheng; XG: Xiaogan; YL: Yiling; TM: Tianmen; X'E: Xuanen; DY: Dangyang; JL: Jianli;
TC: Tongcheng; YX: Yunxi.

表 1 湖北 2000—2013 年各站点白背飞虱发生程度
Table1 The extent of occurrence of WBPH in Hubei Province from 2000 to 2013

年份 Year	站点 Station							平均 Average
	宜城 Yicheng	宣恩 Xuan'en	通城 Tongcheng	枝江 Zhijiang	郢西 Yunxu	孝感 Xiaogan	当阳 Dangyang	
2000	3	3	2	\	3	\	\	3
2001	\	2	1	3	2	\	\	2
2002	5	5	4		3	\	\	4
2003	3	3	5	4	2	4	\	4
2004	3	2	4	4	3	5	\	4
2005	4	3	4	4	3	5	\	4
2006	5	4	5	5	4	5	\	5
2007	5	4	4	4	3	5	\	4
2008	4	\	\	\	\	\	\	4
2009	4	\	\	\	\	\	\	4
2010	4	\	3	\	3		3	3
2011	3	\	3	\	1		4	3
2012	5	5	5	\			4	5
2013	3	\	3	\	3		4	3
平均 Average	3.9	3.3	3.6	4	2.7	4.8	3.8	3.7

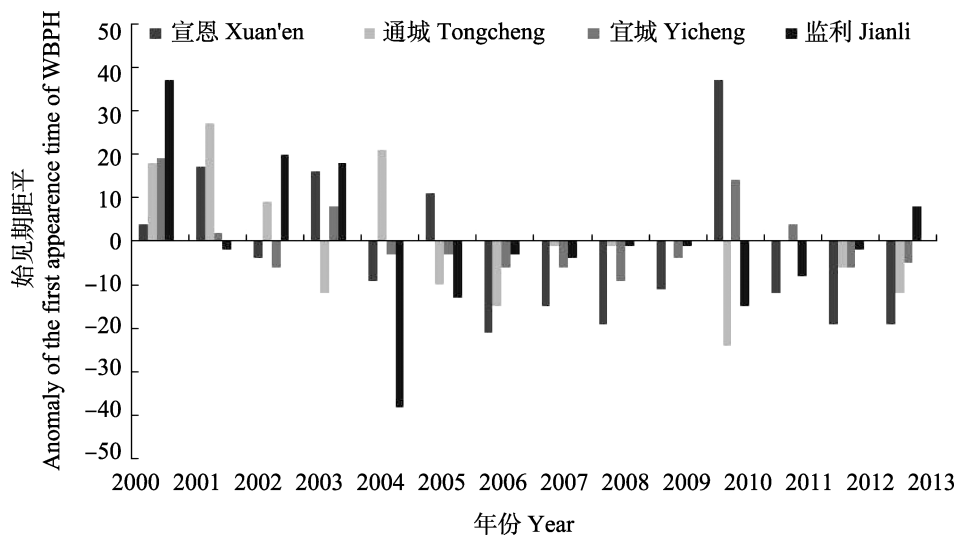


图 2 2000—2013 年湖北白背飞虱前期迁入种群灯诱始见期距平逐年变化图
Fig. 2 Annual anomalies form the year 2000 to 2013 for the first appearance time of WBPH light-trap catches in Hubei Province

恩白背飞虱始见期更是比平均始见期提前了 21 d 和 19 d, 这表明了白背飞虱始见期的早迟与其发生程度之间有着密切联系。

从 2000—2013 年湖北省稻飞虱迁入种群上

灯虫量的年际间变化 (图 3) 来看, 2005 年以前, 湖北省白背飞虱灯诱虫量并不多, 除了 2004 年白背飞虱灯诱总量达到 15 077 头以外, 2000—2003 年白背飞虱灯诱总量均未达到

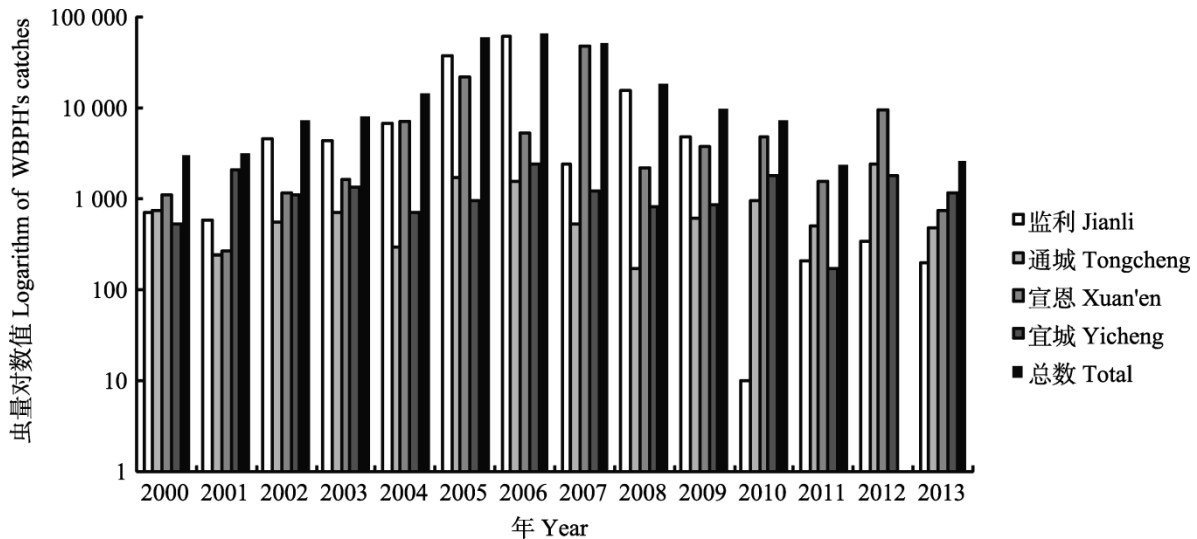


图 3 2000—2013 年湖北白背飞虱迁入种群上灯虫量年际变化

Fig. 3 The annual fluctuation of the light-trap catches of WBPH from 2000 to 2013 in Hubei

