

福建省白背飞虱前期迁入虫源分析

沈慧梅^{1,2}, 孔丽萍³, 章霜红⁴, 张孝羲¹, 翟保平^{1,*}

(1. 南京农业大学昆虫学系, 农业部作物病虫害监测与防控重点开放实验室, 南京 210095; 2. 云南省农科院农业环境资源研究所, 昆明 650205; 3. 福建省植保植检站, 福州 350003; 4. 福建省龙岩市新罗区植保站, 福建龙岩 364000)

摘要: 近年来, 福建省白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 危害严重, 尤其 2007 年, 全省早稻白背飞虱特大发生, 迁入峰不但比常年偏早, 且虫量异常偏多。本文利用由美国国家大气与海洋局与澳大利亚国家气象局共同开发研制的大气质点轨迹分析平台模型 HYSPLIT, 和气象图形分析显示软件 GrADS 对 2007–2010 年 4–5 月福建省白背飞虱早期主要迁入峰次进行了轨迹模拟, 并对 2007 年 5 月份的主要迁入过程进行了天气学背景分析。结果显示: (1) 福建省白背飞虱早期迁入虫源主要来自广东、海南省, 台湾省、菲律宾仅在个别年份提供少量虫源, 非主要虫源地; (2) 低空急流与持续降水的配合是导致 2007 年白背飞虱集中降落的直接原因。2007 年 5 月稻飞虱迁入同期, 福建 850 hPa 上空低空急流频繁, 5 月份西太平洋副高比往年偏西、偏强, 且北跳推迟, 使得华南地面准静止锋形成, 雨季延长; (3) 2007 年广东、海南 3 月底至 4 月初的 1 代成虫迁入种群较多造成的田间 2 代白背飞虱虫源基数的增加是造成 2007 年福建白背飞虱迁入量增加的最根本原因。福建白背飞虱的主迁入虫量取决于两广早期田间虫源基数的多寡, 在副高偏强、雨水较多年份, 提前对两广、海南地区田间稻飞虱发生情况进行了了解将有助于福建稻飞虱的预防与治理。

关键词: 白背飞虱; 迁飞; 灯下虫量; 虫源; 轨迹分析

中图分类号: Q966 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2011)06-0701-13

Analysis of the source areas of the early immigration of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae), in Fujian Province, China

SHEN Hui-Mei^{1,2}, KONG Li-Ping³, ZHANG Shuang-Hong⁴, ZHANG Xiao-Xi¹, ZHAI Bao-Ping^{1,*} (1. Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects, the Ministry of Agriculture, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Agricultural Environment and Resource, Yunnan Academy of Agricultural Science, Kunming 650205, China; 3. Fujian Plant Protection and Quarantine Station, Fuzhou 350003, China; 4. Xinluo Plant Protection Station, Longyan, Fujian 364000, China)

Abstract: The white-backed planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera* (Horváth), is a serious pest of rice in South China including Fujian Province. The earlier huge immigration peaks of WBPH had been seen from April to May 2007. In this study, HYSPLIT (Hybrid Single-particle Lagrangian Integrated Trajectory), a trajectory analysis platform developed by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) of US and Australian Bureau of Meteorology, was used to simulate the early migratory pathways of WBPH from their source areas in April and May from 2007 to 2010. GrADS (Grid Analysis and Display System), a meteorological data analysis and displayed software, was used to analyze and display the synoptic meteorological background during the early immigration periods in May 2007. The results showed that: (1) the source areas of the earlier mass immigration population of WBPH occurred from 2007 to 2010 were mostly in Guangdong and Hainan Provinces, and a few sources were from Taiwan Province and Philippines. (2) The co-occurrence of low-level jet and continuous rainfall directly resulted in the concentration of the airborne migrants and the mass immigration of WBPH in 2007. During the appearance of major immigrants in May, 2007, there were strong southwest low-level

基金项目: 国家“973”计划项目 (2010CB126200); 农业公益性行业科研专项 (200903051); 国家水稻产业技术体系建设专项 (nycytx-01)

作者简介: 沈慧梅, 女, 1981 年生, 山西忻州人, 博士研究生, 研究方向为害虫预测预报, E-mail: shenhuimei@gmail.com

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

收稿日期 Received: 2011-01-13; 接受日期 Accepted: 2011-05-04

jets at 850 hPa simultaneously. Meanwhile, the West Pacific subtropical high was stronger than normal and extended towards west, and the northern jump of its ridge postponed, that caused the formation of a stationary front in South China and brought the sustained rainfall. (3) The high early-immigration of the 1st generation of WBPH from late March to early April in Guangdong and Hainan, and their high offspring population of the 2nd generation bred during March to May in 2007 was the key reason for mass immigration in Fujian. It is assistant to the forecasting and management work for rice planthopper in Fujian Province to investigate the rice planthopper situation in Hainan, Guangdong and Guangxi, in more rain and stronger West Pacific subtropical high years.

Key words: White-backed planthopper (*Sogatella furcifera*); migration; light trap catches; source area; trajectory analysis

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 是福建省最重要的水稻害虫, 随着杂交稻推广面积的增加, 1990 年后其危害逐渐加重。2007 年, 白背飞虱在福建省大发生, 前期迁入虫量之大历史罕见: 早稻特大发生, 单季稻大发生, 晚稻偏重发生。作为迁飞性昆虫, 迁入虫源基数不仅直接关系到田间种群数量的大小, 而且对种群动态消长起着决定性作用 (李汝铎等, 1996; 程遐年等, 2003), 迅速增加的田间虫量对防治工作提出更高要求。若能找准迁入种群的虫源地进而开展异地预测和源头治理, 就可最大程度从根本上实现稻飞虱的可持续控制。

通过 1970 – 1980 年全国范围的科研大协作, 我国稻飞虱南北周年往返迁飞的基本规律已初步摸清。但由于地域差异, 福建省稻飞虱的虫源具体来自哪里一直没有定论。前人认为, 每年 5 月中下旬至 6 月上旬稻飞虱的第 2 次北迁是从海南岛中部以北及中南半岛同纬度地区迁到我国两广南部和南岭地区 (程遐年等, 1979; 全国白背飞虱科研协作组, 1981)。刘浩光等 (1979) 与罗肖南和卓文禧 (1986) 通过对福建省稻飞虱的田间调查和室内饲养等一系列研究证实了福建省中南部属稻飞虱间歇性越冬区, 在个别暖冬年份会有一定量的稻飞虱虫卵越冬, 但大发生年虫源主要来自异地迁入。蔡文华等 (1998) 对照历史天气图, 对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 高峰日次数、气流、降雨以及下沉气流频次进行统计得出, 福建省褐飞虱伴随降雨降落的概率达到 90%, 随下沉气流降落概率为 6%, 认为福建飞虱虫源主要由西南气流携带而来, 也可以随东南气流来自台湾地区与菲律宾。福建地处北回归线以北、南岭与浙闽丘陵之间, 地形复杂, 关于稻飞虱虫源的异地迁入已有共识, 但具体来自何方在以往文献中均无确切记录。福建省稻飞虱的来源虽未有定论, 但因其特殊的地理位置, 作为日韩等国稻飞虱的潜在虫源区, 福建一直倍受关注: Zhu 等

(2000) 利用大气边界层模型, 对 1997 – 1999 年韩国稻飞虱迁入峰进行轨迹分析, 认为韩国 6 月份出现的迁入峰很大一部分来自福建沿海地区; Otuka 等 (2005, 2006) 以 MM5 模块为基础开发出的三维轨迹模型, 对 2003 年 6 月 23 – 25 日期间日本九州出现的白背飞虱迁入峰进行轨迹回推, 得出虫源来自我国福建与台湾的结论; 他们还利用该轨迹模型对菲律宾的迁出虫源进行模拟, 认为 1997 年、1999 年及 2002 年 5 月份菲律宾虫源可以进入福建沿海 (Otuka, 2005, 2006)。台湾与福建隔海相望, Huang 等 (2010) 利用三维轨迹模型对 1990 – 2005 年诱虫灯下 2 种飞虱的高峰期进行轨迹回推, 得出台湾早稻稻飞虱虫源主要来自我国华南稻区与越南, 台风对迁入过程影响显著。

