

上海地区 2007 年褐飞虱的后期迁入 和虫源地的个例分析

芦芳¹, 齐国君¹, 陈晓¹, 董西贵¹, 郭玉人², 武向文², 倪秀红³, 陈时健³,
张纪英³, 张孝羲¹, 翟保平^{1,*}

(1. 南京农业大学昆虫学系, 农业部病虫害监测与治理重点开放实验室, 南京 210095;
2. 上海市农业技术推广服务中心, 上海 201103; 3. 南汇区农业技术推广中心, 上海 201300)

摘要:褐飞虱后期迁入是指在 8 月下旬到 9 月上旬水稻生育后期出现的异常迁入。分析了 2007 年上海地区褐飞虱后期迁入种群的虫源性质、迁飞降落过程、大气背景场以及虫源地情况, 结果表明: (1) 2007 年 8 月下旬到 9 月初上海地区出现的褐飞虱灯诱高峰为外地迁入峰, 迁飞峰次分别为 8 月 22—23 日, 8 月 27—31 日。 (2) 8 月 22—23 日降虫主要受台风“圣帕”外围倒槽气流的影响; 8 月 27—31 日褐飞虱的迁入主要受降雨过程的影响。 (3) 回推轨迹分析表明: 2007 年 8 月下旬到 9 月初上海地区后期迁入的虫源地主要分布在浙江东南沿海稻区 (8 月 22—23 日), 浙江中、北部 (8 月 27—31 日), 江南稻区北部包括皖南、赣北 (8 月 29 日)。 (4) 以怀宁为代表的皖南虫源地的顺推轨迹分析表明: 8 月下旬该区早中稻进入生育后期, 食料条件恶化, 褐飞虱长翅型成虫大量外迁, 皖南稻区存在为上海提供虫源的对应关系。 (5) 虫源地的种植制度、虫源基数和合适的气象条件是导致后期迁入的重要因素。

关键词:褐飞虱; 后期迁入; 虫源地; 轨迹分析

The late immigration of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (stål) in Shanghai: Case studies from 2007

LU Fang¹, QI Guojun¹, CHEN Xiao¹, DONG Xigui¹, GUO Yuren², WU Xiangwen², NI Xiuhong³, CHEN Shijian³, ZHANG Jiyong³, ZHANG Xiaoxi¹, ZHAI Baoping^{1,*}

1 Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insect Pests, the Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095

2 Shanghai Agro-technology Extension Service Center; Shanghai 201103

3 Nanhui District Agro-technology Extension Center; Shanghai 201300

Abstract: The late immigration of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (stål)) (BPH) is defined as mass immigration to the Yangtze River Delta rice areas from late August to early September. It's different from the normal early immigration that happens during late June to early August. There have been unusual abundant late immigrations in recent years, especially in 2005 and 2006. This paper examines the population characteristics of BPH in an attempt to differentiate between immigrants and emigrants, using data collected from field populations and light-trap catches; and also the processes of immigration and its relationships with weather and source areas of the late immigration in 2007 in Shanghai. The results are as follows: (1) The late immigration peak days in 2007, sampled by light-traps, occurred on 22—23 August and 27—31 August. (2) The analysis of horizontal wind field (m/s) vertical velocity (Pa/s) at 850hPa illustrated that the immigration on the nights of 22—23 August was affected by the peripheral inverted trough of the Tropical Storm “Sepat”. During the 27—31 Aug immigration, the frequently changing horizontal air-flow influenced by the Pacific Subtropical High

基金项目:上海市科技攻关计划资助项目(沪农科工字 2006.1-4); 国家 973 资助项目(2006CB102007); 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD08A01); 现代农业产业技术体系资助项目(nyctx-001)

收稿日期: 2009-05-10; 修订日期: 2009-08-22

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

provided the transportation flow for BPH migration, and the heavy rain fall in North and East China caused the immigration of BPH. (3) Trajectory analysis by HYSPLIT showed that the source areas of this late immigration included the southeast coastal rice cropping region in Zhejiang Province (22–23 Aug), the mid and south Zhejiang Province (27–31 Aug), and the north part of southern Yangtze River such as southern Anhui Province and northern Jiangxi Province (29 Aug). (4) The analysis of the occurrence of BPH in Huaining Country, an area representative of the southern rice cropping region in Anhui showed that rice had developed to the mature reproductive stage in late August, so that huge amount of macropterous adult BPH emigrated. The forward trajectories indicated that southern Anhui could be the source area for the immigrants to the Yangtze River Delta. Finally, the relationships between cropping system, population density of BPH in the source area, and meteorological conditions, on the occurrence of late immigration are discussed.

Key Words: *Nilaparvata lugens* (Stål); late immigration; insect source area; trajectory analysis

褐飞虱后期迁入是指自6月下旬到8月上旬正常的前期迁入结束后,长江三角洲部分稻区在8月下旬到9月上旬水稻抽穗后的生育后期发生的褐飞虱大量迁入。

上海市与浙江北部、江苏南部同属于长江三角洲,其水稻栽培制度、褐飞虱发生和气候情况均基本相似。根据褐飞虱在我国东部的南北往返迁飞规律,上海地区的褐飞虱前期迁入期通常在6月下旬至7月中、下旬,降落后在本地繁殖2—3代,9月中旬后单季中晚稻进入生育后期,褐飞虱开始向南回迁迁出^[1-3]。而近年来却在8月下旬到9月上旬频繁出现后期迁入,特别是2005、2006年上海稻区更是出现了罕见的大规模后期迁入,给水稻生产造成了重大威胁和损失^[2,4-5]。

为了研究褐飞虱后期迁入规律,上海市农委于2006年开始立项专门研究褐飞虱的后期迁入问题。于2007年7—9月分别在上海市南汇区、安徽省怀宁县设立诱虫灯和系统调查田,采用灯下和田间系统调查与雌虫卵巢系统解剖相结合的方法,监测迁入稻区(南汇)和迁出稻区(怀宁)褐飞虱的种群动态和卵巢发育状况;并结合灯诱数据和气象数据,利用NOAA(美国国家海洋和大气管理局)的HYSPLIT轨迹分析平台对上海褐飞虱8月下旬—9月上旬各迁入峰次做回推轨迹分析,追踪上海地区褐飞虱后期迁入种群的虫源地;并选择皖南虫源区在同一时段作相应的迁出顺推轨迹分析,同时分析降落高峰期的高空风场。通过对2007年后后期迁入的个例分析,探讨褐飞虱后期迁入种群可能的虫源地分布,以期对褐飞虱后期迁入的预测预报和有效治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 虫情资料

