应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1242—1252

白背飞虱回迁种群的形成:2009 年安徽潜山的个例分析*

郑大兵[1**] 杨 帆[1] 赵 运[1] 徐劲峰[2] 吴彩玲[2] 张孝羲[1] 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. 潜山县植物保护站 潜山 246300)

摘 要 皖西南的潜山地处白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 南北往返迁飞的转折点,既是北迁种群的迁入区,又是后期回迁种群形成的重要虫源区。解析此地白背飞虱种群发生的全过程,可为白背飞虱的异地预测和源头治理提供理论依据和技术支撑。本研究利用 HYSPLIT 轨迹分析平台和 MICAPS 天气分析系统模拟分析了潜山白背飞虱 2009 年 6 个迁入峰次的虫源地和迁入代种群的形成,又通过田间系统调查与雌虫卵巢系统解剖研究了 2009 年潜山白背飞虱田间发生动态和世代种群性质及回迁种群的形成。结果表明:(1) 2009 年潜山白背飞虱的迁入虫源 6 月上旬来自赣西及湘赣交界地区(27.2°N ~28.7°N),6 月中下旬来自湘南和湘东南地区(25.1°N ~26.7°N),7 月上旬和下旬来自湘东和赣西地区(27.1°N ~28.5°N),7 月中旬来自湘东南和赣南地区(25.5°N ~26.8°N),7 月底 8 月初来自赣北和赣西北(28.1°N ~29.4°N)。(2) 2009 年潜山白背飞虱在中稻田和晚稻田滞留危害,发生危害期延长,为后期回迁提供了大量的虫源。(3) 确定了潜山稻区的中稻田和双季晚稻田各发生世代的虫源性质。2009 年,白背飞虱迁入种群在中稻上繁殖一个世代后,新羽化的成虫(第 3 代,7 月下旬至 8 月中旬)因连续降雨而大量滞留本地继续为害中稻田,其后再迁入晚稻田危害并大量增殖,形成第 4 代(8 月下旬至 9 月中旬)回迁种群大量南迁。此期仍有部分个体滞留,所形成的第 5 代为无效虫源。

关键词 白背飞虱,轨迹分析,虫源性质,回迁种群

Formation of white-backed planthopper *Sogatella surcifera* (Horváth) populations: Case studies in Qianshan, Anhui Province, 2009

ZHENG Da-Bing[1**] YANG Fan[1] ZHAO Yun[1] XU Jin-Feng[2] WU Cai-Ling[2] ZHANG Xiao-Xi[1] ZHAI Bao-Ping[1***]

(1. 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; 2. Qianshan Stations of Plant Protection, Qianshan 246300, China)

Abstract Qianshan County is located in southwest Anhui Province and is important to the northward and southward migration of the white-backed planthopper *Sogatella fiucifera* (Horváth) (WBPH) because it is both the area in which spring migrants settle and the source area for autumn emigrants. Understanding WBPH population processes in Qianshan will therefore provide scientific and technical support for regional forecasting and source suppression. Source areas of six immigration peaks of WBPH in Qianshan in 2009 and the formation of immigrant populations were analyzed using HYSPLIT, trajectory analysis software for the simulation of migration pathways, and MICAPS (Meteorological Information Compiling, Analyzing and Processing System). The population dynamics and characteristics of WBPH were studied by systematic field surveys and dissection of female ovaries. The following results were obtained: (1) The source areas of

* 资助项目:国家 973 项目(2010CB126200)、公益性行业(农业)科研专项(200903051)、水稻产业技术体系建设项目(nycytx-001)。

** E-mail: 2008102065@njau.edu.cn

*** 通讯作者,E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

收稿日期:2011-08-05,接受日期:2011-08-28

WBPH immigrants in Qianshan were, in early June western Jiangxi and the juncture between Hunan and Jiangxi (27.2° – 28.7°N), in mid and late June, southern and southeastern Hunan (25.1° – 26.7°N), in early and late July, eastern Hunan and Jiangxi (27.1° – 28.5°N), in mid July, southeastern Hunan and southern Jiangxi (25.5° – 26.8°N), and from the end of July to the beginning of August, northern and northwestern Jiangxi (28.1° – 29.4°N). (2) The period of damage inflicted by WBPH on mid-season rice and late-season rice was extended by the massive retained population in 2009 which provided sufficient recruits to migrate back to source areas. (3) The population characteristics of each generation of WBPH in mid and late-season rice were determined by their ovarian developmental. The immigrants developed in mid-season rice, and most of the newly emerged adults (the 3rd generation) were trapped and retained by successive rainy days from late July to early August. These therefore stayed on the mid-season rice crops before latter moving to late-season crops to breed (late August to mid September). It was the 4th generation that migrated back to the south and the 5th generation of residents became victims of the coming winter.

Key words　*Sogatella furcifera*, trajectory analysis, population characteristics, return population

安徽潜山(116°14′～116°41′E,30°27′～31°04′N)地处淮河流域,水稻种植区划为沿淮单季稻区,白背飞虱 *Sogatella fiucifera* (Horváth)(WBPH)常年可发生 4～5 代,无越冬虫源(全国白背飞虱科研协作组,1981; 胡国文,1988)。这里以单季中稻为主,单、双季稻混栽,常年水稻种植面积在 3.6 万 hm^2 左右(黄蔚兰等,2006)。2009 年潜山县的水稻种植面积为 3.589 万 hm^2,其中双季早稻为 0.9808 万 hm^2,单季中稻为 1.6265 万 hm^2,双季晚稻为 0.9817 万 hm^2,单季稻和双季稻的种植面积比为 1.7∶1,单季中稻田和双季稻田相距很近,部分田块相邻交错分布。皖南稻区是我国长江中下游单双季并存最具代表性的稻区,早稻、中稻、单季晚稻和双季晚稻混作,水稻在生长季节不间断地种植,为白背飞虱的栖居、繁殖和生活提供了优越的条件。特别是随着皖南双季稻面积缩小,单季稻面积扩大,近年来白背飞虱的发生危害呈上升趋势(唐启义等,1998; 翟保平和程家安,2006; 田学志等,2008)。皖南稻区地处白背飞虱南北往返迁飞的转折点,既是北迁种群的迁入区,也是长三角地区后期迁入的虫源区之一,还是秋季回迁虫源的重要迁出地。因此,本文以安徽潜山为个例,通过田间系统调查和系统解剖及迁飞轨迹的数值模拟,剖析白背飞虱种群性质的演化和回迁虫源的形成机制,以期进一步揭示在全球变化和耕作制度演替的大背景下白背飞虱的发生规律,为白背飞虱的异地预测和源头治理提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　虫情数据和气象资料