受研究条件限制, 以往国内的虫源研究都以描述性讨论为主, 且研究对象多为褐飞虱, 尽管白背飞虱与褐飞虱在很多方面存在共同点, 但在迁飞行为上还存在明显差异。本文借助气象卫星技术的发展以及信息网络的普及, 以更加精细的气象数据和虫情数据为基础, 利用轨迹模拟平台对白背飞虱具体的迁入过程进行实时模拟, 以更加直观形象地对白背飞虱的重大迁入过程做精准分析。通过对福建省 2007 – 2010 年 4 – 5 月份白背飞虱前期重大迁入过程进行轨迹模拟, 并结合当时水稻生育期以及田间虫情调查结果, 分析迁入峰期的天气学背景, 以期阐明福建省白背飞虱的早期迁入虫源地分布范围以及迫使白背飞虱在福建大规模集中降落的气象因子, 从而为白背飞虱的异地预测和源头治理提供理论依据。

1 材料方法

1.1 数据来源

白背飞虱灯诱数据以及田间调查数据来源于福

建省农业信息网与全国农技推广中心;气象数据来源于美国国家环境预报中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP)提供的每日4次,水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的全球格点 FNL (Final Operational Global Analysis)分析数据。

降水资料采用中国气象局间隔6 h的地面观测数据[由 Guangxi Meteorological Information Sharing System(GMISS)网站下载]。

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(<http://ngcc.sbsm.gov.cn>)下载。

1.2 迁入事件筛选

一次迁入过程以灯下诱虫量突增作为分析起始日期,根据病虫情报提供信息确定迁入日期。对2007–2010年以来福建全省15个上报站点进行筛选,以4月份白背飞虱单灯单日虫量过百,5月份过千的标准进行,共得到新罗、仙游、同安、古田和霞浦5个站点54个峰次(表1,图1)。

1.3 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(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)与澳大利亚国家气象局(Australian Bureau of Meteorology)共同开发的大气质点轨迹分析平台HYSPLIT进行在线模拟(<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>)。模型所使用的数据为NCEP再分析格点数据,经纬网格为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

白背飞虱回推轨迹模拟参数设置标准:

(1)首先假设白背飞虱是顺风迁移(邓望喜,1981; Riley *et al.*, 1991, 1994; 翟保平等, 1997; 翟保平和张孝羲, 1997);

(2)白背飞虱在日出前1 h和日落后1 h内起飞(赖仲廉, 1982; 刘芹轩等, 1982; Riley *et al.*, 1991, 1994),福建省4–5月底日出时刻介于5:06–6:04,日落时刻介于18:28–18:49之间,回推轨迹统一选择灯下高峰日次日5:00为起始时刻,分别回推10 h, 24 h和34 h至前一日19:00、5:00以及前两日傍晚19:00 3个稻飞虱起飞时刻,每条轨迹运行34 h。

(3)飞机航捕试验记录褐飞虱与白背飞虱的空中飞行低温阈值为 12°C (邓望喜等, 1980),褐飞虱室内飞行低温阈值为 $13.2 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (陈若簏等, 1984),白背飞虱飞行低温阈值尚无实验记录,与褐飞虱相比白背飞虱稍耐低温,参考4–5月份福建上空850 hPa等压面温度,将4月份轨迹起始高

度定位为距地面500 m, 800 m和1 200 m;5月份定为距地面1 000 m, 1 500 m和2 000 m。

将得到的轨迹落点导入Visual Foxpro处理,制成属性数据库进行编辑处理,最终导入ArcGIS与地图叠加显示。

1.4 天气学背景分析

利用气象图形显示处理软件GrADS(Grid Analysis and Display System)提取全球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成图,对降虫期间的天气背景做诊断分析。

2 结果分析

福建省位于我国东南沿海,依山面海,依地形山势可分为闽东南和闽西北两大区域(图1)。其中闽东南属于平原丘陵地带,是福建省主要的双季稻种植区,平均每年早稻种植面积约为30万公顷,占全省总种植面积的一半以上。闽西北则为单季稻种植区,每年单季中稻面积约45万公顷。5月份之前迁入的白背飞虱对双季早稻与单季中稻威胁极大。

2007–2010年4–5月,福建新罗、仙游、同安、古田和霞浦5个站点出现的白背飞虱迁入峰次共54次,其中2007年29次;4年间单灯当日过万的虫峰出现19次,2007年12次;4月份总计出现8次灯下高峰,全部发生在2007年(表1),2007年迁入峰出现之早和规模之大均异于常年。

2.1 新罗虫源分析

2007年新罗3月31日即出现424头白背飞虱的迁入峰,但其后直至4月中旬,单灯逐日虫量维持在百头以下的较低水平,直至4月24日出现592头,26日1 100头,27日和29日单灯虫量均过万的虫峰(图2)。回推轨迹显示3月31日与4月1日虫源主要来自广东南部以及海南岛;4月下旬轨迹来向较为散乱,虫源大多数来自广东东南与本省南部,4月1日虫源轨迹显示来自广东南部沿海,4月27日和29日,500 m与800 m轨迹落点均在台湾省,1 200 m轨迹显示部分虫源来自广东中北部地区(图3)。

2007年1–2月平均温度比常年偏高,白背飞虱始见期也比常年偏早,3月底两广和湖南即出现较大同期迁入峰,根据水稻生育期与温度条件,3月底迁入的虫源本地繁殖1个月后正好羽化,新罗地处闽南,4月底出现的虫峰应该包括异地迁入与本地繁殖两部分。

表 1 2007–2010 年 4–5 月福建省白背飞虱灯下虫峰汇总

Table 1 Immigration peaks of *Sogatella furcifera* in Fujian Province in April and May from 2007 to 2010

年/月 Year/month	频次 Frequency	日期 Date	观测点 Site	经度(°E) Longitude	纬度(°N) Latitude	灯下虫量 Light trap catches
2007/4	8	2007-4-1	新罗 Xinluo	117.0383	25.0989	159
		2007-4-24		117.0383	25.0989	592
		2007-4-26		117.0383	25.0989	1 168
		2007-4-27		117.0383	25.0989	11 136
		2007-4-28		117.0383	25.0989	912
		2007-4-29		117.0383	25.0989	19 584
		2007-4-30		117.0383	25.0989	1 124
		2007-4-17	仙游 Xianyou	118.6911	25.4625	107
2007/5	21	2007-5-22	新罗 Xinluo	117.0383	25.0989	1 056
		2007-5-23		117.0383	25.0989	3 750
		2007-5-24		117.0383	25.0989	57 600
		2007-5-25		117.0383	25.0989	40 448
		2007-5-26		117.0383	25.0989	22 720
		2007-5-27		117.0383	25.0989	360 448
		2007-5-28		117.0383	25.0989	237 568
		2007-5-29		117.0383	25.0989	131 072
		2007-5-30		117.0383	25.0989	53 226
		2007-5-31		117.0383	25.0989	21 248
		2007-5-23	仙游 Xianyou	118.6911	25.4625	2 944
		2007-5-26		118.6911	25.4625	26 240
		2007-5-29		118.6911	25.4625	2 413
		2007-5-23	同安 Tong'an	118.1519	24.7456	8 228
		2007-5-24		118.1519	24.7456	5 332
		2007-5-26		118.1519	24.7456	1 477
		2007-5-28		118.1519	24.7456	1 756
		2007-5-31		118.1519	24.7456	1 680
		2007-5-27	霞浦 Xiapu	119.9767	26.8725	43 560
		2007-5-29		119.9767	26.8725	1 736
		2007-5-31		119.9767	26.8725	1 112
2008/5	3	2008-5-29	新罗 Xinluo	117.0383	25.0989	44 032
		2008-5-30		117.0383	25.0989	16 640
		2008-5-31		117.0383	25.0989	8 086
2009/5	8	2009-5-18	新罗 Xinluo	117.0383	25.0989	18 432
		2009-5-19		117.0383	25.0989	21 248
		2009-5-20		117.0383	25.0989	26 624
		2009-5-21		117.0383	25.0989	9 088
		2009-5-23		117.0383	25.0989	3 968
		2009-5-24		117.0383	25.0989	1 472
		2009-5-25		117.0383	25.0989	6 144
		2009-5-26		117.0383	25.0989	1 216