上海南汇(31.05°N, 121.76°E)、崇明(30.92°N, 121.45°E)、奉贤(31.63°N, 121.39°E)的褐飞虱灯诱资料由上海市农业技术推广服务中心提供,南汇和安徽怀宁(30.41°N, 116.63°E)的田间虫情为系统调查所得。

1.2 系统田设置

(1)南汇 选取水稻直播田和移栽田进行系统调查,直播田品种为嘉花1号,6月8日播种;移栽田品种为秀优5号,5月2日播种,6月13日移栽。

(2)怀宁 选取单季中稻田进行系统调查,中稻田品种为两优培九,5月10日播种,6月12日移栽,9月25日收割。

系统田均按常规栽培措施管理,整个生长期不内不使用农药防治病虫害。田间调查使用标准白瓷盘,采用随机多点盘拍法调查^[6],分别记录各虫态数量,并折算成百丛虫量,以观察褐飞虱种群消长的动态变化,同时记录水稻的生育期。

1.3 卵巢解剖

褐飞虱卵巢发育级别和虫源性质的划分参照陈若簏的标准^[7]。

表 1 褐飞虱虫源性质的划分

Table 1 The classification of population characteristics of BPH

类型 Type	虫源性质 Population characteristics	卵巢发育程度 The ovarian development grade	平均交配率/% Mated ratio
I	迁入种群	Ⅲ级以上卵巢的比例 >60%	>80
II	本地繁殖种群	各级别卵巢均有且比例接近	40—80
III	迁出种群	I、II级卵巢的比例 >70%	<40

1.4 轨迹分析

用 NOAA 的 HYSPLIT 平台计算褐飞虱的迁飞轨迹^[8]。轨迹计算时的参数设置:(1) 顺风迁移^[9-10]。(2) 日落后 1h 内起飞,日出前 1h 降落^[11-13]。(3) 迁飞高度为距地面 900m、1500m、2000m^[11-17]。(4) 每个迁飞过程为 1 次性飞行,回推轨迹以降落地降落时间为起点,顺推轨迹以虫源地褐飞虱起飞时间为起始时刻^[16,18]。若迁飞过程中遇雨,则在降雨最大时刻开始回推至起飞时刻^[19]。(5) 有效轨迹的判定:无论回推或顺推轨迹的起始点或终止点,其具体时刻必须符合褐飞虱的起飞或降落的生物学时间节律特性^[18],回推轨迹终端地必须有适宜生育期即老熟期的单季早中籼稻且存在大量长翅型褐飞虱^[9, 20-21]。

1.5 气象资料

风场资料来自美国环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)的全球再分析数据(全球 6h 一次,1°×1°,26 个高度层,GRIB 格式)。降水资料为中国国家气象局提供的 MICAPS 处理的数据。

2 结果分析

2.1 2007 年上海地区褐飞虱发生动态

2.1.1 后期(8、9 月份)份灯下虫量

2007 年上海地区无论是前期(6 月下旬—8 月上旬)或后期(8 月下旬—9 月份)的迁入数量都较少(图 1),属于轻发生年。但在 8 月下旬至 9 月初上海各地灯下都出现明显的灯诱高峰,南汇灯诱高峰虫量为 134 头(8 月 22 日)、137 头(8 月 28 日),显著大于前期迁入峰日的灯诱虫量(55 头,7 月 19 日);奉贤后期灯诱高峰日为 8 月 23 日、8 月 29—31 日,崇明灯诱高峰日为 8 月 27—31 日。因此,2007 年上海地区后期迁入峰次分布在 8 月 22—23 日、8 月 27—31 日。

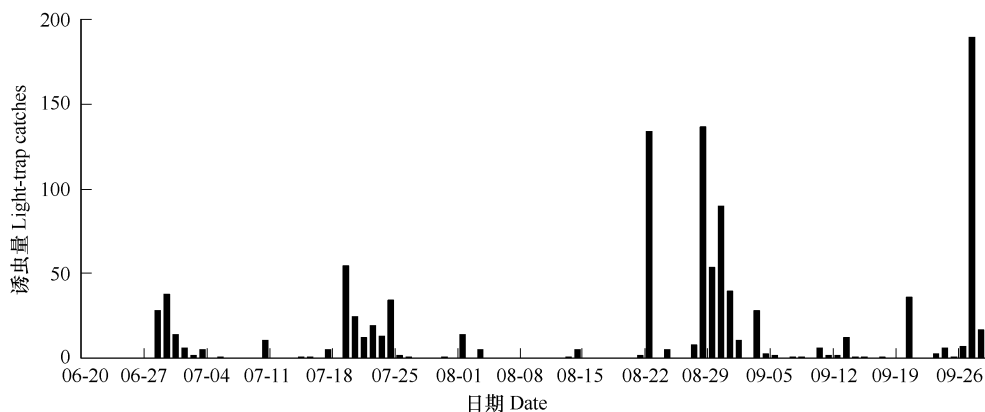


图 1 2007 年南汇区褐飞虱灯诱虫量(6 月 20 日—9 月 28 日)

Fig. 1 Light-trap catches of BPH in Nanhui, 2007 (from 20 Jun to 28 Sep)

另据田间调查数据分析,直播稻播种较迟,处于分蘖盛期,褐飞虱百丛虫量一直很低,以低龄若虫为主虫态,移栽田百丛虫量略高,田间以 4、5 龄若虫为主虫态,成虫数量少,而 8 月 24 日之后田间、灯下均突然出现长翅型成虫高峰,这与本地稻田若虫的发育进度不相衔接,这表明 8 月下旬的长翅型成虫高峰不是本地发生的。

2.1.2 后期种群的虫源性质

田间褐飞虱种群:2007年8月23日—9月26日南汇田间褐飞虱长翅型成虫的逐日解剖结果表明(图2,表2):8、9月份褐飞虱雌虫的卵巢发育结构可明显分为两个时段。8月23日—9月8日,田间长翅型成虫的卵巢发育级别中未成熟的I、II级很少,仅占15%左右,而III级以上已成熟的卵巢却占84.7%,且交配率高达65.9%,符合大部分迁入型的虫源性质;9月9—26日,褐飞虱I级比例明显上升至57.1%,相反III级以上的成熟个体比例下降到35.3%,交配率也下降至26.5%,符合迁出种群的卵巢发育结构,因此,8月下旬—9月上旬的大部分田间成虫是从外地迁入,仅有少部分为本地羽化;而9月中下旬的褐飞虱大部分迁出,只有少部分滞留在本地为害。