本文所用的虫情数据包括 2009 年在潜山县设立两迁害虫观测点获得的田间调查数据和灯诱数据及潜山县植物保护站提供的部分虫情资料和灯诱数据; 2009 年潜山县水稻种植面积资料来自于潜山县植保站; 气象资料为广西气象数据共享系统(GMISS)和美国国家大气研究中心(NCAR)的全球再分析数据(6 h 1 次,1°×1°)。

1.2　田间系统调查与诱虫灯设置

2009 年在潜山分别选取具有代表性的中稻田和双晚稻田作为系统调查田进行田间白背飞虱发生动态的系统调查。单季中稻系统田的调查时间从 7 月中旬开始,到 9 月初调查结束; 双季晚稻系统田的调查时间从 8 月下旬开始,到 9 月底调查结束。在整个生长期内按常规栽培措施管理,不使用农药防治病虫害。

系统调查: 采用"盘拍法",调查系统田白背飞虱各种虫态的数量,若虫分 5 个龄期,每次用白瓷盘采用随机多点取样调查法拍 20 穴,所得虫量换算成百穴虫量,同时记录水稻生育期。调查间隔一般为 3 d。调查方法: 手持白磁盘,将盘插放在稻株基部,盘面与稻株成 45°夹角,然后用手迅速拍击,驱虫落下,迅速拿起观察并记录盘中稻飞虱数目。

在潜山县梅城镇东郊试验田设置一盏佳多诱虫灯,从 7 月下旬到 9 月底水稻种植期间,逐日诱集记载灯下白背飞虱虫量,并结合潜山县植保站提供的 2009 年 4 月初到 10 月中旬白背飞虱灯诱数据,确定白背飞虱主害代迁入峰和迁入量。

1.3　卵巢解剖

系统调查时用吸虫管在系统田收集白背飞虱

长翅型雌成虫解剖，每次解剖 30 头。参照陈若篪等(1979)提出的稻飞虱卵巢分级特征，结合田间白背飞虱的种群动态等制定了本研究所依照的白背飞虱卵巢解剖判别虫源性质的划分标准见表 1，记录各级卵巢发育级别，并计算各级百分率，确定虫源性质。

表 1 白背飞虱虫源性质的判别标准

Table 1 The classification of population characteristics of WBPH

类型 Type	虫源性质 Population characteristics	卵巢发育程度(%) Ovarian development grade(%)
Ⅰ	迁入型 Immigration	Ⅰ级卵巢比例极低，Ⅲ级以上比例 >60% Very few of the 1st grade but the 3rd to 5th grades > 60%
Ⅱ	迁出型 Emigration	Ⅰ、Ⅱ级卵巢比例 >80% Proportions of 1st and 2nd grads > 80%
Ⅲ	本地繁殖型 Sedentary and local breeding	卵巢级别由低到高发展，各级别均有且比例差别不大 Each grades with similar ratio or from lower to higher gradually

1.4 轨迹分析模型及参数设置

利用 GrADS 气象图形系统提取 NCEP/NCAR 2005 年以来的逐月平均风场资料(网格距 1°×1°)中的水平流场、垂直速度、温度场等要素，进行绘图处理。

稻飞虱在风速 > 1.6 m/s 时完全顺风飞行(Furuno *et al.*, 2005)。因此可把白背飞虱在空中运行的过程视为空气质点的移动，用轨迹分析模型模拟其迁飞路径。轨迹分析采用 NOAA ARL HYSPLIT 平台计算回推轨迹。

轨迹计算时的参数设置：(1)白背飞虱是顺风迁移的(Furuno *et al.*, 2005)；(2)白背飞虱在日出日落前 1 h 内起飞(邓望喜，1981)；(3)白背飞虱体重较轻，迁飞能力强，迁飞高度比褐飞虱高。春、秋季多数个体迁飞的高度为 1 000～1 500 m，夏季为 1 500～2 500 m，最高的个体可达 3 000 m(封传红等，2002a)。因此设定白背飞虱在夏季的迁飞高度为距地面的 2 000、1 500 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)。安徽 6—7 月的晨昏、朦影时刻(翟保平，2004)分别为北京时间 5:00、19:00，转化为 UTC 时间分别为 21:00、11:00，即降落时间，作为回推的起始时刻，降虫日期为灯诱高峰日(封传红等，2002b；胡高等，2007)；(4)轨迹分析的飞行时间长度分别取 11、24 或 35 h(齐国君等，2010)。

有效轨迹判定标准：通过上述方法得出的迁飞轨迹，还必须根据目标害虫的生物学特性、寄主生育期还有地形等因子进行筛选，才能得到有效的迁飞轨迹。因此，根据以下几个条件对所得的每条轨迹和最终落点进行取舍：(1)轨迹终止点的时间必须符合稻飞虱的起飞节律，即正是当地迁出种群的起飞时刻，也即当地日落之后或日出之前半小时内(翟保平，2004)；(2)轨迹终止点必须在水稻种植区且该稻区内水稻必须处于生长中后期(邹运鼎等，1982)；(3)该稻区存在大量的稻飞虱长翅型成虫，可提供迁出虫源(张孝羲，1980)；(4)该稻区稻飞虱正值迁出高峰。按以上标准剔除不合理轨迹后得到有效轨迹。