10 000 头,直到 2005 年,湖北省白背飞虱灯诱虫量显著增加,随后的 2006、2007 两年,湖北省白背飞虱灯诱虫量继续保持在与 2005 年灯诱虫量的同一数量级上,2005—2007 这 3 年湖北省白背飞虱总量均超过 5 万头,最高的为 2006 年,白背飞虱灯诱总量达到了 69 229 头,之后白背飞虱灯诱虫量呈回落状态,直到 2012 年,湖北省白背飞虱灯诱总量又显著上升,白背飞虱再次大发生。

2.2 湖北省白背飞虱迁入种群的虫源地和迁出种群的降落区分布

2.2.1 湖北省白背飞虱早期迁入虫源地分布

对 2000—2013 年宣恩 8 月以前的 159 个灯诱高峰日的回推轨迹分析结果表明,宣恩白背飞虱的虫源地主要分布在湖南西北部、贵州、广西,部分虫源来自湖南东部、云南东北部、越南南部和广东稻区,少量虫源来自海南岛、江西中北部和福建稻区(图 4:A);对 2000—2013 年监利 8 月以前 86 个灯诱高峰日的回推轨迹分析结果表明,监利白背飞虱的虫源地主要分布在湖南、广西、江西西部和贵州东部,部分虫源来自福建、广东和越南南部(图 4:B);对 2000—2013 年通城 8 月以前 64 个灯诱高峰日的回推轨迹分析结果表明,通城白背飞虱的虫源地主要分布在湖

南、江西和广西稻区,部分虫源来自贵州东部、广东、福建、海南岛和越南北部地区(图 4:C);对 2000—2013 年宜城 8 月以前 72 个灯诱高峰日的回推轨迹分析结果表明,宜城白背飞虱虫源地主要分布在湖南、重庆、贵州、广西稻区,部分虫源来自广东、江西、福建和浙江稻区,还有少量白背飞虱直接从越南北部地区迁入宜城(图 4:D)。

统计 2000—2013 年宣恩 5—8 月份 850 hPa 上空风向频率发现,宣恩 850 hPa 上空主要盛行南风、东南风和西南风,频率分别为 22.88%、17.11%和 15.51%(图 5:A);统计 2000—2013 年监利 5—8 月份 850 hPa 上空风向频率发现,监利 850 hPa 上空主要盛行西南风,频率为 31.82%(图 5:B);统计 2000—2013 年通城 5—8 月份 850 hPa 上空风向频率发现,通城 850 hPa 上空主要盛行西南风和南风,频率分别为 29.20%和 16.75%(图 5:C);统计 2000—2013 年宜城 5—8 月份 850 hPa 上空风向频率发现,宜城 850 hPa 上空主要盛行南风、西南风,频率分别为 21.89%和 21.83%(图 5:D)。

2.2.2 湖北省白背飞虱秋季迁出种群降落区分布

将湖北区白背飞虱回迁虫源的降落区按地理区域和轨迹落点分布情况分为 9 个区,其中有湖

南、江西、广东、广西、云南、四川、贵州、重庆 8 个中国的省份和越南北部地区 (表 2)。

对 2000—2013 年 9 月份白背飞虱顺推轨迹分析结果表明, 鄱西白背飞虱回迁虫源的降落区主要分布在四川和重庆, 概率分别为: 35.29% 和 30.02%, 其次为湖南和贵州, 概率分别为 18.84% 和 11.54%; 宣恩白背飞虱回迁虫源降落

区主要分布在重庆, 概率为 41.01%, 其次为湖南、四川和贵州, 概率分别为 16.26%、18.36% 和 18.61%; 监利白背飞虱回迁虫源的降落区主要分布在湖南, 概率为 70.02%, 其次为广西和贵州, 概率分别为 10.35% 和 10.19%; 仙桃与监利相似, 湖南的分布概率为 67.15%, 广西和贵州的分布概率为 11.54% 和 10.27%; 宜城白背飞