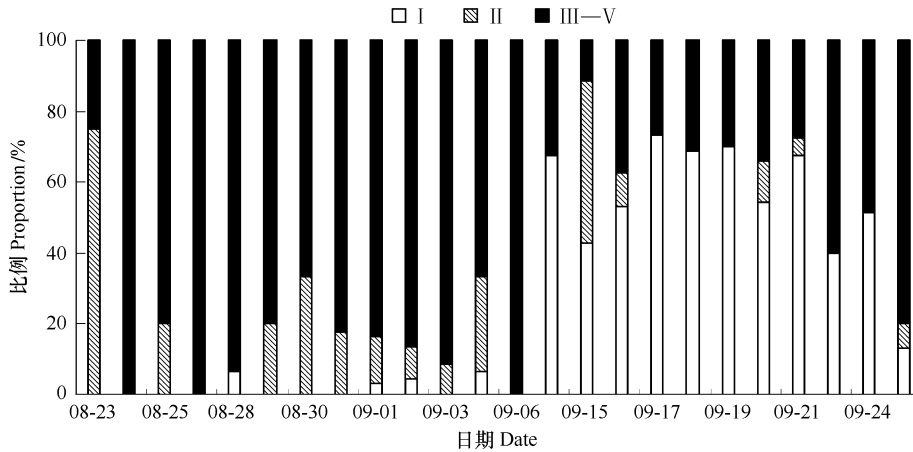


图2 2007年8月23日—9月26日南汇田间褐飞虱种群逐日卵巢发育程度

Fig. 2 The daily ovarian development grade of field populations of BPH from 23 Aug to 26 Sep, Nanhui, 2007

表2 褐飞虱田间迁入种群和迁出种群卵巢发育状况的区别

Table 2 The differences of ovarian development status of field population of BPH between immigration and emigration

Table with 5 columns: 日期 Date, 解剖数 Females dissected, 卵巢发育程度各级比例 Ovarian development grades/% (I, II, III-V), 交配率 Mated ratio/%. It compares two periods: 08-23—09-08 and 09-09—09-26.

灯诱褐飞虱种群:8月21日—31日灯诱高峰期的灯下雌虫的卵巢解剖结果表明(图3):8月下旬褐飞虱后期迁入期间,灯诱褐飞虱的I级卵巢比例仅为4.3%,II级则占95.7%,符合迁入种群的虫源性质;而此时田间褐飞虱种群却以III级以上的成熟卵巢为主,占80%以上,交配率为60%以上,I级卵巢仅占2.4%。这里的解剖结果与当年的高山网、海上和飞机捕捉的迁飞途中的高空虫群的卵巢发育级别特征一致[13]。褐飞虱迁入种群灯下始终以未成熟的II级雌虫占绝对优势,可以解释为远距离迁飞种群的起飞一般都在成虫羽化后的幼嫩后期(post teneral period 即卵巢发育I级后期到II级前期)[3,9],迁飞过程中主要处于未成熟的II级阶段,降落稻田后能迅速卵巢发育成熟并交配[21]。同时也说明褐飞虱迁入期间III级以上卵巢成熟的个体基本不扑灯。

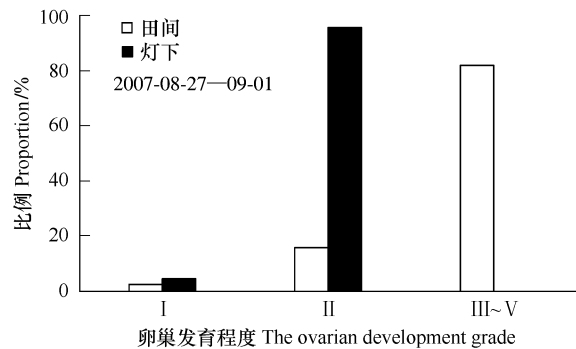


图3 南汇区褐飞虱田间和灯下种群卵巢发育程度比较

Fig. 3 The comparison of the ovarian development grade of BPH between light-trap catches and field populations, Nanhui

2.2 迁入时段的气象背景和虫源地的回推轨迹分析

2.2.1 8 月 22—23 日降虫高峰

8 月 22 日 08 时 850hPa 水平风场(图 4a)显示:0709 号超强台风“圣帕”减为热带风暴后,其中心已经进入我国湘赣交界的区域,台风倒槽及其东部外围影响华东、华南大部分地区。受其影响,上海至浙江、福建等地区 850hPa 高空均为西南风或南风,粤、赣、闽、浙大部风速达 20m/s 以上;图 4b 显示的垂直速度场反映闽北、赣东北、浙沪大部有弱下沉气流,这是由于热带风暴东北部有明显的强降水过程,降水造成了拖拽下沉气流,这对褐飞虱的降落是一种动力胁迫。因此,8 月 21 日晚热带风暴“圣帕”外围气流为褐飞虱的迁入提供西南偏南的运载气流,22 日晨受台风外围影响,上海南部的南汇和奉贤等地近日出现明显的灯诱高峰。南汇、奉贤 11h 轨迹回推分析表明,其虫源主要来自浙江东南部温台沿海单双稻区(图 4c),该稻区山区内多种植单季稻,此时的单季早中稻正值乳熟后期,可以提供褐飞虱长翅型虫源。