2 结果与分析

2.1 迁入种群的形成

2.1.1 2009 年灯诱白背飞虱虫量的动态变化及灯下虫源性质分析 2009 年潜山灯下白背飞虱 4 月 20 日始见，5 月份有几次零星迁入，6 月 6 日出现第 1 个明显的上灯高峰(18 头，图 1)。6 月中旬开始，白背飞虱的上灯虫量逐渐增加，到 9 月下旬共出现十多个上灯高峰。分析潜山的灯诱资料、田间调查资料和解剖资料，并结合气象资料可知，7 月中旬之前出现的灯下白背飞虱均为迁入虫源；7 月下旬到 8 月初的灯下白背飞虱峰次增多，上灯虫量增加，但此时中稻田的长翅型白背飞虱处于数量累积期，迁出量很少，而且此期在安徽中南部地区出现连续降水，仅有 7 月 25—26 日为晴天，不具备大规模起飞条件，因而此时的灯下白背飞虱也主要为迁入虫源；8 月上旬到 8 月底的灯下白背飞虱峰次最多，且上灯虫量大，既有来自南方稻区的少量迁入虫源，也有本地中稻田迁出长翅型

成虫;9 月份出现的上灯高峰主要为白背飞虱的迁出峰。

这里主要分析 2009 年潜山的迁入虫源,故选取 6—8 月初出现的主要迁入峰期,分别为 6 月 6 日、6 月 18—22 日、7 月 8—12 日、7 月 15—16 日、7 月 19—22 日、7 月 28 日—8 月 1 日。

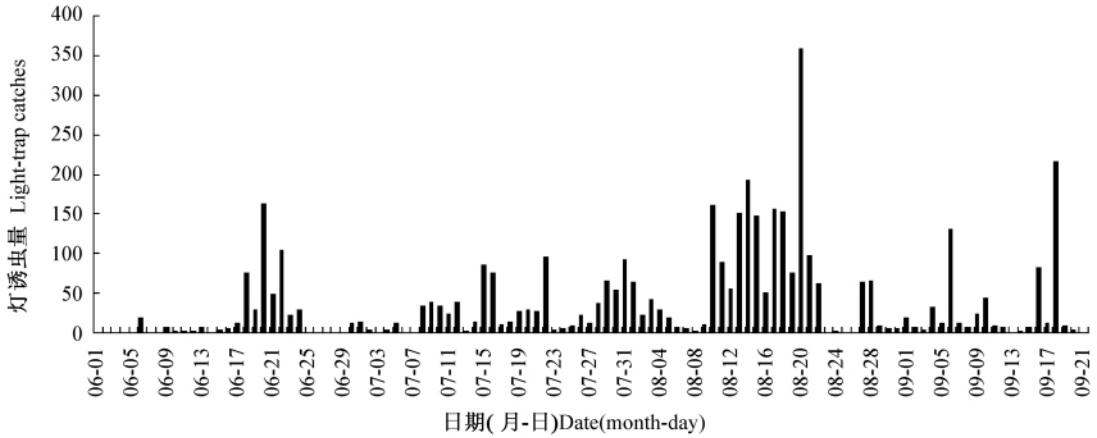

图 1　2009 年安徽潜山白背飞虱灯诱虫量动态

Fig. 1　Light-trap catches of WBPH in Qianshan, Anhui, 2009

2.1.2　2009 年潜山白背飞虱各主要迁入峰次的虫源分析　根据 6 月 6 日迁入峰的 24 h 回推轨迹,可知其虫源主要来自江西西部及湘赣交界地区(27.2°~28.7°N)(图 2:a);此时这一纬度附近早稻正处于拔节-孕穗期,早稻田白背飞虱处于迁出期,能够为江淮稻区提供虫源。查此期江西虫情,6 月 5 日江西上高县(28.20°N)的白背飞虱田间长翅成虫 141 头/百丛,同时测报灯下诱到白背飞虱 20 头。

6 月 18—22 日迁入峰的 35 h 回推轨迹表明,其虫源主要来自湘南和湘东南地区(25.1°~26.7°N)(图 2:b);查 6 月 16 日湖南道县(25.32°N)田间长翅型成虫为 82 头/百丛,6 月 20 日桂阳县(25.89°N)、宜章县(25.27°N)田间长翅成虫分别为 75 头/百丛、58 头/百丛。此时早稻处于始穗期,白背飞虱处于迁出期,能够为更北的稻区提供虫源。

7 月 8 日—12 日迁入峰 11 h 的回推轨迹表明,其虫源主要来自湘中和湘东地区(27.1°~28.3°N)(图 2:c);7 月 15—16 日 24 h 的回推轨迹表明,其虫源主要来自赣南及湘赣交界地区(25.5°~26.8°N)(图 2:d);而 7 月 19—22 日迁入峰 11 h 的回推轨迹表明,其虫源主要来自湘东和赣西及湘赣交界地区(27.5°~28.5°N)(图 2:e)。7 月份,南方稻区早稻处于黄熟-收割期,中稻处于拔节期前后,田间白背飞虱处于迁出期,可为潜山县中稻提供少量虫源,同时为晚稻提供前期迁入虫源。如 7 月 10 日湖南邵东县(27.19°N)、洪江市(27.25°N)、江西上高县(28.20°N)田间长翅成虫分别为 30 头/百丛、29 头/百丛和 758 头/百丛,早稻正处于黄熟期,中稻处于拔节期,属于早稻和中稻迁出种群;7 月 25 日湖南攸县(27.17°N)、醴陵市(27.66°N)田间长翅成虫分别为 100 头/百丛和 65 头/百丛,这里早稻已经收割,属于中稻迁出种群;7 月 15 日常宁市(26.25°N)田间长翅成虫 94 头/百丛,早稻即将收割,属于早稻和中稻迁出种群。

7 月 28 日—8 月 1 日迁入峰 11 h 的回推轨迹表明,其虫源主要来自于赣北和赣西北的广大地区(28.1°~29.4°N)(图 2:f)。7 月底至 8 月初的迁入虫源主要来自于赣北和赣西北的广大地区(28.1°~29.4°N),当地中稻处于拔节-孕穗期,晚稻处于分蘖期。7 月 31 日江西婺源县(29.32°N)田间长翅成虫为 250 头/百丛,灯下白背飞虱 107 头;8 月 5 日上高县(28.20°N)田间长翅成虫 64 头/百丛,灯下白背飞虱 155 头。湘赣北部稻区中稻田白背飞虱处于迁出期,可为潜山晚稻提供前期虫源。