续表 1 Table 1 continued

年/月 Year/month	频次 Frequency	日期 Date	观测点 Site	经度(°E) Longitude	纬度(°N) Latitude	灯下虫量 Light trap catches
2010/5	14	2010-5-19	新罗 Xinluo	117.038	25.0989	3 328
		2010-5-20		117.038	25.0989	1 664
		2010-5-21		117.038	25.0989	4 268
		2010-5-26		117.038	25.0989	3 264
		2010-5-27		117.038	25.0989	1 344
		2010-5-29		117.038	25.0989	6 656
		2010-5-30		117.038	25.0989	1 248
		2010-5-31		117.038	25.0989	2 624
		2010-5-22	同安 Tong'an	118.1519	24.7456	8 358
		2010-5-23		118.1519	24.7456	2 016
		2010-5-30		118.1519	24.7456	1 759
		2010-5-21	古田 Gutian	118.738	26.5773	14 336 *
		2010-5-22		118.738	26.5773	34 472 *
		2010-5-23		118.738	26.5773	5 256 *

* 灯下虫量包括白背飞虱与褐飞虱 2 种 The light trap catches contain both WBPH (*Sogatella furcifera*) and BPH (*Nilaparvata lugens*).



图 1 福建省白背飞虱主要灯诱站点分布
Fig. 1 The distribution of main light traps of *Sogatella furcifera* in Fujian Province

分析 2007 年新罗 3 月下旬至 4 月下旬 850 hPa 气流走向, 3 月 31 日至 4 月 1 日, 福建上空以西南气流为主导, 且风速较大, 新罗位于低空急流区 (图 4: a, b), 对应灯下出现白背飞虱迁入峰; 之后, 福建上空转为偏北气流控制, 整个中旬出现西

南气流的频次屈指可数, 直到 20 日开始, 西南气流再次活跃, 随后灯下出现连续迁入峰; 23 日福建上空出现风速超 12 m/s 的西南低空急流, 但对应当晚并未出现迁入高峰, 虫峰出现在 24 日, 24 日高空为偏北气流, 故灯下虫峰应为 23 日随西南气流再

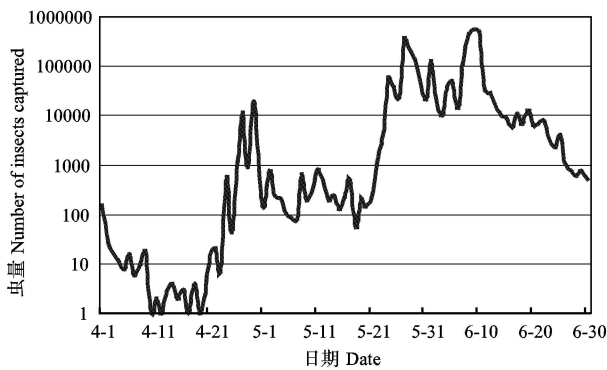


图2 2007年福建新罗白背飞虱灯下逐日虫量
Fig. 2 Light trap catches of *Sogatella furcifera* in Xinluo, Fujian Province in 2007

次活跃,随后灯下出现连续迁入峰;23日福建上空出现风速超12 m/s的西南低空急流,但对应当晚并未出现迁入高峰,虫峰出现在24日,24日高空为偏北气流,故灯下虫峰应为23日随西南气流迁入降落在偏北地区后隔日又随北向气流迁回迁入的虫源。与之类似,27日20:00,福建850 hPa为偏北气流且风速较小(≤ 5 m/s),28日02:00风速变大且转向为偏东气流,灯下出现万头虫峰,轨迹分析虫源来自台湾;28日20:00福建850 hPa依旧为

偏东气流(图4:c),29日02:00转为东南气流,20:00又转为强劲的西南气流(图4:d),29日当晚出现又一个上万的虫峰,轨迹分析结果显示虫源来自台湾。

2007年5月下旬,福建多个站点出现迁入峰,新罗出现的峰次最多,迁入虫量也最大。其中,22-24日34 h轨迹落点可以到达越南和老挝中北部,24 h轨迹落点依旧处于国内的粤东南与海南岛;27-29日3 d迁入虫量达60多万头,3个时段3个高度的9条轨迹落点均显示虫源主要来自广东,其中34 h落点可到雷州半岛、海南北部;10 h,24 h轨迹则全部来自广东23°N以南的中南大部(图5),鉴于新罗站点4月底即出现万头虫峰,因此5月底灯下的迁入虫峰除外来迁入外,应该包括当地繁殖的3代种群。

2008年只有3次虫峰,虫源均随西南气流迁入,轨迹最远来自雷琼稻作区,较近的虫源则由粤中南以及本省南部提供;与2007年虫源全部来自西南方向不同,2009年虫源来向既包括随西南气流来自桂东和粤西的虫源,亦有虫源来自东南向台湾和菲律宾方向:其中24 h以上轨迹落点多数落海无效,10 h轨迹落点依然集中在广东中南部。2010年

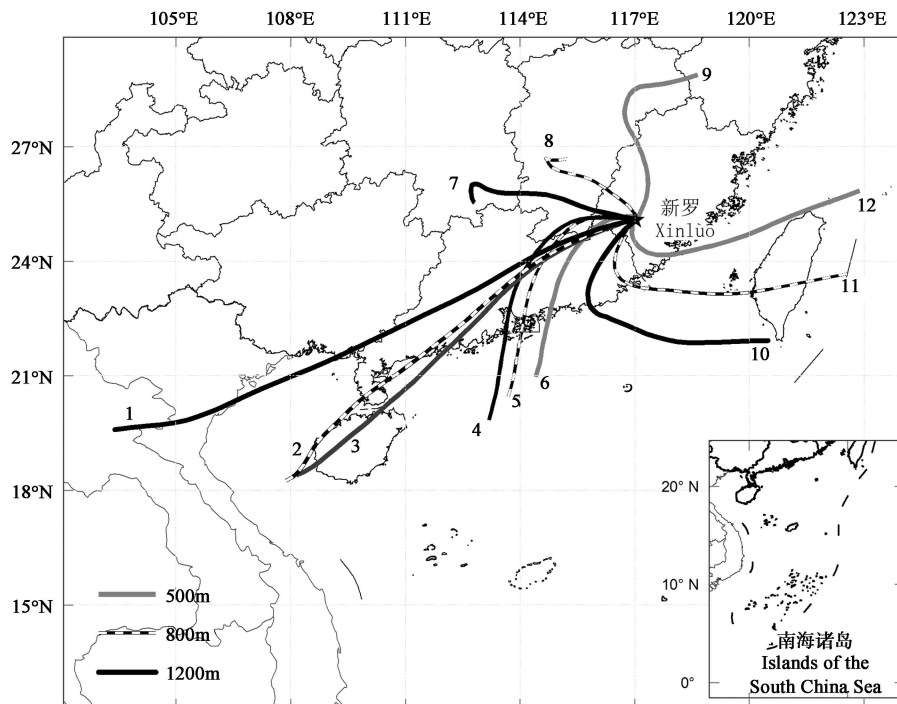


图3 2007年3-4月福建新罗白背飞虱回推轨迹

Fig. 3 Trajectories of *Sogatella furcifera* in Xinluo, Fujian Province from March to April, 2007

1-3: 3月31日轨迹; 4-6: 4月1日轨迹; 7-9: 4月24日轨迹; 10-12: 4月29日轨迹。The ordinal of each trajectory means the immigration date. 1-3: March 31; 4-6: April 1; 7-9: April 24, 10-12: April 29.