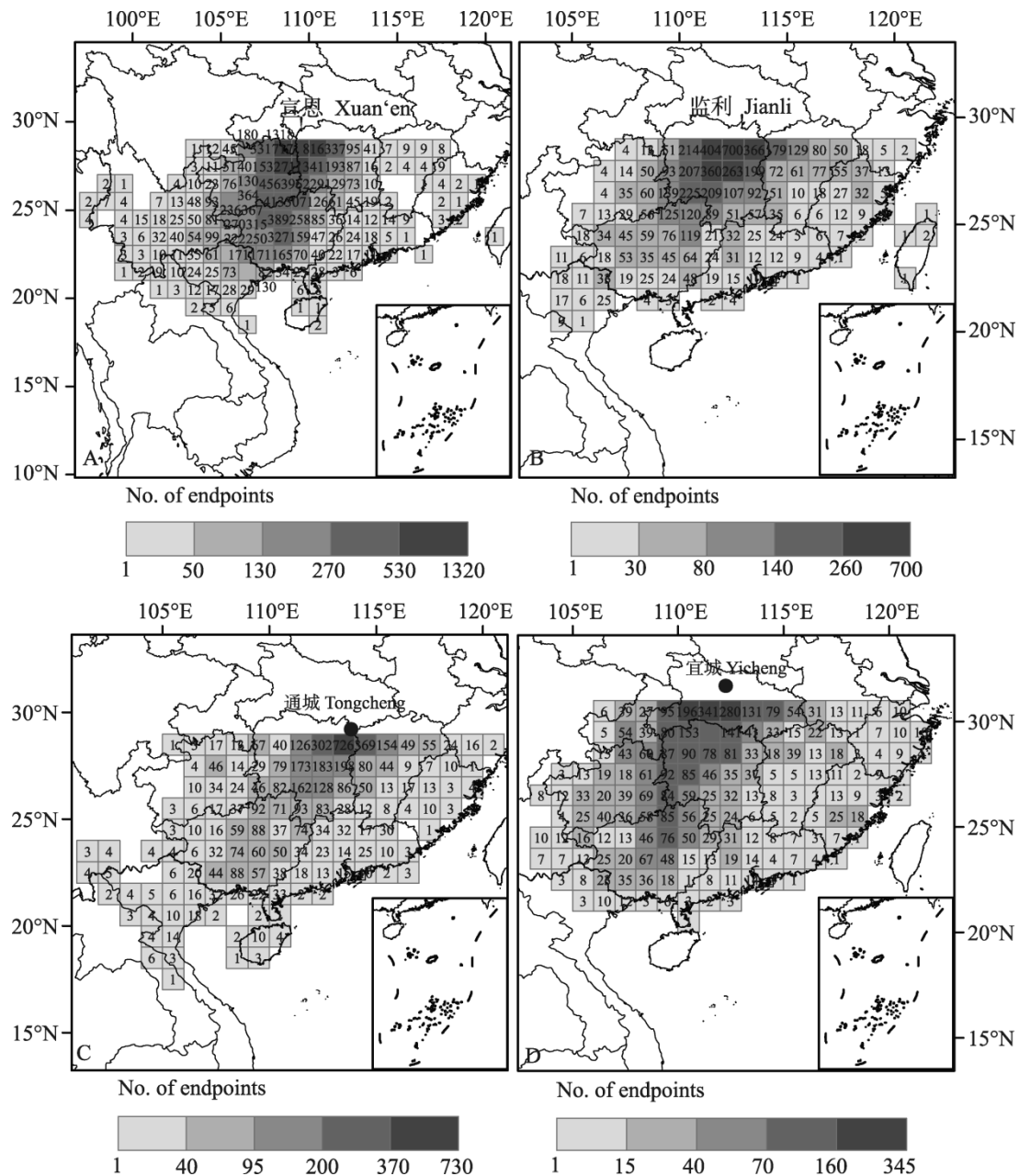


图 4 2000—2013 年湖北省白背飞虱虫源地分布

Fig. 4 The distribution of source area of immigrating WBPH in Hubei from 2000 to 2013

A. 宣恩 Xuan'en; B. 监利 Jianli; C. 通城 Tongcheng; D. 宜城 Yicheng.

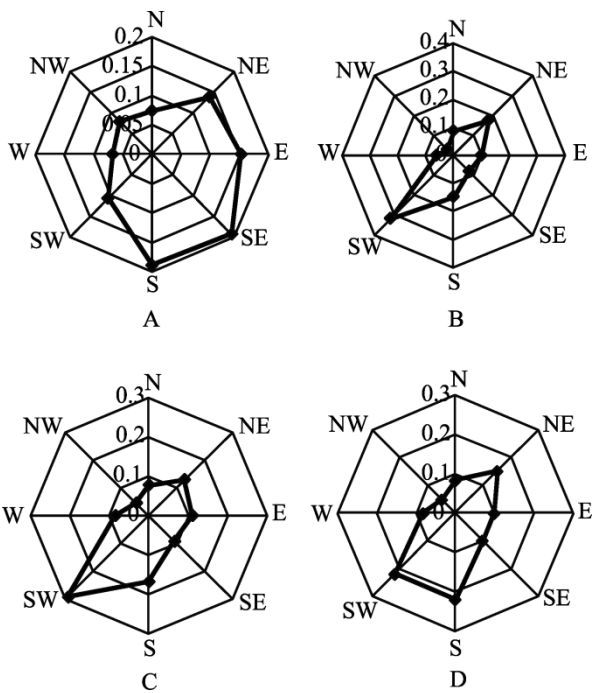


图 5 2000—2013 年宣恩 (A)、监利 (B)、通城 (C)、
宜城 (D) 5—8 月 850 hPa 上空风向频率
Fig. 5 Frequency of wind directions in Xuan'en (A)、
Jianli (B)、Tongcheng (C)、Yicheng (D) from May to
August from 2000 to 2013

虱回迁虫源降落区主要分布在湖南, 概率为 49.50%, 其次为重庆、贵州和广西, 概率分别为 20.33%、13.94%和 8.4%; 钟祥与宜城相似, 湖南的分布概率为 58.04%, 重庆、贵州和广西的分布概率分别为 12.61%、15.6%和 9.2%; 孝感白背飞虱回迁虫源降落区主要分布在湖南, 概率为 66.93%, 其次为广西和贵州, 概率分别为 11.3%和 8.19%, 江西和贵州也有少量分布, 概率分别为 4.88%和 5.53%; 通城白背飞虱回迁虫源降落区主要分布在湖南, 概率为 70.02%, 其次为江西和广西, 概率分别为 9.48%和 11.03%, 同时, 每年大部分站点都有很少量的虫子直接回迁至云南、广东和越南北部。从历年多个站点白背飞虱回迁种群降落区平均分布概率来看, 降落区分布在湖南的概率最大, 为 52.12%, 其次为重庆, 概率为 15.09%, 紧接着是贵州、广西和四川, 概率分别为 9.35%、8.17%和 7.81%, 而在江西、广东、云南和越南北部的都只有极少部分, 概率分布均不足 5%。