2.1.3 形成各主要迁入峰的天气背景 6 月 5 日始，西太平洋副热带高压逐渐西伸北抬至华南东部沿海，其西侧和北侧的暖湿气流与西风带上小波动所携带的冷空气共同作用，我国自西向东出现一次明显降水天气过程。6 日 20:00（本文所述时间为 BJT，下同）的 850 hPa 高度上，从云贵高原到胶东半岛上空形成一条西南—东北走向的切变线，而皖南正处于切变线南侧（图 3: a）。6 月 7 日夜间在皖中地区有一次降雨过程，安庆、潜山位于降雨区边缘（图 2: a）。

6 月 19 日夜间 850 hPa 高度上，西南低空气流贯穿整个大陆中部（图 3: b），并再次形成从云贵高原到朝鲜半岛的一条西南—东北走向的切变线，皖南位于地面冷锋前西南气流的边缘且伴有明显的下降气流（图 4: a），19 日始出现连续降水天气（图 2: b）。

7 月初副热带高压西脊点位于 17°N、108°E 附近，之后迅速东撤。而后于 5 日再次西伸至 25°N、115°E 附近并在江南、华南一带稳定停留。副热带高压的西伸，使我国长江中下游及其以南地区开始出现持续高温天气，同时副高边缘的暖湿气流与北方的弱冷空气在华北南部、黄淮、江淮等地交绥而形成明显降水过程。7 月 8 日 20:00 850 hPa 高度上，超过 13 m/s 的西南低空气流贯穿大陆（图 3: c）。当夜冷锋到达江淮流域，过境时伴随降雨过程（图 2: c）。

7 月 16 日 20:00 850 hPa 高度上，同样是贯穿大陆的西南低空气流（图 3: d）和远达勘察加半岛的切变线，皖南上空有明显的下降气流（图 4: b）。

7 月 15 日始，西太平洋副热带高压连续西伸北抬，脊点西伸至 30°N、103°E 附近，18 日 20:00 副热带高压更北抬至 35°N 附近。副热带高压的西伸北抬使我国雨带北上至华北、黄淮等地。7 月 20 日 02:00 850 hPa 高度上，强大的西南低空气流（>15 m/s）覆盖了整个大陆（图 3: e），皖南正处于南北冷暖气流交绥区的槽线附近，7 月 22—23 日在皖中皖南形成明显的降雨过程（图 2: e）。

7 月 23 日始，青藏高原东部有高空槽缓慢东移，旬内我国自西向东大部地区先后出现明显降水天气过程。30 日 02:00 850 hPa 高度上，西南低空气流贯穿整个东半部（图 3: f），而皖南正处在切变线南侧。从 7 月 29 日—8 月 1 日皖南出现持续降雨天气，尤其是 8 月 1 日出现大雨天气过程（图 2: f）。

可见，江淮切变线及其相伴生的降水过程造成了 2009 年潜山白背飞虱的几个迁入峰。

2.2 回迁种群的形成

2.2.1 2009 年白背飞虱种群动态 2009 年 7 月中旬到 9 月底，分别系统调查了潜山具有代表性的中稻田和双晚稻田白背飞虱的种群发生动态。结果如图 5 所示：白背飞虱在双季稻和单季稻上相继共发生 5 代，危害持续时间长；中稻田白背飞虱在 7 月底达到最大虫量，为 4 140 头/百丛；晚稻田白背飞虱虫量从 8 月下旬到 9 月底一直维持在百丛千头以上，9 月上中旬百丛虫量均超过万头，9 月中旬达到最大虫量，为 28 710 头/百丛。

7 月中旬，中稻系统田的水稻正值拔节期，当地第 2 代白背飞虱正处于大量繁殖期，短翅型成虫的数量占有相当大的比例，最大时达成虫总量的 55.9%（表 2），孕穗期后逐渐以长翅型成虫为主。7 月 27 日，当地中稻正处于拔节末期或孕穗初期，双季晚稻处于拔节期，为当地第 3 代白背飞虱提供了丰富的食料来源。中稻田的白背飞虱初孵若虫达到最大虫量，此时为当地第 3 代卵孵化盛期，田间白背飞虱虫量也达到最大值，为百丛 4 100头左右。8 月底 9 月初当地中稻处于收割期，中稻田的若虫大多不能完成完整世代。在双晚稻系统田中，水稻生育前期的白背飞虱短翅型成虫占有相当大的比例，最大时达 48.5%（表 2），后期以长翅型成虫为主。9 月初为当地第 4 代卵孵化盛期，晚稻处于孕穗期或抽穗期，晚稻田中的低龄若虫占 80%。9 月 15 日，晚稻田出现白背飞虱峰值虫量，达百丛 28 710 头左右。9 月 17 日，当地第 4 代成虫大量羽化，晚稻田中的白背飞虱长翅型成虫达到峰值，为 8 500 头/百丛。9 月底 10 月初，晚稻进入黄熟期并接近收割期，田间的第 5 代孵化若虫将不能完成生活史而成为无效虫源。

2.2.2 白背飞虱回迁种群的形成 根据 2009 年系统田调查数据和卵巢解剖数据（表 3，4），结合当地白背飞虱发生的具体情况，再按全国统一划分世代的方法划分了潜山中稻田和双季晚稻田白背飞虱各个世代的虫源性质。