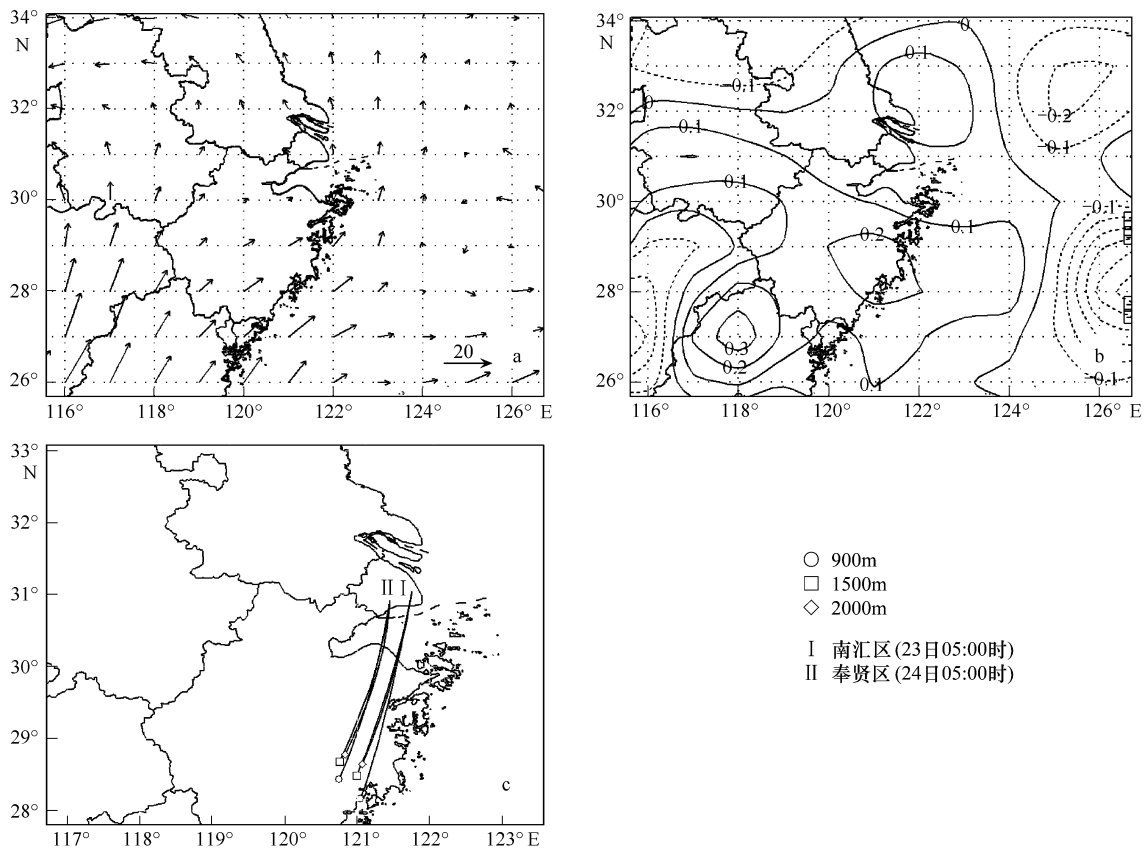


图 4 8 月 22 日 08:00 850hPa 水平风场/(m/s) (a)、垂直速度场/(Pa/s) (b),不同高度上的回推轨迹 (c)

Fig. 4 Horizontal wind field/(m/s) (a), vertical velocity/(Pa/s) (b) on 850 hPa at 08:00 22 Aug, the backward trajectories of BPH by HYSPLIT (c)

2.2.2 8 月 27—31 日降虫高峰

2007 年 8 月全国平均气温(21.5℃)偏高,降水量(110.0mm)较常年同期平均(103.3mm)略偏多。导致我国沿江和长江以北大部分地区温度偏高的主要原因是副热带高压比常年明显偏北偏强,而 8 月份多次降雨原因则各异,在 8 月底,副热带高压开始东退并减弱,中高纬度环流平直,多短波小槽东移,该时段我国中东部地区出现分散性降水。

27—28 日 2d 上海大部地区受副热带高压影响,白天气温较高,天气晴朗,高空有弱下沉气流,850hPa 风场以西南风为主;28 日 02:00 的风场图表明低压中心位于皖苏中部,上海地区处于副高与低压中间,受切变

线江淮气旋影响。850hPa 高度我国东南沿海以西南风为主,但受副高及高低压之间辐合流场的双重影响,上海地区在低空(850hPa 高度以下)以下沉气流为主,中高空以上升气流为主。这种三维流场格局有利于高空虫群降落,从而形成 28 日地面出现褐飞虱灯诱高峰。28 日晚继续受北方南下低压系统影响,云系增多,周边安徽、江西、江苏等省不同地区出现了明显降雨。29 日低压系统东移,安徽南部与浙江中北部气流混杂,气流于上海地区上空相遇形成切变低压槽,上午开始上海市普降大雨,局部地区暴雨。因为处于低压槽前附近,850hPa 上以偏西风为主,垂直气流升降变化剧烈,同时受大范围降雨的影响(图 5),褐飞虱随降水而降落,并在当天夜晚上灯,成为 29 日上灯虫源。低压系统过后,继续受到北方弱冷空气影响,此后两天间歇出现零星的对流性降雨。30 日 20 时 850hPa 流场图显示副热带高压开始东退,上海地区受大陆及入海的气旋低压及副热带高压共同影响,处于三者过渡区,风速较弱但方向变化迅速,垂直下沉气流也很弱,此后两天均处于副高西北侧,850hPa 华东地区以西风为主,可以为鄂、皖虫源的东送降虫提供运载气流。

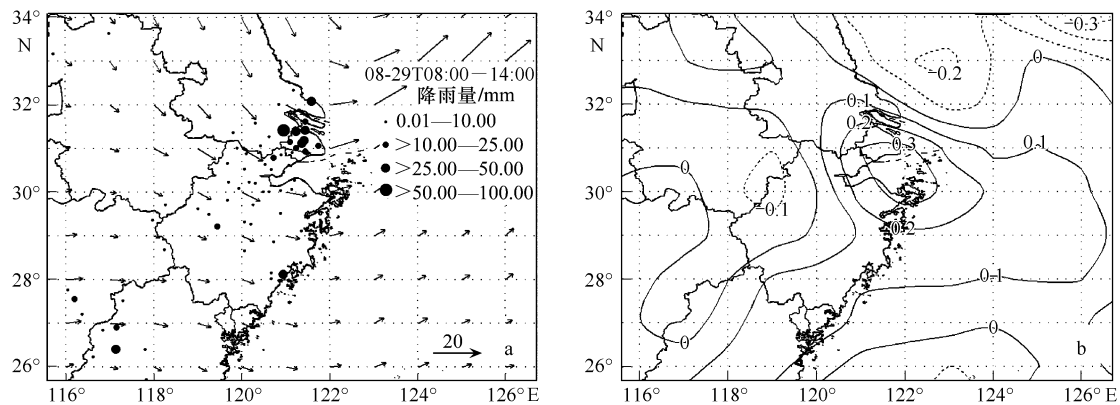


图 5 8月29日8时850hPa水平风场(m/s) (a),垂直速度场(Pa/s) (b)