表 2 2000—2013 年 9 月湖北区主要迁出虫源在各降落区分布概率									
Table 2 Probability distribution of immigration area in September of 2000-2013 by the exodus from Hubei									
站点 Station	概率 Probability (%)								
	湖南 Hunan	江西 Jiangxi	广东 Guangdong	广西 Guangxi	云南 Yunnan	四川 Sichuan	贵州 Guizhou	重庆 Chongqing	越南北部 North Vietnam
鄯西 Yunxi	18.84	0.64	0	1.46	1.87	35.29	11.54	30.02	0.34
宣恩 Xuan'en	16.26	0.26	0	2.1	2.26	18.36	18.61	41.01	0.94
监利 Jianli	70.20	0.01	0.34	10.35	0.63	1.12	10.19	4.16	1.02
仙桃 Xiantao	67.15	2.96	0.44	11.54	0.45	0.93	10.27	5.31	0.94
宜城 Yicheng	49.50	0.75	0.1	8.4	1.69	4.12	13.94	20.33	1.17
钟祥 Zhongxiang	58.04	0.8	0.1	9.2	1.25	1.4	15.6	12.61	1.01
孝感 Xiaogan	66.93	4.88	1.3	11.3	0.49	0.79	8.19	5.53	0.59
通城 Tongcheng	70.02	9.48	1.57	11.03	0.31	0.5	0.463	1.75	0.43
平均 Average	52.12	2.47	0.48	8.17	1.12	7.81	9.35	15.09	0.81

2.3 白背飞虱迁入个例分析

为了明确湖北白背飞虱的迁飞路径及降落机制,从2000—2013年之间选取几个白背飞虱长距离迁飞后降落的个例进行分析,长距离迁飞以回推轨迹落点分布在越南北部为标准。

2007年6月18日,宣恩灯下出现降虫高峰,通过回推轨迹落点分布可以看出,12 h 轨迹落点主要分布在贵州东北部,24 h 虫源地主要分布在贵州、广西、云南三省交界处,36 h 虫源地大部分云南南部和越南北部(图6:A, B)。2007年6月19日02:00 850 hPa 高度上宣恩以南地区盛行偏南风,风速约15 m/s,这样的气流条件对于白背飞虱的远距离输送十分有利。当这股气流到达重庆地区时与北方的冷空气交汇形成气旋,宣恩处于气旋所在的边缘地带,当天中雨,这样的气象条件对大量降虫非常有利(图8)。

2004年7月9日,宜城灯下出现早期降虫小高峰,通过回推轨迹落点分布可以看出,12 h 轨迹落点主要分布在湖南北部地区,24 h 虫源地主要分布在湖南北部地区和广西南部地区,36 h 轨迹落点分布大部分分布在广西地区,还有极

小部分落点来自越南北部地区(图7:A, B)。

2004年7月10日02:00 850 hPa 高度上宜城南地区盛行偏南风,风速大于20 m/s,这样的低空急流对于飞虱的远距离输送十分有利。到达湖北西北部地区时与北方的冷空气交汇形成气旋,而宜城处于气旋所在的边缘地带,据数据记录,当天下雨,这样的气象条件有利于白背飞虱降落(图8)。

2007年7月3日,宜城灯下出现降虫高峰,通过回推轨迹落点分布可以看出,12 h 轨迹落点主要分布在湖北西南部,24 h 虫源地主要分布在贵州地区,36 h 轨迹落点大部分分布在越南北部地区(图7:C, D)。2007年7月4日02:00 850 hPa 高度上宜城以南地区盛行偏南风,风速大于20 m/s,对于飞虱的远距离输送十分有利。到达湖北西北西部时与北方的冷空气交汇形成风切变,宜城正处于风切变地带,这样的气象条件造成了飞虱的大量降落(图8)。

2008年7月25日,宜城灯下出现早期降虫高峰,通过回推轨迹落点分布可以看出,12 h 轨迹落点主要分布在湖北西南部地区,24 h 虫源地主要分布在贵州地区,36 h 轨迹落点分布大部分

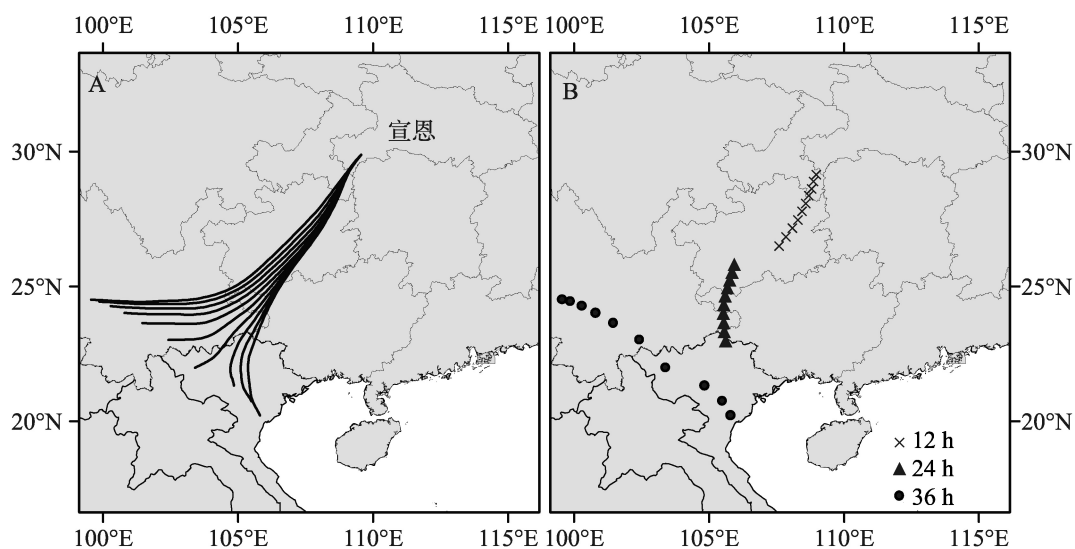


图6 2007年6月18日宣恩白背飞虱回推轨迹落点分布

Fig. 6 The distribution of endpoints for WBPH's backward trajectories on June 18 in 2007 in Xuan'en