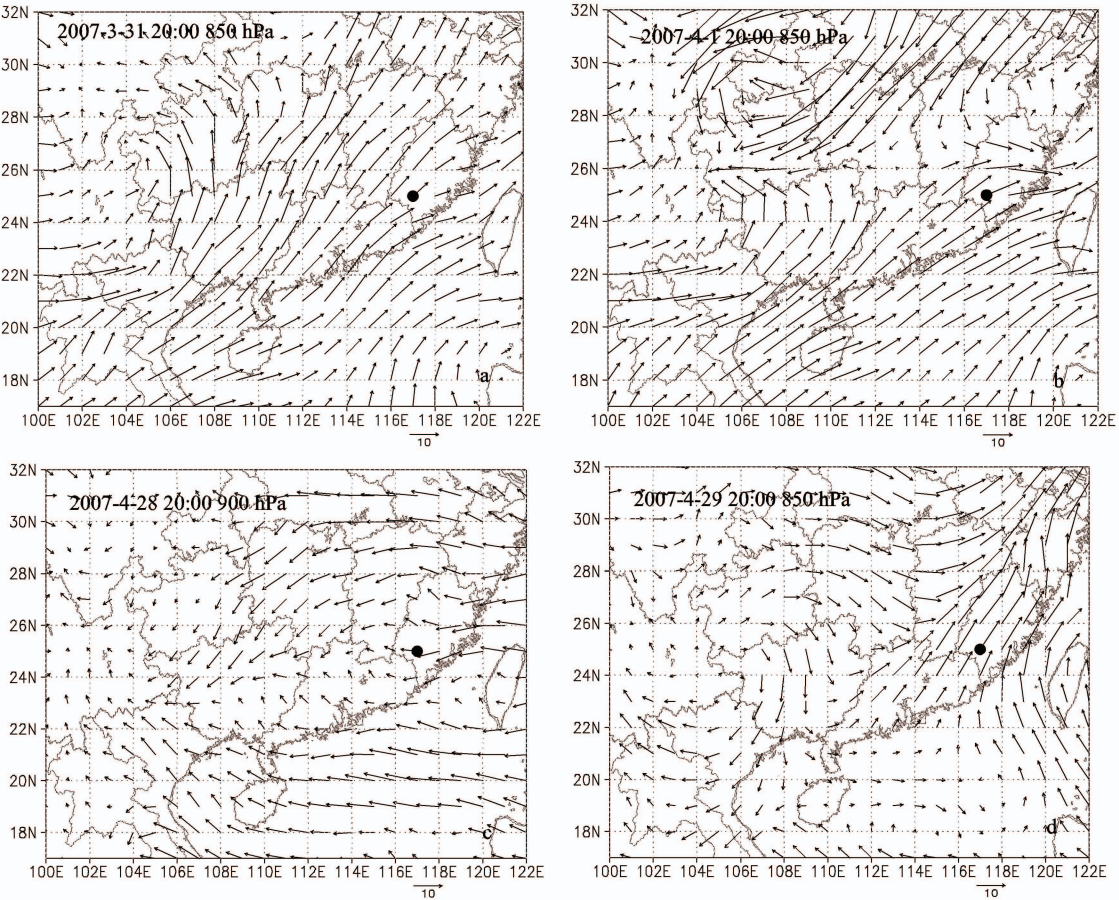


图 4 2007 年福建新罗灯下迁入峰日对应高空风场

Fig. 4 The wind fields of immigration peak period during March and April in Xinluo, Fujian Province in 2007
●: 新罗 Xinluo.

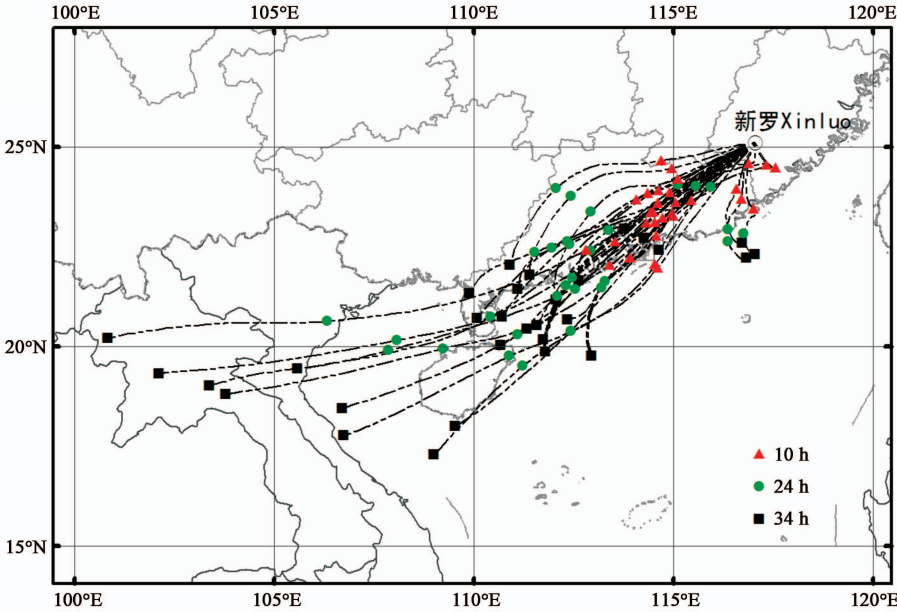


图 5 2007 年 5 月福建新罗白背飞虱峰日回推轨迹

Fig. 5 Trajectories of *Sogatella furcifera* immigration peak in Xinluo, Fujian Province in May 2007
▲: 10 h 轨迹落点 Endpoints within 10 h; ●: 24 h 轨迹落点 Endpoints within 24 h; ■: 34 h 轨迹落点 Endpoints within 34 h. 图 6 和 7 同 The same for Figs. 6 and 7.

虫源来向与 2009 年相似,以西南气流携虫为多,也有部分虫源随东南气流进入,主要虫源地范围包括海南、两广交界地区以及台湾。不同年份均有部分轨迹落点出现在北部的浙江和江西等地区,而根据

水稻栽培情况这些地区在 4-5 月份不可能提供迁出虫源,轨迹显示的情况应该为前一日北迁虫源的迂回迁入(图 6)。

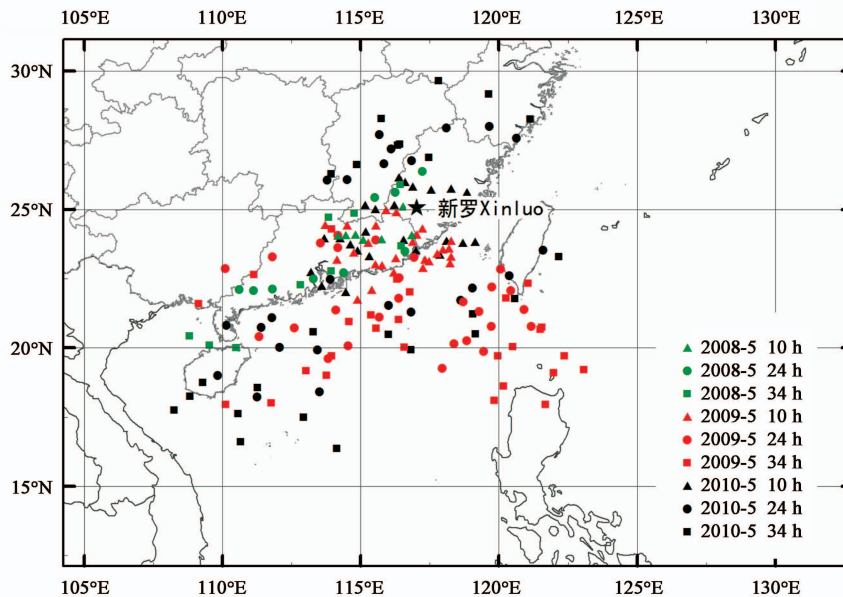


图 6 2008-2010 年 5 月福建新罗白背飞虱灯下高峰日轨迹回推落点分布

Fig. 6 The distribution of end points of trajectories from Xinluo in May from 2008 to 2010

不同的颜色代表不同的年份 Different colors mean different years. 图 7 同 The same for Fig. 7.