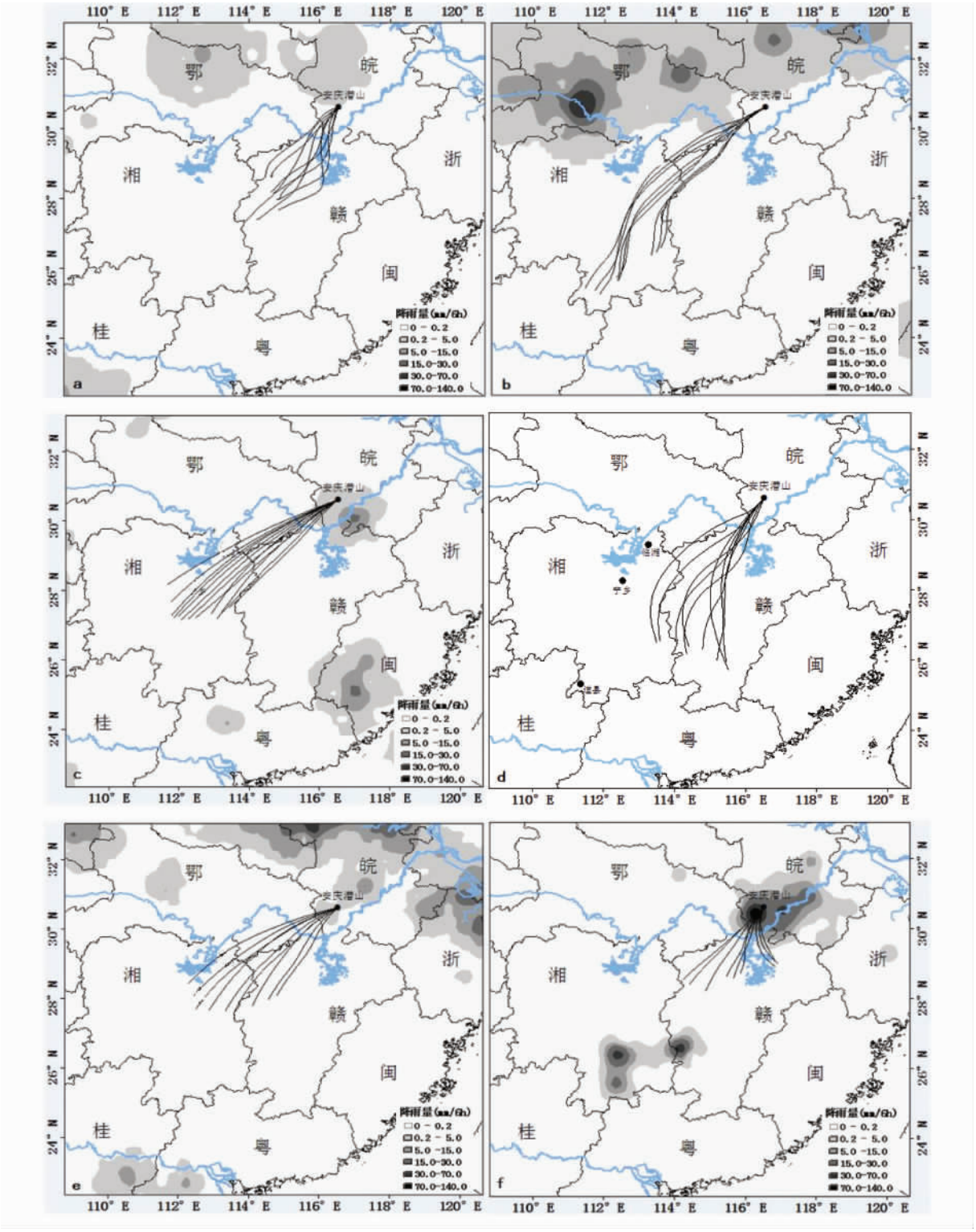

图 2　2009 年安徽潜山各迁入期迁入种群的回推轨迹和降雨分布

Fig. 2　The backward trajectories of immigration population and rainfall distribution during the major immigration peaks in Qianshan, Anhui, in 2009

注: a: 6 月 6 日, b: 6 月 18 – 22 日, c: 7 月 8 – 12 日, d: 7 月 15 – 16 日, e: 7 月 19 – 22 日, f: 7 月 28 日 – 8 月 1 日。

a: 6 June, b: 18 June – 22 June, c: 8 July – 12 July, d: 15 July – 16 July, e: 19 July – 22 July, f: 28 July – 1 Aug.