A. 宣恩白背飞虱回推轨迹; B. 宣恩白背飞虱回推轨迹落点分布。

A. Backward trajectories of Xuan'en; B. The distribution of endpoints of Xuan'en.

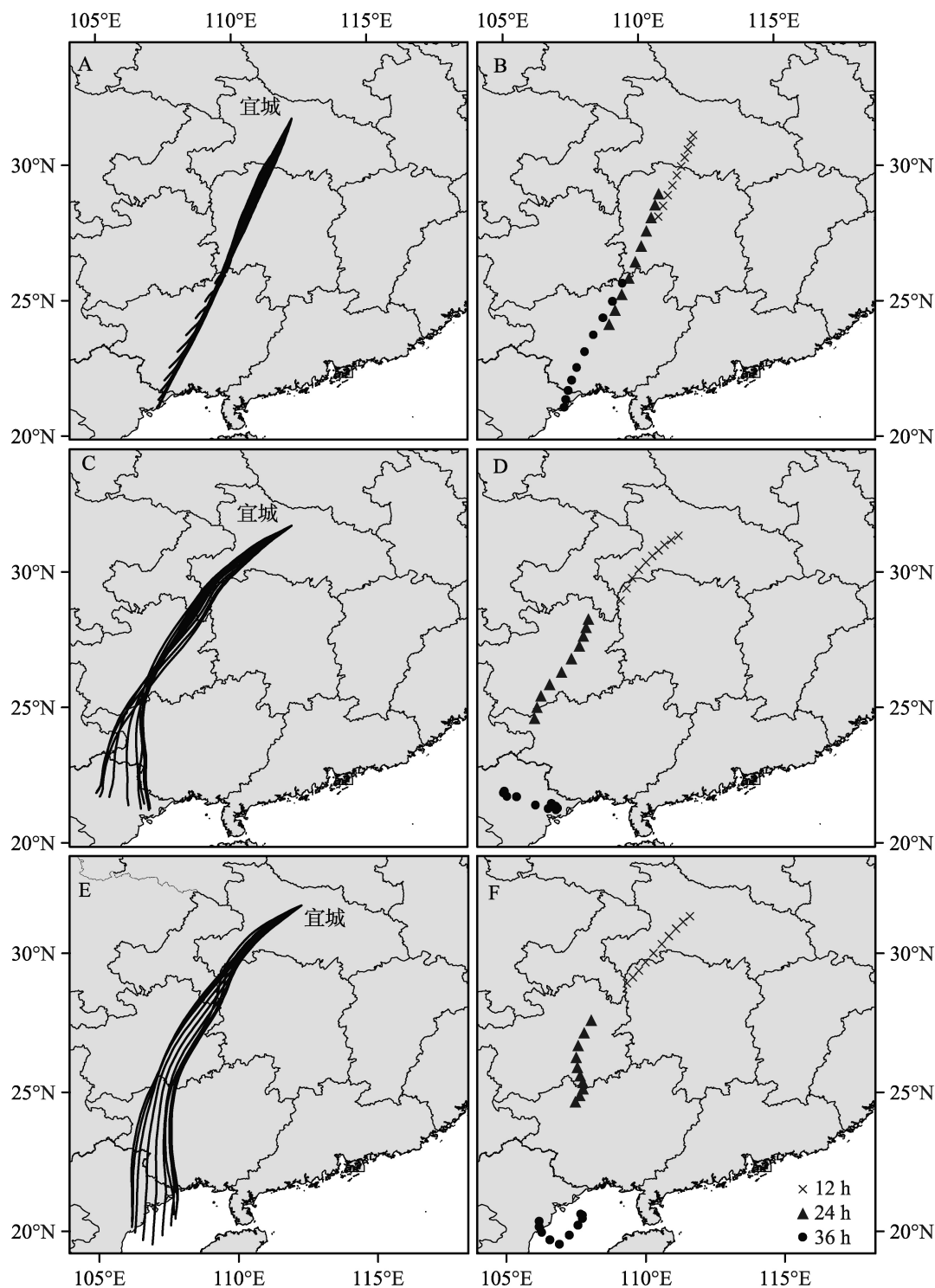


图 7 2004 年 7 月 9 日、2007 年 7 月 3 日、2008 年 7 月 25 日宜城白背飞虱回推轨迹落点分布
 Fig. 7 The distribution of endpoints for WBPH's backward trajectories on July 9 in 2004, on July 3 in 2007 and July 25 in 2008 in Yicheng

A. 2004 年 7 月 9 日宜城白背飞虱回推轨迹；B. 2004 年 7 月 9 日宜城白背飞虱回推轨迹落点分布；C. 2007 年 7 月 3 日宜城白背飞虱回推轨迹；D. 2007 年 7 月 3 日宜城白背飞虱回推轨迹落点分布；E. 2008 年 7 月 25 日宜城白背飞虱回推轨迹；F. 2008 年 7 月 25 日宜城白背飞虱回推轨迹落点分布。

A. Backward trajectories of Yicheng on July 9 in 2004; B. The distribution of endpoints of Yicheng on July 9 in 2004; C. Backward trajectories of Yicheng on July 3 in 2007; D. The distribution of endpoints of Yicheng on July 3 in 2007; E. Backward trajectories of Yicheng on July 25 in 2008; F. The distribution of endpoints of Yicheng on July 25 in 2008.