Fig. 5 Horizontal wind field (m/s) (a) and vertical velocity (Pa/s) (b) on 850hPa at 8:00 29 Aug

影响降虫的因素很多,对此次褐飞虱迁入峰而言,下沉气流和降雨成为影响褐飞虱降落的主要因素。29 日的轨迹回推模拟增加了以降雨最强最广的时刻为降虫起点,特选取 29 日 8 时作为由于降雨影响而降落的时间回推至前一天傍晚起飞时刻。回推结果表明虫源主要来自浙江中北部,安徽东南部以及江苏南部(图 6)。小结各轨迹模拟结果如下:27 日崇明虫源来自安徽南部(图 6a);28 日南汇虫源来自浙江西北部(图 6b);29 日 3 地同时出现了高峰,随雨降落可能性较大,虫源仍为安徽东南部(图 6c);南汇和奉贤 30 日晚上的上灯高峰,随西到西南风运载来自安徽南部和浙江北部(图 6d);31 日同样如此(图 6e)由浙西北附近随西风气流在此降落,此间风速不同,回推的地点有所差异。

2.3 皖南虫源地褐飞虱迁出的对应分析

2.3.1 虫源地虫情资料分析

皖南稻区是长三角地区褐飞虱后期迁入的虫源地之一,其褐飞虱的发生程度与长三角地区褐飞虱发生轻重有密切关系。选取皖南怀宁县为代表,该地过去以双季稻为主而近年来普遍推广双季改单季,目前成为单双季混作稻区。通过系统调查该稻区水稻改制后褐飞虱的发生情况,并与长三角地区相对照,可见两者间的对应关系。

2007 年 7—9 月对怀宁单季早中籼稻田褐飞虱长翅型成虫发生动态的系统调查结果(图 7)表明:7 月份田间褐飞虱百丛虫量较低,8 月份水稻进入孕穗期,食料条件丰富,田间不断孵化出大量的初孵若虫,褐飞虱种群实现突增,8 月中旬田间褐飞虱长翅型成虫开始增多,8 月 17 日为本地褐飞虱羽化高峰盛期,之后田间褐飞虱高龄若虫不断羽化为长翅型成虫,百丛虫量始终在千头以上的高密度状态,8 月下旬起本地单季中稻已经处于灌浆-乳熟期,食料条件恶化,褐飞虱大量迁出,8 月下旬长翅型成虫的田间虫量出现两次显著下降,正对应了上海地区 8 月下旬的两次后期迁入(图 4、图 6)。可见,正是由于以怀宁为代表的单双季混作稻区褐飞

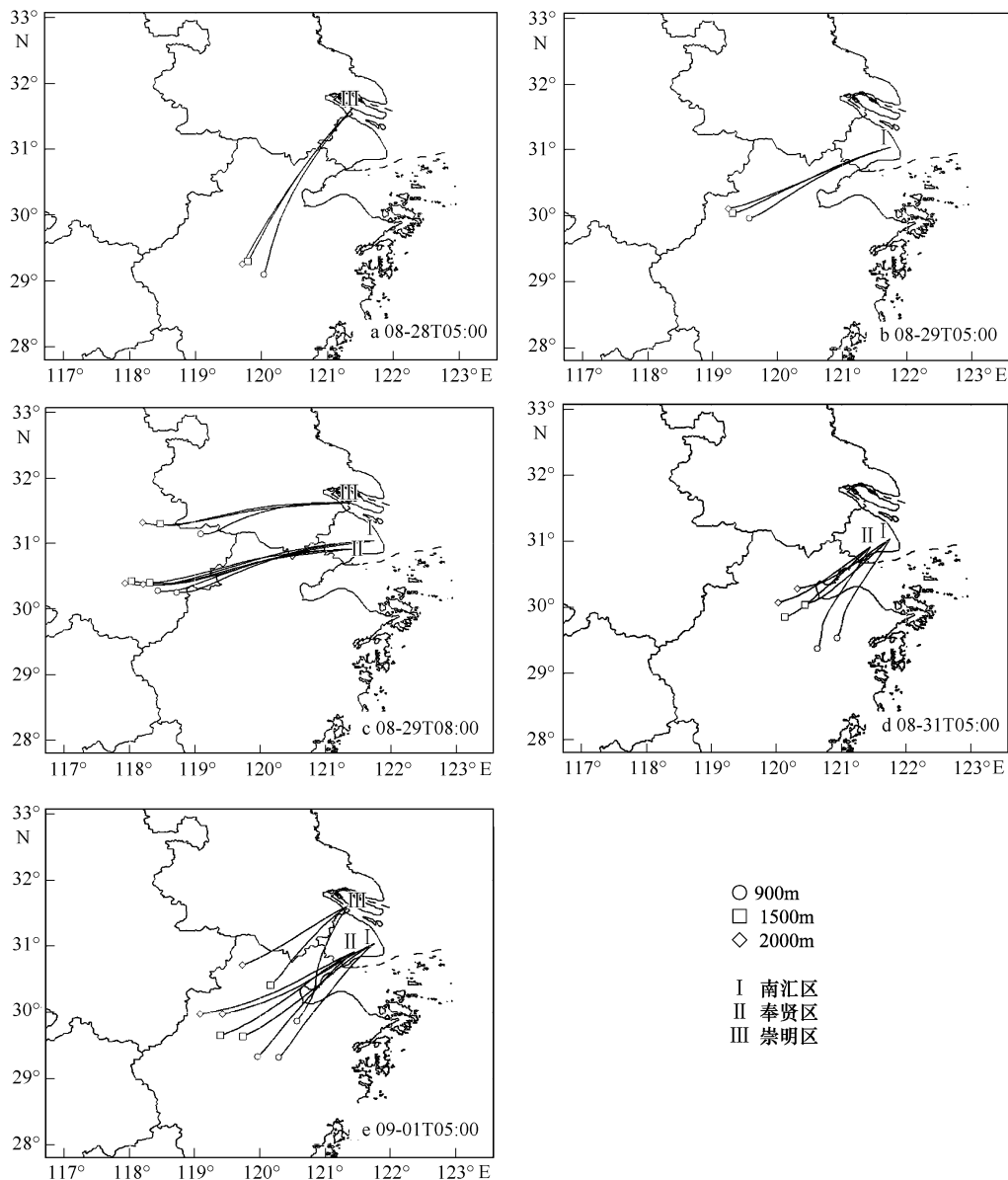


图 6 8 月 27—31 日上海南汇、奉贤、崇明不同高度上的回推轨迹

Fig. 6 The backward trajectories of BPH during 27 to 31 Aug 2007 at different altitudes in Nanhui, Fengxian and Chongming, Shanghai