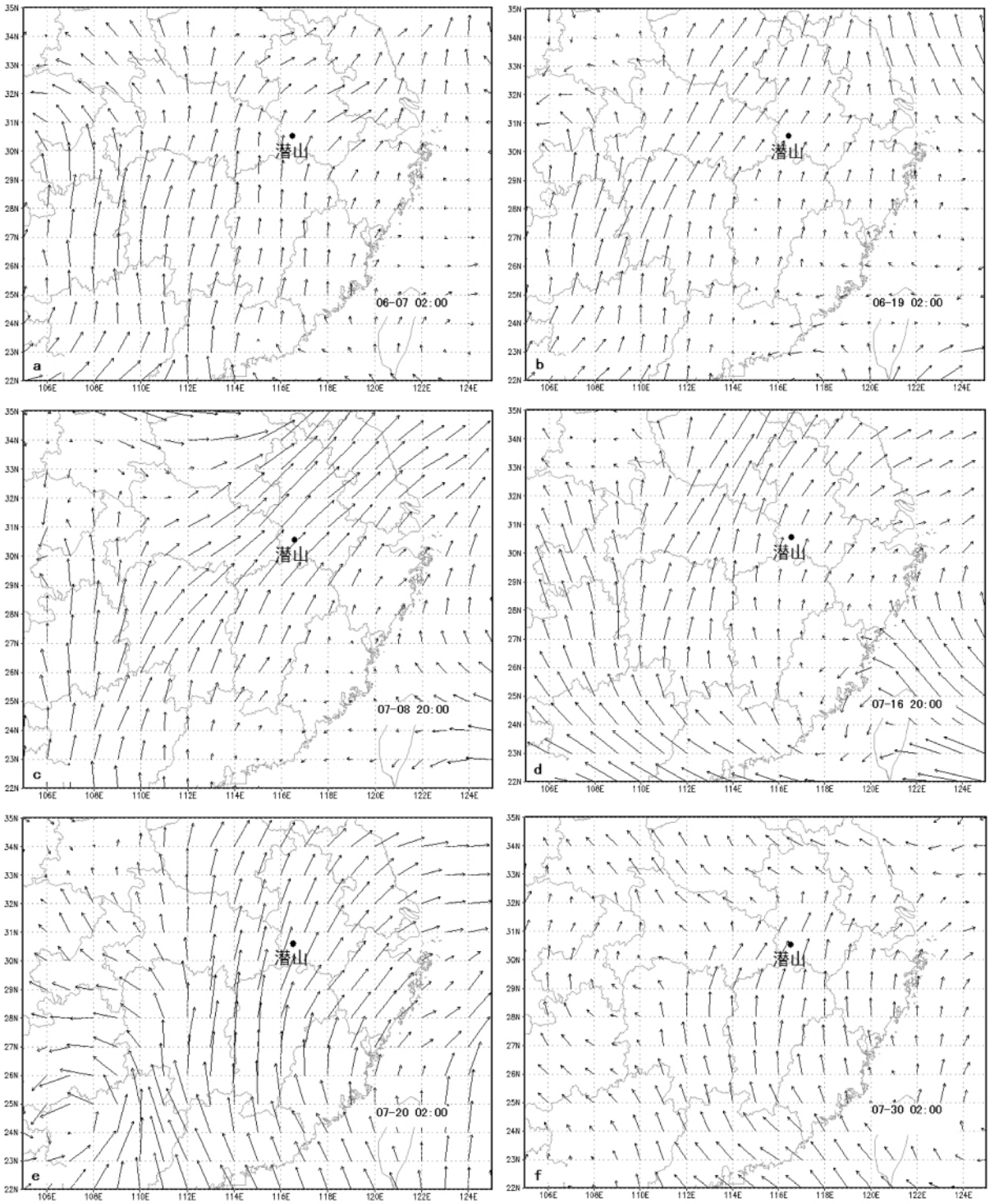

图 3　2009 年安徽潜山各主要迁入峰期 02:00 或 20:00 850 hPa 上的水平风场(m/s)

Fig. 3　Horizontal wind field (m/s) on 850 hPa at 02:00 and 20:00 during the major immigration peaks in Qianshan, Anhui, in 2009

表 2　2009 年安徽潜山白背飞虱各世代成虫虫量和短翅型成虫比例

Table 2　The adult counts of WBPH and the ratio of brachypterous adult for each generation in Qianshan, Anhui, 2009

代次 Generation	日期(月/日) Date (month/day)	成虫平均百丛虫量 Average adults per 100 hills (head)	成虫最高百丛虫量 Maximum adults per 100 hills (head)	短翅型成虫平均比率(%) Average ratio of brachypterous adult	短翅型成虫最高比率(%) Maximum ratio of brachypterous adult
1	-06/20	10	10	0	0
2	06/2 -07/20	203	340	36.7%	55.9%
3	07/21 -07/28	445	655	35.9%	43.5%
	07/29 -08/20	556	1 255	18.9%	25.5%
4	08/21 -09/07	604	980	28.5%	48.5%
	09/08 -09/20	4 347	8 720	5.3%	16.5%
5	09/21 -	230	380	1.6%	2.8%

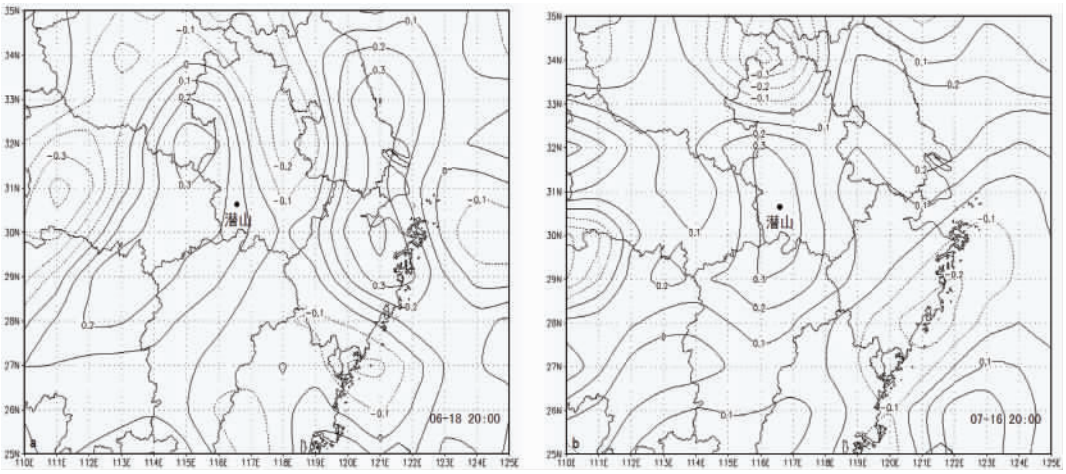

图 4　2009 年安徽潜山各主要迁入峰期 02:00 或 20:00 850 hPa 上的垂直速度(Pa/s)

Fig. 4　Vertical velocity (Pa/s) on 850 hPa at 20:00 during the major immigration peaks, Qianshan, Anhui, 2009

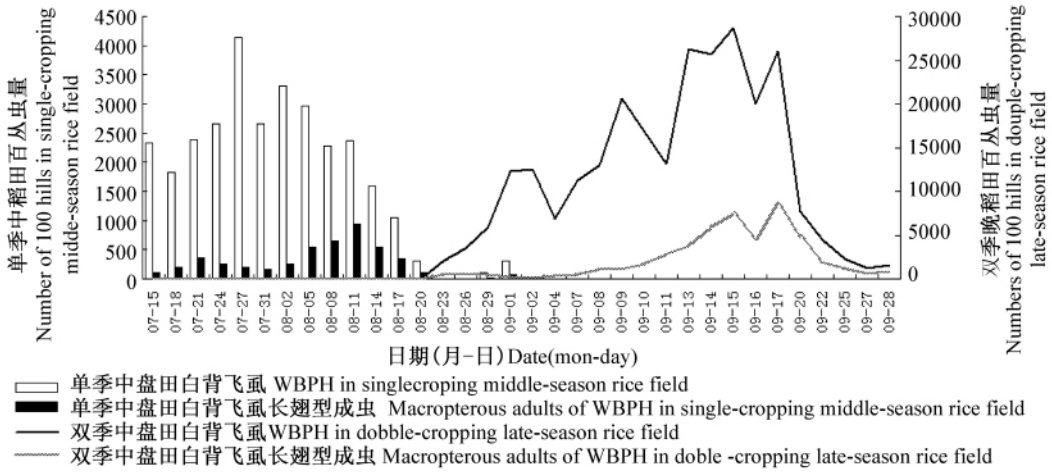

图 5　2009 年安徽潜山单季中稻田和双季晚稻田白背飞虱种群动态

Fig. 5　Population dynamics of WBPH in mid rice and late rice in Qianshan, Anhui, 2009