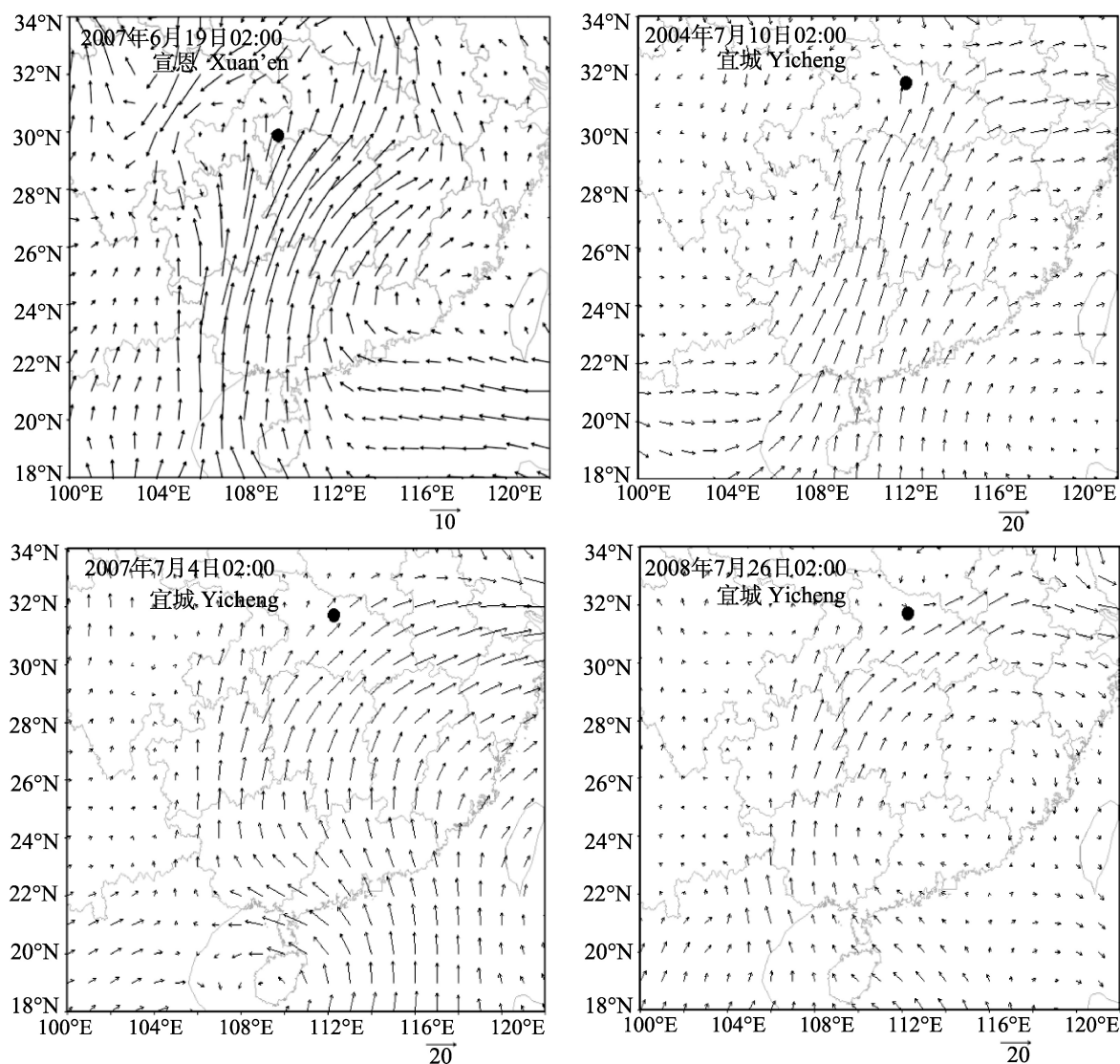


图 8 宣恩和宜城（黑圆表示）迁入峰日 02:00 850 hPa 上的水平风场（m/s）

Fig. 8 Horizontal wind field (m/s) on 850 hPa at 02:00 during the immigration peaks in Xuan'en and Yicheng (mark with black spot)

落入海中，为无效落点，还有小部分分布在越南北部地区（图 7：E, F）。2008 年 7 月 25 日 02:00 850 hPa 高度上宜城以南地区盛行偏南风，风速大于 20 m/s，有利于白背飞虱的远距离输送。到达湖北西北部时与北方的冷空气交汇形成风切变，宜城正处于风切变地带，这样的气象条件对飞虱大量降落非常有利（图 8）。

3 结论与讨论

2000 年以来，湖北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，关于湖北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。

白背飞虱具有趋光性，采取灯诱的方式能即使掌握它的始见日、始盛日、发生高峰期、严重程度等季节性动态变化（陈文龙等，2005），从 2000—2013 年湖北省稻飞虱迁入种群上灯虫量的年际间变化来看，大部分站点灯诱虫量呈逐年上升的趋势，并且上灯虫量高的站点，其发生程度也相对严重。湖北稻区稻飞虱平均始见期为 5 月中下旬，在白背飞虱为害较轻的 2000、2001

和 2011 年, 大部分站点白背飞虱的始见期要迟于平均始见期, 而在白背飞虱大发生的 2006、2007 和 2012 年几乎所有站点的白背飞虱始见期都早于平均始见期。但是也不能从始见期判断概稻飞虱是否大发生, 比如 2013 年大部分站点白背飞虱的始见期都比较早, 但是稻飞虱发生情况并非极为严重, 并未达到大发生状态。

白背飞虱每年的发生程度与虫源地主要迁出的气流和雨区推移方向的变化有着密切的关系, 因为气候因素对白背飞虱的迁入峰次和降虫量有极大的影响。湖北地区 5—7 月份主要盛行东南气流, 大比例的南风、东南风将湖北南部地区的白背飞虱不断的带入湖北地区进行为害。白背飞虱的早期迁入大都发生在 5 月上旬—6 月上旬, 当时双季早稻处于分蘖期到孕穗期之间, 为迁入的白背飞虱提供了很好的营养条件, 有利于白背飞虱的发育和繁殖; 7 月份开始, 白背飞虱大量迁入, 此时的白背飞虱虫源地大都来自中国南部稻区, 此时, 大面积的中稻处于分蘖盛期, 是发生白背飞虱大暴发最危险的时期。到了 8 月份, 东北气流开始增多, 出现频率几乎与西南气流不相上下, 湖北稻区的白背飞虱既有迁入, 也有迁出, 但主要还是以迁入为主, 迁入高峰日并不多, 所以后期白背飞虱的为害主要是居留型白背飞虱的大量繁殖所引起的。