虱的大量迁出,使田间虫量表现为大幅度下降。

而同期的卵巢解剖结果表明:8 月下旬以怀宁为代表的单双混作稻区内褐飞虱 I 级卵巢占明显优势(图 8), I、II 级未成熟的卵巢平均比例分别占 77.7%、10.6%,而 III 级以上卵巢仅占 10.6%,交配率很低(8.8%),符合大部迁出的种群结构特征,从虫源性质看,完全存在为他地提供虫源的可能。皖南早中稻田中的这种雌虫卵巢发育的结构特征正好与以上长三角地区的上海南汇中晚稻田的雌虫卵巢发育结构形成了鲜明的对照,南汇地区的中晚稻尚处于抽穗期前后,III 级以上卵巢占 80% 以上, I 级仅占 5% 以下,雌虫卵巢发育的结构特征符合的迁入型的虫源性质(图 3)。

2.3.2 顺推轨迹分析

以怀宁 2007 年 8 月下旬的发生高峰日为起点作顺推轨迹分析。8 月底怀宁地区的日落时间为 18:40 左右,顺推轨迹起始时刻设为 19:00。怀宁县顺推轨迹分析表明:在 8 月 28—31 日该地区 900—2000m 高空均以西风为主,褐飞虱随风飞行十几小时后均可到达上海或周边稻区,其中 29 日晚由于低压系统东移,不同高

度气流方向变化明显,但也可为褐飞虱迁出提供气流条件。同时 8 月下旬皖南稻区田间褐飞虱处于长翅型成虫盛发期,可为迁入提供虫源,在此适合的天气条件下,可认为皖南稻区为此次迁入高峰的虫源地之一。

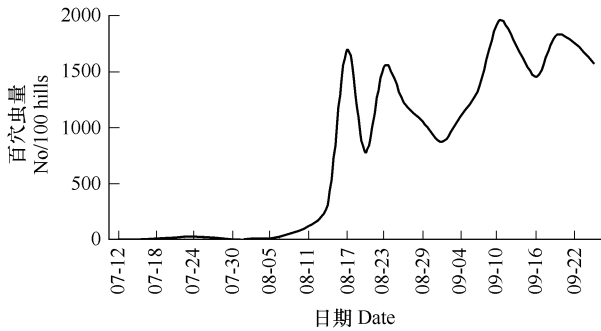


图 7 2007 年怀宁县褐飞虱长翅型成虫消长动态
 Fig. 7 Population dynamics of macropterous adults of BPH adult in Huaining, 2007

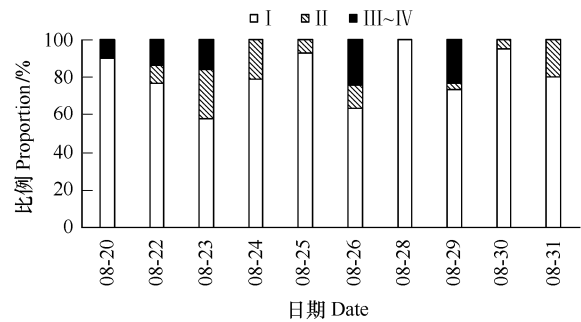


图 8 2007 年怀宁县 8 月 20—31 日褐飞虱逐日卵巢发育进度
 Fig. 8 The daily ovarian development grade of BPH from 20 Aug to 31 Aug, Huaining, 2007

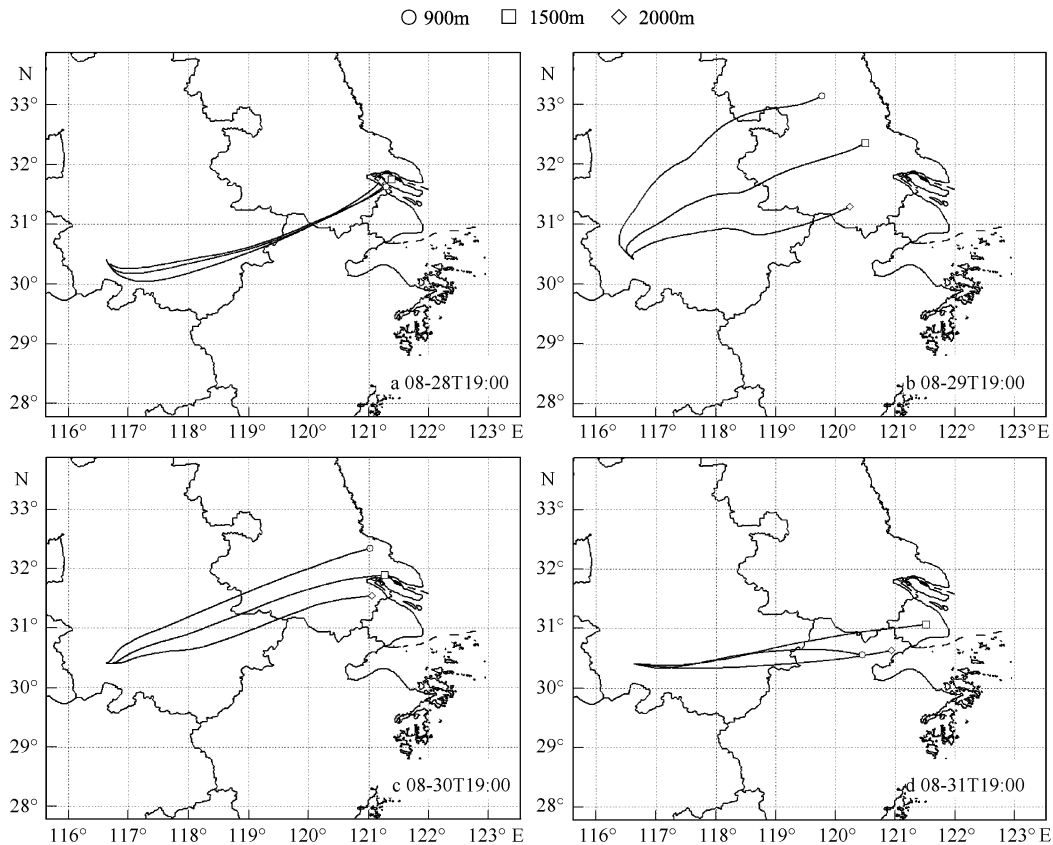


图 9 2007 年怀宁县 8 月 28—31 日迁出种群的顺推轨迹
 Fig. 9 The forward trajectories of emigration population of BPH during 28 Aug to 31 Aug, Huaining, 2007