2.2 同安虫源分析

同安 2007 年回推轨迹 10 h 落点均处于粤东南, 24 h 轨迹落点分布在粤南沿海一线, 34 h 轨迹落点多数入海, 不能提供有效虫源。2010 年 3 个峰日有 2 个峰日当天高空盛行西北气流, 虫源轨迹来自江西, 而根据江西水稻生育期, 此时不可能提供虫源, 所以出现在西北向的均为无效轨迹, 而出现北向轨迹的前一天虽然降虫较少(少于 1 000 头), 但来源方向却是西南, 可能因当天携虫气流经过同安站点时缺乏降落条件使得虫群随西南气流一路北上, 第 2 天又受到偏北气流影响迂回降落, 10 h 轨迹落点大部分落在广东中南沿海(图 7: a)。

2.3 仙游虫源分析

仙游站点在 2007 年 5 月出现千头以上的白背飞虱虫峰仅 3 次, 10 h 虫源主要来自福建本省南部与广东东南沿海, 24 h 以上轨迹显示虫源来自广东南部沿海及海南岛(图 7: b)。

2.4 古田虫源分析

2010 年古田出现的白背飞虱迁入种群主要来自广东与海南, 少数来自江西南部。浙西赣东此时水稻生育期不会有起飞种群, 故属于无效虫源地,

大多数 1 000 m 和 1 500 m 高度轨迹只有 10 h 一个起飞段有效, 24 h 和 34 h 轨迹均入海无效, 虫源主要分布在广东大部以及雷琼稻区(图 7: c)。

2.5 霞浦虫源分析

霞浦地理位置偏东, 2007 年 5 月份轨迹落点集中在本省南部以及广东沿海地区, 5 月 21 日、22 日轨迹均来自广东沿海, 迁入虫量巨大, 均以万计, 轨迹显示 3 个对应起飞时刻均落在稻区陆地上。而 23 日轨迹显示虫源来自东北方向, 应该是随 22 日西南气流迁入的虫源随气流一直往北第 2 天又折返的迂回降落虫源, 种群的数量也比 21、22 日有了明显降低(图 7: d)。

2.6 大气环流背景与降落机制分析

2007 年 5 月, 500 hPa 中高纬度环流呈弱的 8 波型分布, 槽区分别位于西欧、西西伯利亚平原、东亚、阿拉斯加以南洋面和北美洲东北部的上空(图 8)。西太平洋副热带高压的位置及强度变化直接影响我国夏季雨带的位置, 而春夏季降雨影响稻飞虱的迁入期、迁入量与迁入峰次。2007 年 5 月下旬, 西太平洋副高异常强大, 588 线位置偏西, 副高影响范围比常年增加。初夏副高偏强年往往会导

致西南暖湿气流强盛，北上活跃，冷暖空气交绥频繁，锋面天气多，降雨强度大且雨日增多。据国家气象局统计，2007 年 5 月份，我国大陆冷空气活动

频繁，共出现 10 次明显活动，全国出现 5 次大型降雨过程；与此类似，2010 年 5 - 6 月份，包括福建在内的华南几个省份出现 13 次强降雨过程。

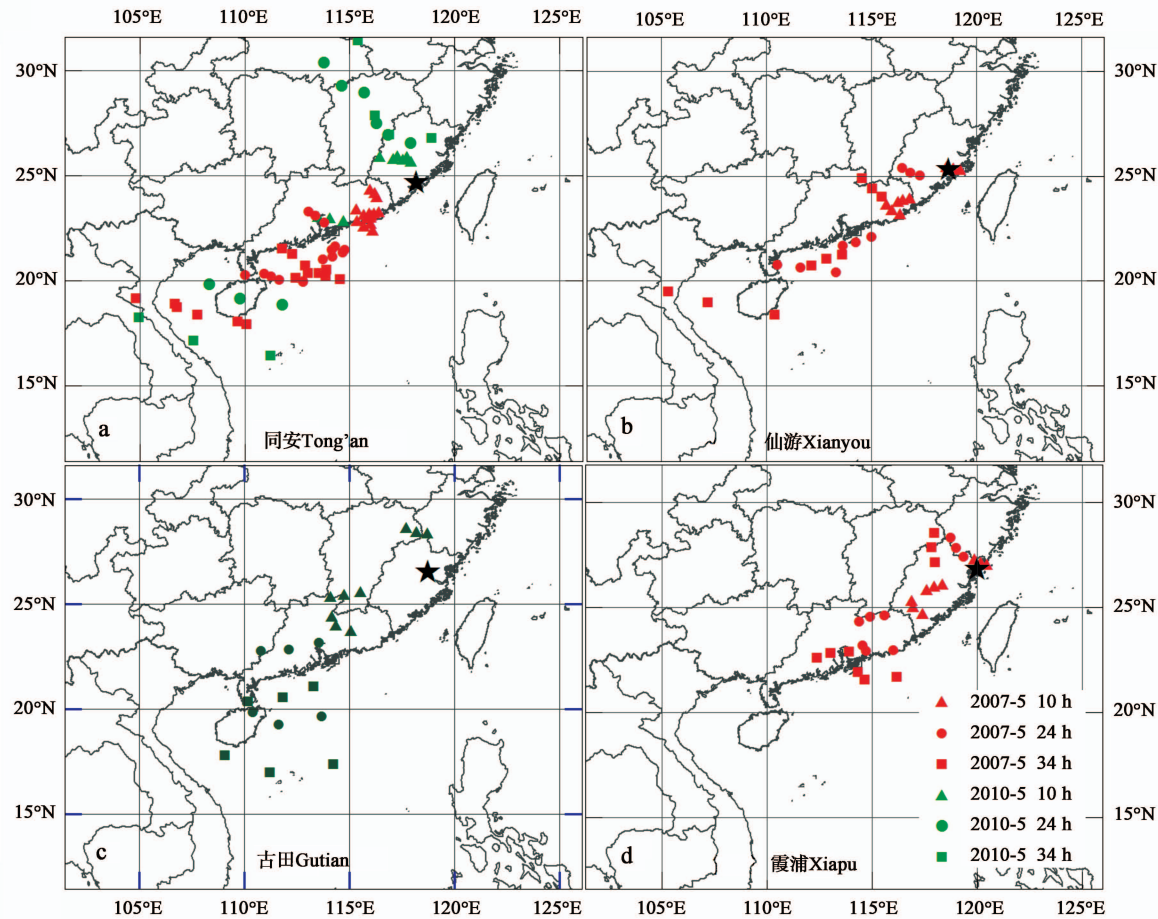


图 7 福建同安(a)、仙游(b)、古田(c)和霞浦(d) 2007 年和 2010 年 5 月回推轨迹落点分布
Fig. 7 The distribution of end points of backwards trajectories in May for Tong'an (a), Xianyou (b), Gutian (c), Xiapu (d) in 2007 and 2010