白背飞虱的起飞行为受到食料质量和数量的影响, 比如: 水稻的黄熟期时, 由于水稻营养条件恶化, 影响了稻飞虱的生长和发育, 从而引起其种群分化, 形成大量长翅型具有迁飞特性的成虫 (王希仁和张灿东, 1981)。8 月下旬开始, 湖北单季稻区水稻就开始成熟, 一般在 9 月 15—25 日收割, 此时会有大量白背飞虱长翅成虫迁出。从 9 月份开始, 湖北除了为长三角地区单季晚稻提供虫源之外, 也成为白背飞虱回迁的起始站, 每年的 9 月中下旬, 干燥寒冷的东北风伸延到我国东部地区, 盛行东北气流日渐强盛并不断向南覆盖, 秋季我国东部大陆的季风成为田间白背飞虱向南迁出的有利条件, 湖北白背飞虱的回迁正是借助这股东北气流向西南方向迁出,

从而形成周年循环。

一次迁飞过程中, 各迁入地的降虫量由近及远依次递减, 距离虫源地越近, 降虫量越多, 反之越少。根据距离虫源地的远近, 可以将迁入地依次分为主降区、突增区和波及区 (程遐年等, 1979)。本研究发现湖北地区白背飞虱大部分虫源地分布在湖南、贵州、重庆等邻近省份, 由于东南风频率不高, 像江西、福建等省份早期并不能给湖北提供大量虫源。在风速比较强劲的时候, 也有相当部分白背飞虱来自于广西地区, 同时, 还有少部分白背飞虱来自于云南地区, 极少量的白背飞虱会直接从越南和老挝迁飞而来。

稻飞虱自身的飞行能力非常有限, 室内吊飞结果表明, 稻飞虱飞行速度一般在 0.3~0.4 m/s 左右, 当风速小于 1.63 m/s 时, 稻飞虱可以逆风飞行, 超过此值则可顺风飞行 (陈若簏等, 1984)。稻飞虱空中的速度基本与风速保持一致, 并没有发现共同定向的行为 (Chen *et al.*, 1989; Riley *et al.*, 1991, 1994, 1995; 程极益等, 1994; 翟保平, 1999, 2005; Chapman *et al.*, 2010; 高月波和翟保平, 2010)。本研究对白背飞虱远距离迁飞情况进行个例分析, 结果发现: 低空急流有利于白背飞虱的远距离飞行, 在白背飞虱远距离迁入降落的高峰日, 风速最大能达到 20 m/s。白背飞虱在虫源地起飞后, 随着低空急流可以飞行 10 个纬度左右的纵向距离, 使得早期的白背飞虱可以从越南北部直接到达湖北地区, 为害水稻早期生长发育。

稻飞虱的降落并不像起飞过程那样有明显的光节律性, 它们并不会在特定的时段内以一定规模发生 (翟保平等, 1997)。丁德峻 (1980) 等统计了我国褐飞虱 1975—1978 年从南至北 40 次迁入期间的天气系统, 研究结果表明, 锋面系统对褐飞虱的北迁降落十分有利, 特别是静止锋天气存在时更为有利。江广恒 (1981, 1982) 等曾对 1977—1978 年出现的褐飞虱 15 次南迁以及 67 次北迁过程的气象因子进行统计分析, 结果表明下沉气流和降雨对褐飞虱的降落具有十分重要的影响。本研究在个例分析中分析降虫高峰

日的水平风场, 结果发现风切变、气旋、降雨等气象条件极易造成白背飞虱的大量降落, 形成降虫高峰。

湖北稻区既是白背飞虱北迁的重要一个环节, 也是秋季回迁的起始站, 同时, 湖北还是长江三角洲地区后期迁入的重要虫源之一, 但是本文在论述湖北省白背飞虱南来北往的迁飞过程时没有进一步阐述湖北省稻飞虱对长三角地区后期迁入的影响, 有待后续进一步研究。

致谢: 全国农业技术推广服务中心和湖北省植保站提供虫情数据, 国家气象信息中心提供部分国内地面气温资料, 美国国家环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)提供全球再分析数据, 谨致谢忱!