3 讨论

褐飞虱在长江三角洲地区的后期迁入是最近几年来才引起重视的新问题。后期迁入时水稻已处于抽穗后,而且后期迁入数量一般都要比前期迁入大好多倍,如在 2006 年江苏某些地区的灯诱量一天甚至可达 10 多万头,造成落地成灾的局面,给防治工作的部署带来极大困难,使得防治效果很差,稻谷的污染也相当严重。过去种植双季稻,长江下游 8 月中下旬稻田飞虱种群一般尚处于若虫盛期,长翅型成虫的数量较少,但为什么

近年来长三角稻区会有大量的褐飞虱后期迁入的现象呢?

3.1 水稻种植制度的变革与后期迁入的关系

充足的迁入虫源是所有迁飞昆虫暴发的必要前提,褐飞虱是只危害水稻的单食性昆虫,水稻不同生育期导致稻株内营养状况的变动可直接影响褐飞虱长、短翅型成虫的比例^[20],因此后期迁入的虫源问题应该从迁出区水稻种植制度的改革入手进行讨论。随着稻株抽穗扬花,稻株内含糖量增加,碳氮比改变,长翅型比例逐渐上升,并开始迁出;至水稻黄熟期时因植株衰老,营养恶化,形成了长翅型成虫高峰并大量迁出^[1,20,22]。20 世纪 90 年代以前江南稻区北部包括湖北东部,湖南、江西北部、安徽南部和浙江中、南部等广大地区都以种植双季稻为主,晚稻田栽插时(7 月下旬—8 月上旬)正好避过了褐飞虱的前期迁入,8 月中下旬双季晚稻还处于分蘖到孕穗期,稻田内虫量较低,并以若虫或短翅型成虫为主,不存在大量迁出的长翅型成虫。但自 20 世纪 90 年代后大面积压双扩单,特别种植了不少杂交早中稻,山区更多。仅以安徽南部安庆市的双季改单季情况为例,单季稻面积从 1978 年的 2.76 万 hm^2 上升到 2007 年的 15.63 万 hm^2 ,单季稻所占的比例从 8.5% 上升到 40.5%,其中单季早中稻占 65%—75%,中晚稻占 25%—35%。安庆稻区成为典型的单双季、早中晚稻并存的混作稻区,这种种植制度极有利于两迁害虫的发生危害。特别要指出的是,早中稻在 6 月下旬—7 月下旬已积累了大量经前期(6 月下旬—7 月下旬)迁入后繁殖的虫源。如怀宁 8 月中旬早中稻已开始抽穗,当时百穴虫量已繁殖达 5000—8000 头,且长翅型成虫处于盛发期,开始大量迁出(图 7、图 8);与此同时,当地双晚稻田由于避过了褐飞虱的前期迁入,此时百穴虫量都低于 300 头,双晚田的迁出要到 9 月中旬后,可见早中稻田的虫量要比双晚田高几十倍,迁出高峰也要早一个多月。这种以早中稻替代双季稻的改制正好形成了近年来长江三角洲地区 8 月下到 9 月初后期迁入的虫源地。从该时段上海的回推轨迹分析结果表明,长三角地区后期迁入的虫源地范围可能包括有湖北的东部,湖南、江西北部的少部分,安徽的南部,及浙江的中、南部(图 4、图 6)。

3.2 影响后期迁入数量的因素

如上所述,由于水稻种植制度的改革,虽然江南稻区北部已形成了比较稳定的长三角地区后期迁入的虫源地,但长三角迁入地后期迁入的数量在各年间波动仍很大。以上海南汇地区 2005—2007 年 3a 后期灯诱数量为例,后期迁入高峰期的最高日灯诱量 2006 年为万头级(49800 头),2005 年为千头级(5300 头),而 2007 年仅为百头级(137 头)。究其原因,后期迁入数量还受到迁出区的虫源基数以及迁飞时适宜于大量降落的气象背景条件的影响。

迁出区的虫源基数主要受到当地的气候条件和人为防治水平的双重影响,早在 1979 年浦茂华等就曾指出:长江流域前期迁入后种群的繁殖与当地夏、秋季的气候条件密切相关,“盛夏不热、晚秋不凉”是造成褐飞虱当地种群大发生的关键因素;凡迁出区夏季 7、8 月份日最高气温 $> 35^{\circ}\text{C}$ 的天数比当地常年平均数愈少,则褐飞虱世代的增殖倍数愈大^[23]。因此,夏季气温的差异是造成虫源地不同年份早中稻田种群密度高低的主要自然因素。同时,人为的防治水平也是影响其虫源基数的重要因素,特别是在双改单的改制初期,人们还习惯于双季后作稻中褐飞虱发生量少、迁出迟的规律,而忽略了在早中稻中即使前期迁入不多,但如温度适宜,下代增殖率可激增、迁出早而必须采用“治前控后”防治策略的规律,因此在前几年有些地区大面积的早中稻田褐飞虱的虫群密度达到了大暴发的程度,“冒穿”面积连片,造成了迁出区极高虫源基数的局面。这也可能就是前几年长三角地区后期迁入大暴发的原因之一。相反,2007 年安徽省由于稻纵卷叶螟连续几代大发生,进行了大范围的多次防治工作,防治药剂都混配有扑虱灵,或采用对稻飞虱有兼治作用的毒死蜱、锐劲特等,对稻飞虱有很好的兼控作用,田间残留量一直很小,9 月 5 日前后调查,全省大部分稻区百丛虫量低于 1000 头,为害较轻。因此 2007 年虽仍有迁出至长三角的条件,但因基数低,迁入量就小得多,为后期迁入的轻发生年。