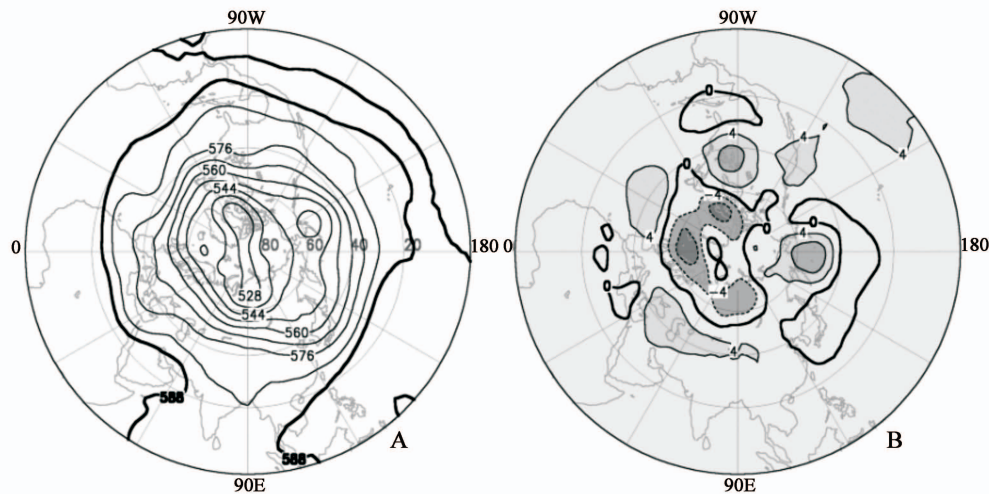


图 8 2007 年 5 月北半球 500 hPa 平均位势高度(A)与距平(B)
Fig. 8 Monthly mean geopotential heights (A) and anomalies (B) of 500 hPa in the northern hemisphere in May 2007
单位 Measurement: 10 pm.

2007 年 5 月 23 日始, 整个华南沿海盛行西南气流, 两广大部、闽南处于风速较大区域。5 月 23 日晚, 两广大部、闽浙沿海出现大范围西南低空急流, 急流呈带状分布, 中心风速大于 16 m/s, 福建处于急流北侧边缘(图 9)。在此期间, 850 hPa 等压面暖中心有 2 个, 分别处于四川盆地西侧与两广

南部至海南之间, 冷暖气团交绥于两广北侧至福建一线(图 10), 近地面表现为连续降水(图 11)。此期间高空气流与温度条件均有利于两广、海南以及本省南部的白背飞虱伴随西南气流迁入, 且由于连续降水, 本地长翅种群难以正常迁出, 导致福建多数站点灯下虫量激增。

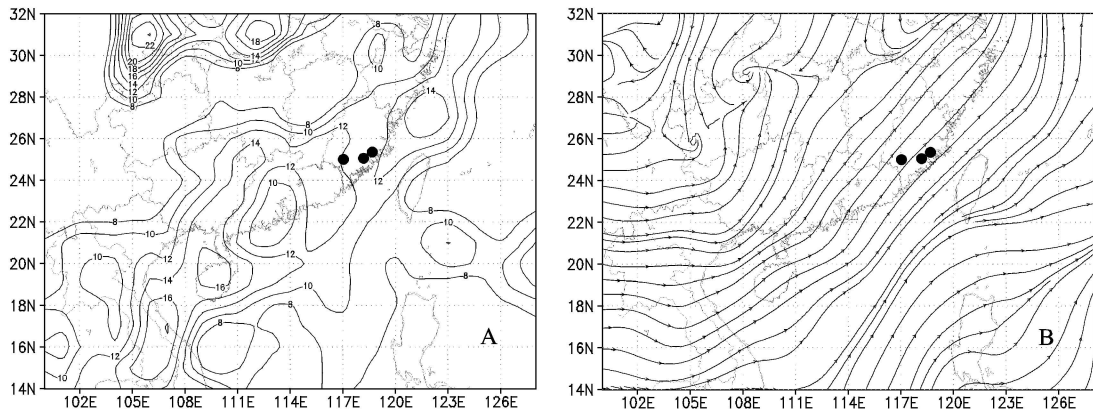


图 9 2007 年 5 月 24 日 02:00 点 850 hPa 层面低空急流(A)与流场(B)分布

Fig. 9 The distribution of low-level jet (A) and airflow field (B) at 850 hPa at 02:00 on May 24, 2007

●: 降虫点 Light trap sites.

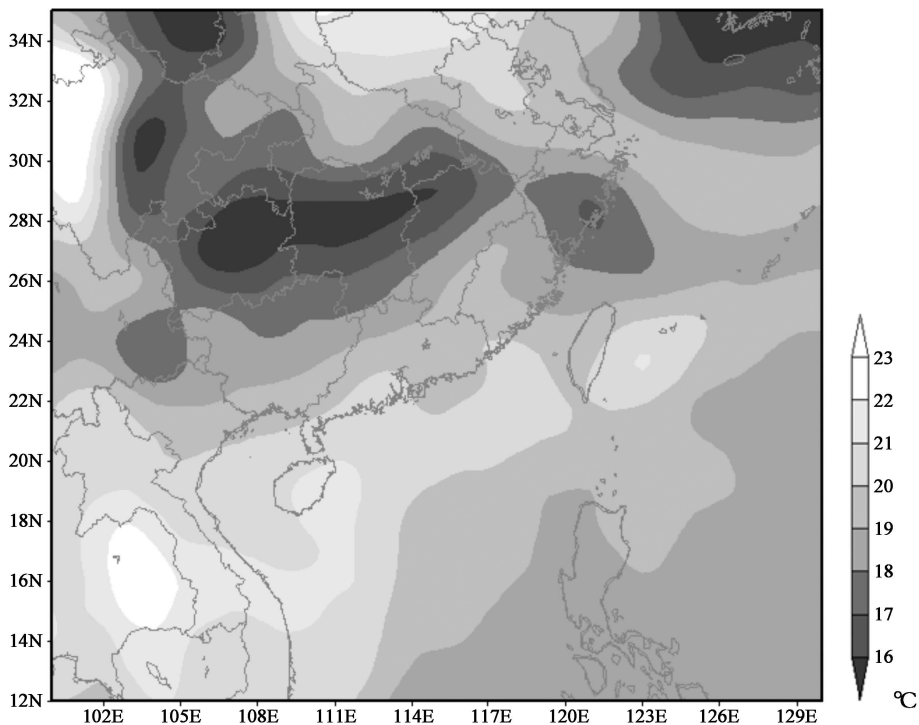


图 10 2007 年 5 月 24 至 5 月 31 日 850 hPa 平均温度等值线分布

Fig. 10 The mean temperature fields at 850 hPa from May 24 to 31, 2007

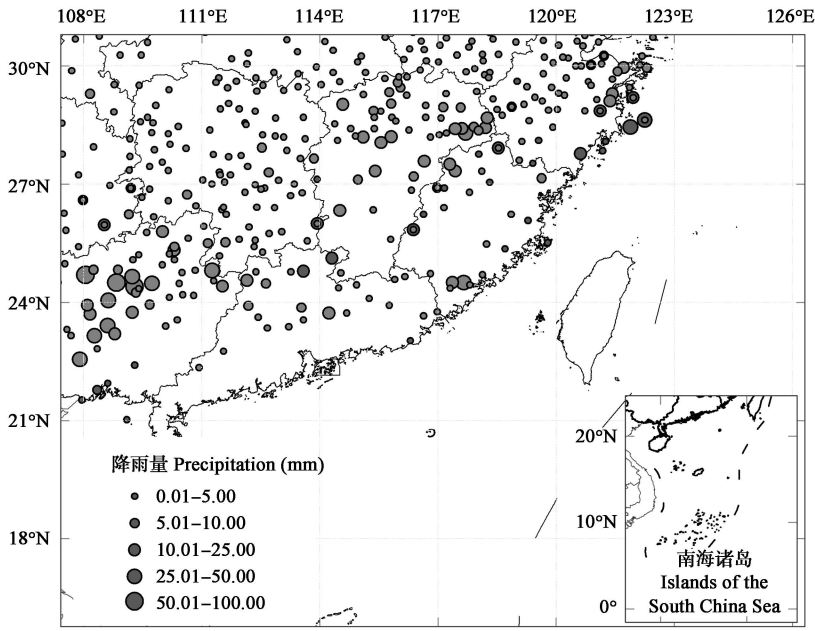


图 11 2007 年 5 月 24 日 20:00 至 25 日 02:00 6 h 累计降雨量

Fig. 11 6 h accumulated precipitation (mm) from 20:00 May 24 to 02:00 May 25, 2007