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*). *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): 4527–4537.]
- Chapman JW, Nesbit RL, Burgin LE, Reynolds DR, Smith AD, Middleton DR, Hill JK, 2010. Flight orientation behaviors promote optimal migration trajectories in high-flying insects. *Science*, 327 (5966): 682–685.
- Chen RC, Wu JR, Zhu SD, Zhang JX, 1984. Flight capacity of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomologica Sinica*, 27(2): 121–127. [陈若簏, 吴家荣, 祝树德, 张建新, 1984. 褐飞虱的飞翔能力. 昆虫学报, 27(2): 121–127.]
- Chen RL, Bao XZ, Drake VA, Farrow RA, Wang SY, Sun YJ, Zhai BP, 1989. Radar observations of the spring migration into northeastern China of the oriental armyworm moth, *Mythimna separata*, and other insects. *Ecological Entomology*, 14(2): 149–162.
- Chen WL, Shen K, Peng H, Li J, Zhang RJ, 2005. Seasonal change of light-trap collections of *Sogatella furcifera*. *Journal of South China Agricultural University*, 26(3): 37–40. [陈文龙, 申科, 彭华, 黎坚, 张润杰. 2005. 白背飞虱灯诱种群数量季节动态. 华南农业大学学报, 26(3): 37–40.]
- Cheng JY, Fan DQ, BAO YX, FEI HX, 1994. The trajectory analysis of brown planthopper outbreaks in the eastern of Hebei Province. *Agricultural Meteorology*, (1): 2–5. [程极益, 樊多琦, 包云轩, 费惠新, 1994. 冀东稻飞虱暴发的轨迹分析. 中国农业气象, (1): 2–5.]
- 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): 1–20. [程遐年, 陈若簏, 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): 1–20.]
- Deng F, Ni S, Zhu XD, 2011. Present status and prospect of breeding resistant cultivars of brown planthopper in rice. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 24(44): 229–237. [邓飞, 倪深, 朱旭东, 2011. 水稻抗褐飞虱育种研究的现状与展望. 中国农学通报, 27(24): 229–237.]
- Deng WX, 1981. A general survey on seasonal migrations of *Niaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae) by means of airplane collections. *Journal of Plant Protection*, 8(2): 73–81. [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): 73–81.]
- DING JD, 1980. The relationship between seasonal changes of low-atmospheric circulation in East Asia and long distance migration of *Nilaparvata lugens* Stål. *Jiangsu Agricultural Sciences*. (5): 38–41. [丁德峻, 1980. 东亚大气低层环流季节性变化与褐稻虱长距离迁飞. 江苏农业科学, (5): 38–41.]
- Feng CH, Zhai BP, Zhang XX, Tang JY, 2002. Climatology of low-level jet and northward migration of rice planthoppers. *Acta Ecologica Sinica*, 22(4): 559–565. [封传红, 翟保平, 张孝羲, 汤金仪, 2002. 我国低空急流的时空分布与稻飞虱北迁. 生态学报, 22 (4): 559–565.]
- 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* Horvath). Beijing: Chinese Standard Press. [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.]
- Furuno A, Chino M, Otuka A, Matsumura TM, Suzuki Y, 2005. Development of a numerical simulation model migration of rice planthoppers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(s1-s4): 197–209.
- Gao YB, Zhai BP, 2010. Mechanisms of insect orientation: a review.

- Chinese Bulletin of Entomology*, 47(6): 1055–1065. [高月波, 翟保平, 2010. 昆虫的定向机制. *昆虫知识*, 47(6): 1055–1065.]
- Hu GW, Xie MX, Wang YC, 1988. A suggestion for delimitation of the incidence areas of white-backed planthopper 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): 42–48.]
- Jiang GH, Tan QH, Shen WZ, Cheng XN, Chen RC, 1981. The 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, 陈若簏, 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 in southeastern China. *Acta Entomologica Sinica*, 25(2): 147–155. [江广恒, 谈涵秋, 沈婉贞, 程遐年, 陈若簏, 1982. 褐飞虱远距离向南迁飞的气象条件. *昆虫学报*, 25(2): 147–155.]
- Lai ZL, 1982. Investigation on the overwintering and migration of *Sogatella furcifera* Guiyang. *Acta Entomologica Sinica*, (4): 397–402. [赖仲廉, 1982. 贵阳地区白背飞虱的越冬及迁飞的观察. *昆虫学报*, (4): 397–402.]
- Riley JR, Cheng XN, Zhang XX, Reynolds DR, Xu GM, Smith AD, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, 1991. The long-distance migration of *Nilaparvatalugens* (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. Observation on the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and other pests in east central China. *Bulletin of Entomological Research*, 84 (3): 389–402.
- Riley JR, Reynolds DR, Smith AD, Edwards AS, Zhang XX, Cheng XN, Wang HK, Cheng JY. 1995. Observations of the autumn migration of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and other moths in eastern China, *Bulletin of Entomological Research*, 85(3): 397–414.
- Wang XR, Zhang CD, 1981. Discuss on the factors of wing dimorphism of *Nilaparvata lugens*. *Chinese Bulletin of Entomology*, (4): 145–148. [王希仁, 张灿东, 1981. 褐稻虱翅型分化因子的探讨. *昆虫知识*, (4): 145–148.]
- Zhai BP, Zhang XX, Cheng XN, 1997. Parameterizing the migratory behaviour of insects I. Behavioural analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 1 (1): 9–19. [翟保平, 张孝羲, 程遐年, 1997. 昆虫迁飞行为的参数化 I. 行为分析. *生态学报*, 1 (1): 9–19.]
- Zhai BP, 1999. Tracking angels: 30 years of radar entomology. *Acta Entomologica Sinica*, 42(3): 315–326. [翟保平, 1999. 追踪天使——雷达昆虫学 30 年. *昆虫学报*, 42(3): 315–326.]
- Zhai BP, Zhang XX, 2002. Parameterizing the migratory behaviour of insects II. Models and verification. *Acta Ecologica Sinica*, 17(2): 190–199. [翟保平, 张孝羲, 2002. 昆虫迁飞行为的参数化 II. 模式与检验. *生态学报*, (02): 190–199.]
- Zhai BP, 2004. Computing the day length for programming insect behavior. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(2): 178–181. [翟保平, 2004. 昆虫行为研究中日长的计算. *昆虫知识*, 41(2): 178–184.]
- Zhai BP, 2005. What have we seen by entomological radar. *Entomological Knowledge*, 42(2): 217–226. [翟保平, 2005. 昆虫雷达让我们看到了什么? *昆虫知识*, 42(2): 217–226.]
- Zhang XX, 1980. The migration type, physiological mechanism and Ecological mechanism of insect. *Chinese Bulletin of Entomology*, 17(5): 236–239. [张孝羲, 1980. 昆虫迁飞的类型及生理、生态机制. *昆虫知识*, 17(5): 236–239.]
- Zheng DB, Cui MH, He HP, Shen HM, Hu G, Chen X, Zhai BP, 2014. Source areas and landing mechanisms of early immigrant population of white backed-planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) 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.]
- Zou YD, CHEN JC, WANG SH, 1982. The relation between nutrient substances in the rice plant and wing dimorphism of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens*). *Acta Entomologica sinica*, 25(2): 220–222. [邹运鼎, 陈基诚, 王士槐, 1982. 稻株营养物质与褐稻虱翅型分化的关系. *昆虫学报*, 25(2): 220–222.]