表 3 2009 年安徽潜山单季中稻田各世代白背飞虱卵巢发育进度

Table 3 The ovarian development of WBPH for each generation in single-cropping mid-season rice crops, Qianshan, Anhui, 2009

代次 Generation	日期(月/日) Date(month/day)	卵巢发育程度各级比例 Ovarian development grades(%)		
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ—Ⅴ
第 1 代 1st generation	-06/20	—	—	—
第 2 代 2nd generation	06/21—07/20	—	—	—
第 3 代 3rd generation	07/21—07/28	59.6%	28.5%	11.9%
	07/29-08/20	81.3%	15.6%	3.1%
第 4 代 4th generation	08/21—09/20	90.0%	3.3%	6.7%

表 4 2009 年安徽潜山双季晚稻田各世代白背飞虱卵巢发育进度

Table 4 The ovarian development of WBPH for each generation in double-cropping late-season rice crops, Qianshan, Anhui, 2009

代次 Generation	日期(月/日) Date(month/day)	卵巢发育程度各级比例 Ovarian development grades(%)		
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ—Ⅴ
第 1 代 1 st generation	— 06-20	—	—	—
第 2 代 2 nd generation	06-21 — 07-20	—	—	—
第 3 代 3 rd generation	07-21 — 08-20	—	—	—
第 4 代 4 th generation	08-21 — 09-07	46.7%	18.7%	34.6%
	09-08 — 09-20	88.5%	8.5%	3.0%
第 5 代 5 th generation	09-21 —	84.8%	5.2%	10.0%

潜山无白背飞虱越冬虫源。因此，6 月中旬以前的第 1 代白背飞虱全部为外地迁入虫源，未做卵巢解剖；第 2 代发生期为 6 月 21 日到 7 月 20 日，早稻田处于黄熟期并即将收割，白背飞虱主要在拔节期的中稻上发生，处于种群数量增长期，短翅成虫占有相当大的比例(表 2)，第 2 代白背飞虱是本地繁殖，大部迁入型；第 3 代发生期为 7 月 21 日到 8 月 20 日，分为 2 个阶段：7 月 28 日以前，田间白背飞虱的高龄若虫数量增多，新羽化的成虫也不断累积，此阶段白背飞虱为本地繁殖，少量迁出型；7 月 28 日以后，中稻田积累了大量长翅型成虫，Ⅰ、Ⅱ级未成熟卵巢比例达到 96.9%(表 2)，但仍有 3.1% 左右的雌成虫卵巢达到Ⅲ级或以上，故属于大部迁出型，少部分留在本地继续繁殖危害。此期正值夏季风最强盛之时，第 3 代白背飞虱迁出之后只能迁向更北的稻区，如成为江苏、上海等长三角稻区的后期迁入虫源，或迁向更远的黄河灌区和北方稻区。第 4 代发生期为 8 月 21 日到 9 月 20 日，主要危害双季晚稻田。此时中稻田的水稻处于黄熟期，正常年份田里的白背飞虱大部分已迁出，只剩少量白背飞虱滞留危害。但 2009 年 7、8 月份适逢连续阴雨天气(表 5)，使得大量本该外迁的个体滞留本地继续为害中稻田，其后再迁入晚稻田危害并大量增殖，从而形成了第 4 代(8 月下旬至 9 月中旬)回迁种群。8 月 28 日以前，中稻田食料恶化，大面积黄熟期中稻田滞留危害的白背飞虱转移到双季晚稻田，短期内增加了晚稻田长翅型高级别雌成虫的比例，如表 4 所示，所以 9 月 7 日以前长翅型雌成虫Ⅰ、Ⅱ级未成熟卵巢比例在 70% 以下；9 月 7 日以后，田间新羽化的长翅型雌成虫不断增多，卵巢解剖的Ⅰ、Ⅱ级未成熟卵巢比例迅速上升，达 97%。因此，第 4 代属于大量迁出型，构成了真正意义的回迁虫群。第 5 代发生期为 9 月 21 日及以后，晚稻进入黄熟期并即将收割，田间第 5 代孵出的若虫成为不完全世代，为无效虫源。

表 5　2009 年安徽潜山中稻田第 3 代白背飞虱羽化高峰期的降雨情况

Table 5　Precipitation in Qianshan during the emergence peaks of WBPH for the 3rd generation in single-cropping mid-season rice field, 2009

日期(月/日) Date (month/day)	雨日 Rainy days(d)	累积雨量 Total rainfall(mm)	长翅型成虫百丛虫量 Macropterous adults per 100 hills	长翅型成虫比率(%) Ratio of Macropterous adults
7/23 – 7/31	8	131.0	370	64.7
8/1 – 8/17	8	32.7	935	75.8

3　结论与讨论

3.1　江南、华南稻区是皖南白背飞虱的直接虫源地

白背飞虱在潜山不能越冬，虫源均来自南方稻区，其中湘赣稻区是主要虫源地，粤桂北部稻区在西南气流很强的年份也会提供部分前期迁入虫源。

南方稻区的气候独特，水稻栽培制度复杂多样，形成单双季稻混合种植、生育期交错重叠、一年多熟的复杂局面。湘赣稻区既种植有大面积的双季早稻和双季晚稻，还有一定面积的单季中稻和小面积的单季晚稻。中稻田不仅为白背飞虱提供了大量的食料，而且在白背飞虱从早稻田转移到晚稻田过程中起到了“桥梁田”的作用，加大了晚稻田的虫源基数。如此复杂的种植模式为稻飞虱提供了丰富的食料来源和生活场所，也为稻飞虱连续多个世代的大量繁殖提供了条件。湘赣稻区早稻田和中稻田大量的白背飞虱相继多次迁出，从 5 月底到 7 月底均有迁出现象，历时时间长，不仅为皖西南稻区早稻和中稻提供了持续的大量虫源，而且也大大增加了晚稻田的虫源基数，为皖西南稻区白背飞虱的预测预报带来了很大的难题。