3 结论与讨论

3.1 福建省白背飞虱早期迁入虫源

福建省白背飞虱早期虫源主要来自广东、海南省；台湾省在个别年份提供虫源，但所占比例较小，菲律宾提供虫源的可能极微。

本文通过对主要迁入事件的轨迹分析、气流、降雨和天气等分析证明了福建早期迁入虫源主要来自广东大部以及海南中北部地区。虽然在个别年份少数轨迹落点可以到达越南、老挝，但主要虫源地依旧集中在国内。且 5 月下旬越南中部水稻已收割，老挝北部则缺乏合适生育期水稻（雨季刚开始，才播种），故福建稻飞虱迁入种群直接来自越南和老挝的几率很小。与此呼应，2007 年 3-4 月份，两广、湘赣以及福建本省南部地区田间均出现较大的白背飞虱早期迁入峰，根据白背飞虱各个世代迁出比例偏高的现象，5 月下旬正好处于成虫羽化盛期，而广东 5 月份白背飞虱田间种群数量偏大也从侧面证实了这一点。

程遐年等(1979, 2003)认为，稻飞虱一次迁入峰在各迁入地区的降虫量是由近而远逐次递减，即距虫源地越远，降虫量越小，主降区距虫源地 3~6 个纬距。若按 3 个纬距推断，2007 年福建 5 月下旬数十万头的虫源区纬度应介于北纬 22~23°N 之间，与文中轨迹分析结果一致；即使以 6 个纬距计

算，19~20°N 之间的虫源地范围依旧属于我国华南稻区与越南北部地区。而此时越南北部上空为偏西气流控制，其虫源进入福建的概率极微。

根据本文分析，在东南气流较为频繁的 2009 和 2010 年，台湾的飞虱可以迁入福建，但菲律宾虫源进入福建几率很小。除 2009 年 5 月 1 条轨迹的 34 h 落点到达菲律宾外，其余年份 4-5 月均无菲律宾虫源。蔡文华等(1998)通过稻飞虱迁飞季节天气图分析，认为 6 月份以后随着东南气流的增加，台湾省和菲律宾的虫源可以进入我国其他地区。而东南气流每年出现的时间并不相同，除个别年份的特殊表现外，正常年份东南气流也无法在有限的时间内将如此遥远的虫源运载至福建。

1970 年以来，国内外专家对褐飞虱的飞行能力做了大量研究，包括室内悬吊、飞行磨测定以及脂肪体能源消耗评估等方法，得出褐飞虱的飞行时间不超过 30 h (Baker *et al.*, 1980; Rosenberg and Magor, 1983; Padgham, 1983; 封传红等, 2001)，但对白背飞虱的测定较少，刘芹轩和张桂芬(1984)的测定结果认为白背飞虱最长飞行时间在 7 h 以上，张建新等(1992)的测定结果显示最长时间达 28 h，汪远昆和翟保平(2004)的飞行磨测定结果也显示白背飞虱飞行时间大于 10 h。白背飞虱的飞行能力强于褐飞虱，结合其晨暮双峰的起飞行为以及前人实验室吊飞结果，本文轨迹分析中将白背飞虱的运行时长设为 34 h，最大限度考虑其飞行极限。

Otuka 等(2005)对 1995–2004 年 4–5 月菲律宾的迁出虫源分析中, 轨迹运行时间设置达 48 h, 人为加大了稻飞虱的迁飞距离, 但即使在如此长时间的运行条件下, 十年顺推轨迹中菲律宾虫源可以进入福建沿海也仅出现 3 次: 1997 年 5 月 4–5 日, 1999 年 5 月 4–5 日以及 2002 年 5 月 27 日。我们对这 3 个时间进行考证后发现, 1999 年 5 月 4–5 日因台风临近, 外围风速达 20 m/s 以上, 菲律宾虫源在运行时间小于 30 h 的情况下可以到达福建; 1997 与 2002 年则无法在 34 h 的有效时间内进入我国。进一步证实在正常年份, 菲律宾稻飞虱成为我国迁入虫源的可能极微, 只有在某些特定年份的特定天气系统条件下才有进入我国华南稻区的可能。

3.2 2007 年福建省早期迁入虫源的形成

2007 年副高偏西偏强、西南低空急流频繁, 雨带位置稳定造成的持续性暴雨是形成福建白背飞虱大规模集中降落的直接原因。广东、海南 1 代白背飞虱成虫迁入虫量大, 田间 2 代虫源基数多是导致福建 2007 年主迁峰比往年偏早、虫量偏大的根本原因。

作为风载昆虫, 白背飞虱的大规模集中降落除与运载气流和降虫区天气条件息息相关外, 虫源区起飞虫量的多少更是造成种群大规模集中降落的关键因子。一般年份, 福建在 5 月中下旬田间出现白背飞虱 2 代成虫迁入峰, 但虫量不大, 不形成田间主害代, 而 6 月中旬至 7 月主迁入的 3 代成虫虫量加大, 结合前一代本地繁殖种群构成田间主害代。2007 年, 福建 3 月末就出现较大迁入峰, 再经过 4 月份迁入繁殖, 5 月开始田间虫量激增, 导致田间主害代发生提前, 白背飞虱也比常年多发生 1 代。

2007 年我国南方稻区白背飞虱始见期均早于常年, 广东和福建 3 月份就有站点出现迁入峰, 湘南和赣南 3 月末也有站点出现迁入。据广东省植保总站资料, 2007 年 4–5 月份广东省不同站点共出现白背飞虱迁入峰 40 个, 峰期总虫量达 15 万头; 而 2008 年与 2009 年同期迁入总量仅为 5 万左右。广东作为福建稻飞虱的直接虫源地, 早期迁入虫量巨大无疑为田间虫口基数积累起到决定性作用, 经过一代繁殖, 也为后期飞虱的迁出(每年 5 月下旬–6 月上旬)提供了强有力的虫源保证。

白背飞虱境外虫源基数的增加是造成国内早期白背飞虱迁入量巨大的唯一解释。随着杂交稻的推广, 白背飞虱的危害程度与范围都不断扩大, 红河三角洲地区自 1996 年以来大量引入中国杂交稻替代原抗虫的 IR 品种, 至 2005 年种植比例已上升到 77%, 而白背飞虱的比例也自 1981 年的 1.9% 上升

到 2005 年的 40.2% (Dinh Van Thanh, 会议交流), 普遍认为, 越南是我国两广褐飞虱与白背飞虱的主要虫源区。鉴于早期迁入种群均以白背飞虱为主, 且白背飞虱每代长翅率都能达到 80% 以上, 迁出概率受水稻生育期影响较小(全国白背飞虱科研协作组, 1981), 在其他因素比较稳定的情况下, 品种的变化也是导致我国近几年白背飞虱早期迁入虫量较大的一个重要原因。

福建 2007 年的主迁入虫量取决于广东早期田间虫量基数的多寡, 与中南半岛及菲律宾的虫源关系并不紧密。在副高偏强、雨水充足的年份应预先了解广东、海南早期白背飞虱发生情况, 由此对福建省的迁入虫量进行预估, 做好及时防范准备。