因此，能否做好湘赣稻区的白背飞虱的防治和预测预报工作直接关系到皖西南稻区白背飞虱的前期迁入量和后期发生程度，这就要求我国各地植保部门之间要加强稻飞虱的防治和预测预报工作的协作，共同完成对稻飞虱发生危害的监控和防治。

3.2　2009 年安徽潜山白背飞虱的大量滞留与回迁种群的形成

从 5 月底到 7 月底湘赣稻区早稻田和中稻田大量的白背飞虱相继多次迁出，不仅为皖西南稻区早稻和中稻提供了持续的大量虫源，而且也大大增加了晚稻田的虫源基数。2009 年潜山单季中稻田的白背飞虱在 8 月中旬扬花期时百丛虫量仍在千头以上，黄熟期时第 3 代仍有部分滞留危害，收割期滞留危害的白背飞虱转移到双季晚稻田，加大了晚稻田虫源基数; 双晚稻田的白背飞虱发生量大，持续时间长，8 月下旬到 9 月底双晚稻田白背飞虱的发生量均在千头/百丛以上，9 月上中旬其百丛虫量均超过万头，9 月 15 日白背飞虱百丛虫量达到最大值，为 28 710 头左右，9 月 17 日，当地第 4 代羽化了大量成虫，晚稻田中成虫虫量达到最大值，为 8 500 头/百丛(图 5)。

分析 2009 年安徽潜山 7 月下旬到 8 月初的天气资料可知: 从 7 月 22 日到 8 月 2 日这 12 d 中，除了 25 日和 31 日是无降水外，其余 10 d 均有或强或弱的降雨天气过程; 在田间长翅型成虫百丛虫量 8 月 11 日达到最大值后，也有一次明显的降雨过程。可见，迁出期的降雨天气过程影响了田间长翅型成虫的大量迁出，是导致中稻田大量白背飞虱滞留危害的主要原因。另外，持续多日的降雨天气，也会影响对白背飞虱的施药防治，失去了控制白背飞虱种群增长的最佳时机，加重了水稻后期白背飞虱的发生危害程度。

2009 年在潜山的田间调查结果表明，中稻田和双晚稻田的褐飞虱发生程度都很轻，田间褐飞虱种群远未达到防治指标。中稻系统田褐飞虱的最大发生量为 45 头/百丛，双晚稻田为 385 头/百丛，而同期白背飞虱的虫量比褐飞虱高 2 个量级(图 5)。王荣富等(1997，1998)的研究发现，白背飞虱与褐飞虱混合发生时种间有竞争和互作的影响，褐飞虱的存在使得白背飞虱种群的长翅型比率大大增加。或许缺少褐飞虱的生态互作和竞争是白背飞虱滞留危害的另一原因。刘芹轩等(1982)的研究也表明，白背飞虱各代长翅型成虫

出现的比例(一般占 80% 以上)比褐飞虱高,具有一定程度向外迁飞的特性。但白背飞虱每一代的迁出与滞留的比例大小却尚不能确定,而且影响其滞留与否的因子也有待进一步研究。

中稻田滞留的白背飞虱在收割期转移到双季晚稻田,加大了双季晚稻田的虫源基数。又由于梅雨锋的影响,长江中下游稻区雨水充沛,加上农民施肥频繁,使当季水稻生长繁盛,为稻飞虱提供了充足的食料和适宜的繁殖场所,白背飞虱的田间种群迅速增长,加重了双晚稻田白背飞虱的发生危害,为白背飞虱的回迁种群积累了虫源基数。

白背飞虱的发生与气象条件、种植制度、田间水肥管理等密切相关,特别是气象条件对白背飞虱的生长发育、繁殖和迁飞等起着决定性的作用。因此,进一步探讨白背飞虱各代迁出与滞留的比例如何,明确影响回迁种群形成的因素,对白背飞虱的异地预测和源头治理有重要意义。

参考文献(References)

陈若篪,程遐年,杨联民,殷向东,1979. 稻飞虱卵巢发育及其与迁飞的关系. 昆虫学报,22(3):281—282.

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.

封传红,翟保平,张孝羲,汤金仪,2002a. 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.

封传红,翟保平,张孝羲,汤金仪,2002b. 我国北方稻区 1991 年稻飞虱大发生虫源的形成. 生态学报,22(8):1302—1314.

Furuno A, ChinoM, Otuka A, Watanabe T, Matsumura M, Suzuki Y, 2005. Development of a numerical simulation model migration of rice planthopper. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1/4):197—209.

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.

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.

黄蔚兰,吴彩玲,徐劲峰,2006. 潜山县 2005 年褐飞虱特大发生的特点及原因分析. 安徽农学通报,12(5):197—198.

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,(3):59—66.

齐国君,芦芳,胡高,王凤英,程遐年,沈慧梅,黄所生,张孝羲,翟保平,2010. 2007 年广西早稻田褐飞虱发生动态及虫源分析. 生态学报,30(2):462—472.

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,(5):25—31.

唐启义,胡国文,唐健,胡阳,程家安,1998. 白背飞虱猖獗频率增加与杂交稻面积增加的关系分析. 西南农业大学学报,20(5):456—459.

田学志,肖满开,董习华,丁士银,罗跃进,江启荣,2008. 安庆市稻飞虱发生与防治对策的探讨. 安徽农学通报,14(7):165—167.

王荣富,程遐年,罗跃进,邹运鼎,1997. 褐飞虱与白背飞虱共栖时的互作效应. 应用生态学报,8(4):391—395.

王荣富,邹运鼎,程遐年,1998. 褐飞虱与白背飞虱若虫间的互作效应. 应用生态学报,9(3):277—280.

翟保平,2004. 昆虫行为研究中日长的计算. 昆虫知识,41(2):178—184.

翟保平,程家安,2006. 2006 年水稻两迁害虫研讨会纪要. 昆虫知识,43(4):585—588.

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):7—17.

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.

邹运鼎,陈基诚,王士槐,1982. 稻株营养物质与褐飞虱翅型分化的关系. 昆虫学报,25(2):220—222.