3.3 研究方法的局限

稻飞虱降落有主动与被动之分。受本身能源物质的限制而主动降落, 常表现为整夜逐时零星降落; 受天气系统影响(如风向切变和下沉气流等)而造成空间聚集、被迫降落等, 则表现为大量、集中降落, 这就形成了稻飞虱大规模迁入峰, 也是本研究的重点。因无法得知每晚稻飞虱具体降落时间, 本文对白背飞虱进行轨迹分析时, 只是根据灯下虫的记录统一以清晨 5:00 降落进行分析, 忽略了其他时间的降虫。虽有此局限性, 但本文通过增加对降虫高峰日不同时刻的风温场分析以及 6 h 累计降水量等资料弥补了此不足, 最大限度还原了白背飞虱整个迁入过程的各方面细节。本文的结论对福建白背飞虱的总体虫源地分布具有代表性, 可以为基层植保站点进行稻飞虱发生预测提供参考。

参 考 文 献 (References)

- Baker PS, Cooter RJ, Chang PM, Hashim HB, 1980. The flight capabilities of laboratory and tropical field populations of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae). *Bulletin of Entomological Research*, 70(4): 589–600.
- Cai WH, Lin TZ, Wu MY, 1998. On the atmospheric circulation conditions associated with the migration and alighting of brown planthopper in Fujian Province. *Acta Phytopythologica Sinica*, 25(4): 325–329. [蔡文华, 林添忠, 吴美英, 1998. 福建褐稻虱迁飞降落大气环流类型研究. 植物保护学报, 25(4): 325–329]
- Chen RC, Wu JR, Zhu SD, Zhang JX, 1984. Flight of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomologica Sinica*, 27(2): 121–126. [陈若麓, 吴家荣, 祝树德, 张建新, 1984. 褐飞虱的飞翔能力. 昆虫学报, 27(2): 121–126]
- Cheng XN, Cheng RC, Xi X, Yang LM, Zhu ZL, Wu JC, Qian RG, Yang JS, 1979. Study on the migrations of brown planthopper. *Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomologica Sinica*, 22(1): 1–21. [程遐年, 陈若麓, 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]

- Cheng XN, Wu JC, Ma F, 2003. Brown Planthopper: Research and Control. China Agriculture Press, Beijing. 95–105. [程遐年, 吴进才, 马飞, 2003. 褐飞虱研究与防治. 北京: 中国农业出版社. 95–105]
- Deng WX, 1981. A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) by means of airplane collections. *Acta Phytophylacica Sinica*, 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]
- Deng WX, Xu KJ, Rong XL, Xu JZ, 1980. Research on brown planthopper and white planthopper with airplane netting. *Entomological Knowledge*, 17(3): 97–102. [邓望喜, 许克进, 荣秀兰, 许甲柱, 1980. 飞机网捕褐稻虱及白背飞虱的研究初报. 昆虫知识, 17(3): 97–102]
- Feng CH, Zhai BP, Zhang XX, 2001. Re-emigration capacity of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Chinese Journal of Rice Science*, 15(2): 125–130. [封传红, 翟保平, 张孝羲, 2001. 褐飞虱的再迁飞能力. 中国水稻科学, 15(2): 125–130]
- Huang CY, Wang HS, Lin ZX, 2007. The characteristics and causes for the outbreaks of rice planthopper in Guangxi in 2007. *Guangxi Plant Protection*, 85(Suppl.): 58–61. [黄成宇, 王华生, 林作晓, 2007. 2007 年广西稻飞虱发生特点及原因分析. 广西植保, 85(增刊): 58–61]
- Huang SH, Cheng CH, Chen CN, Wu WJ, Otuka A, 2010. Estimating the immigration source of rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae), in Taiwan. *Applied Entomology and Zoology*, 45(3): 521–531.
- Lai ZL, 1982. Investigation on the overwintering and migration of *Sogatella furcifera*, in Guiyang. *Acta Entomologica Sinica*, 25(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, 25(4): 397–402]
- Li RD, Ding JH, Hu GW, Su DM, 1996. Brown Planthopper and Its Management. Fudan University Press, Shanghai. 126–127. [李汝铎, 丁锦华, 胡国文, 苏德明, 1996. 褐飞虱及其种群管理. 上海: 复旦大学出版社. 126–127]
- Liu HC, Lin KM, Liu ZJ, 1979. Study on source area and management of brown planthopper in Fujian. *Fujian Agricultural Science and Technology*, (2): 26–35. [刘浩光, 林抗美, 刘振杰, 1979. 福建水稻褐飞虱的虫源与防治研究. 福建农业科技, (2): 26–35]
- Liu QX, Lv WM, Zhang GF, 1982. Biology and ecology of white backed planthopper in Henan Province. *Scientia Agricultura Sinica*, 15(3): 59–66. [刘芹轩, 吕万明, 张桂芬, 1982. 白背飞虱生物学和生态学. 中国农业科学, 15(3): 59–66]
- Liu QX, Zhang GF, 1984. Flight capabilities of white-backed planthoppers. *Entomological Knowledge*, 21(6): 241–243. [刘芹轩, 张桂芬, 1984. 白背飞虱飞翔活动的研究. 昆虫知识, 21(6): 241–243]
- Luo XN, Zhuo WX, 1986. The life history of white planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth), on its weed host in Fujian province. *Acta Phytophylacica Sinica*, 13(1): 9–16. [罗肖南, 卓文禧, 1986. 福建水稻白背飞虱生活史及在杂草寄主上的特性. 植物保护学报, 13(1): 9–16]
- National Coordinated Research for White-backed Planthoppers, 1981. Study on the migration of white-backed planthopper *Sogatella furcifera*. *Scientia Agricultura Sinica*, 14(5): 25–31. [全国白背飞虱科研协作组, 1981. 白背飞虱迁飞规律的初步研究. 中国农业科学, 14(5): 25–31]
- Otuka A, Watanabe T, Suzuki Y, Matsumura M, Furuno A, Chino M, 2005. A migration analysis of the rice planthopper *Nilaparvata lugens* from the Philippines to East Asia with three-dimensional computer simulations. *Population Ecology*, 47(2): 143–150.
- Otuka A, Watanabe T, Suzuki Y, Matsumura M, Furuno A, Chino M, Kndon T, Kamimuro T, 2006. A migration analysis of *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae) using hourly catches and a three-dimensional simulation model. *Agricultural and Forest Entomology*, 8(1): 35–47.
- Padgham DE, 1983. Flight fuels in the brown planthopper *Nilaparvata lugens*. *Journal of Insect Physiology*, 29(1): 95–99.
- 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: 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 on 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: 341–350.
- Wang YK, Zhai BP, 2004. Re-emigration capacity of the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth). *Acta Entomologica Sinica*, 47(4): 467–473. [汪远昆, 翟保平, 2004. 白背飞虱的再迁飞能力. 昆虫学报, 47(4): 467–473]
- Zhai BP, Zhang XX, 1997. Parameterizing the migratory behaviour of insects II. Models and verification. *Acta Ecologica Sinica*, 17(2): 80–89. [翟保平, 张孝羲, 1997. 昆虫迁飞行为的参数化 II. 模式与检验. 生态学报, 17(2): 80–89]
- Zhai BP, Zhang XX, Cheng XN, 1997. Parameterizing the migratory behaviour of insects I. Behavioural analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 17(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, 17(1): 9–19]
- Zhang JX, Zhang XX, Luo WH, 1992. The study on flight capabilities of white-backed planthoppers. *Entomological Knowledge*, 29(2): 65–69. [张建新, 张孝羲, 罗卫华, 1992. 白背飞虱飞行能力的研究. 昆虫知识, 29(2): 65–69]
- Zhu M, Song YH, Uhm KB, Turner RW, Lee JH, Roderick GK, 2000. Simulation of the long range migration of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), by using boundary layer atmospheric model and the geographic information system. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 3(1): 25–32.

(责任编辑: 袁德成)