迁入区适宜的气象背景是后期大量迁入的关键条件。褐飞虱的迁飞都是顺风飞行的,因此首先要有 1000—1500m 上空对应于迁入区方向适宜的运载气流。具体对长江三角洲而言,后期迁入的虫源地大多位于

其偏西到西南面方向,部分在偏南面。也可以说如果在 8 月下旬到 9 月上旬 850hPa 偏西或西南水平气流的发生频率高,则后期迁入的机率就可能大,也即发生峰次将多,或持续时期长。但要形成空中虫群的大量集中迁入,在迁入地上空还必须要有一高强的下沉气流或降雨等有利于降落的气象条件。如果下沉气流很弱则便可能分散降落,从而形成迁入峰次少、迁入量小的局面。例如本文分析的上海地区 2007 年后期迁入个例,由于上海 850hPa 上空 8 月下旬到 9 月初西南到偏西方向的水平气流的频率较少,而且下沉气流经常不明显或强度小,迁出区在迁出时多日有雨,影响到迁出的数量。这也可能就是 2007 年后期迁入峰次少,迁入量小的重要原因。

应该指出的是,本文仅根据上海地区 2007 年的后期迁入情况做了个例分析。要探明长江三角洲地区后期迁入的规律,还需要从时间和空间上进行更多的迁入区和迁出区的个例分析,从而全面阐明褐飞虱后期迁入的统计规律。

References:

- [1] Cheng X N, Wu J C, Ma F. Brown Planthopper: Occurrence and Control. Beijing: Chinese Agriculture Press. 2002: 26-36.
- [2] Zhai B P, Cheng J A. Summary of two primary migratory pests of rice proseminal in 2006. Entomological Knowledge, 2006, 43(4): 585-588.
- [3] Cheng X N, Chen R C, Xi X, Yang L M, Zhu Z L, Wu J C, Qian R G, Yang J S. Studies on the migrations of brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål. Acta Entomologica Sinica, 1979, 22(1): 1-21.
- [4] Cheng J A, Zhu Z R. Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze Area, China in 2005. Plant Protection, 2006, 32(4): 1-4.
- [5] Jiang Y P, Li J, Yang Q J, Wang Z G, Gong C G, Shen Y J. The occurrence characteristics of brown planthopper in Shanghai in 2005 and study on its reason. Plant Protection, 2006, 32(4): 96-97.
- [6] National Cooperated Research Group of Brown Planthopper. The occurrence of brown planthopper and its forecast in china. Scientia Agricultura Sinica, 1980, 13(3): 58-64.
- [7] Chen R C, Cheng X N, Yang L M, Yin X D. The ovarian development of the brown planthopper and its relation to migration. Acta Entomologica Sinica, 1979, 22(3): 280-288.
- [8] Rosenberg L J, Magor J I. Flight duration of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). Ecol. Ent., 1983, 8: 341-351.
- [9] Chen R C, Cheng X N. The take-off behavior of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål) and its synchronous relations to the biological rhythm and environmental factors. Journal of Nanjing Agricultural University, 1980, (2): 42-49.
- [10] Akiko Furuno, Masamichi Chino, Akira Otuka, Tomonari Watanabe, Masaya Matsumura, Yoshito Suzuki. Development of a numerical simulation model migration of rice planthoppers. Agricultural and Forest Meteorology, 2005, 133: 197-209.
- [11] Chen R C, Wu J R, Zhu S D, Zhang J X. Flight capacity of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). Acta Entomologica Sinica, 1984, 27(2): 121-127.
- [12] Hu G, Bao Y X, Wang J Q, Zhai B P. Case studies on the landing mechanisms of the brown planthoppers *Nilaparvata Lugens* (Stål). Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5068-5075.
- [13] Deng W X. A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera Delphacidae). Acta Phytophylacica Sinica, 1981, 8(2): 73-81.
- [14] Davis J M, Main C E. Applying atmospheric trajectory analysis to problems in epidemiology. Plant Disease, 1986, 70(6): 496-497.
- [15] Feng C H, Zhai B P, Chen Q H, Tang J Y. Analysis of migration pathways of windborne rice planthoppers by 850hPa winds. Meteorologica Agricultura Sinica, 2003, 24(3): 31-35.
- [16] Feng C H, Zhai B P, Zhang X X, Tang J Y. Immigration of the 1991 outbreak populations of rice planthopper (*Nilaparvata lugens* and *Sogatella fercifera*) into Northern China. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(8): 1302-1314.
- [17] Feng C H, Zhai B P, Zhang X X, Tang J Y. Climatology of low level jet and northward migration of rice planthoppers. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(4): 559-565.
- [18] Zhai B P. Computing the day length for programming insect behavior. Entomological Knowledge, 2004, 41(2): 178-184.
- [19] Tan H Q, Mao R C, Cheng J Y, Yao H F. Relation between landing of brown planthoppers (*Nilaparvata lugens* (Stål)) in long distance migration and vertical air stream and rainfall. Journal of Nanjing Agricultural University, 1984, (2): 18-24.
- [20] Zou Y D, Chen J C, Wang S H. The Relation between nutrient substances in the rice plant and wing dimorphism of the brown planthoppers

(*Nilaparvata lugens* (Stål)). *Acta Entomologica Sinica*, 1982, 25(2): 220-222.

- [21] Zhang X X. The type of insect migration and its physiological & ecological mechanism. *Entomological Knowledge*, 1980, 17(5): 236-239.
- [22] Zhang Z Q. Studies on wing types differentiation of brown planthopper. *Entomological Knowledge*, 1983, 26(3): 260-267.
- [23] Pu M H, Chen J M. The primary research on math forecasting of brown planthopper. *Plant Protection*, 1979, (5): 1-9.

参考文献:

- [1] 程遐年, 吴进才, 马飞. 褐飞虱研究与防治. 北京: 中国农业出版社, 2002: 26-36.
- [2] 翟保平, 程家安. 2006 年水稻两迁害虫研讨会纪要. *昆虫知识*, 2006, 43(4): 585-588.
- [3] 程遐年, 陈若簾, 习学, 杨联民, 朱子龙, 吴进才, 钱仁贵, 杨金生. 稻褐飞虱迁飞规律的研究. *昆虫学报*, 1979, 22(1): 1-21.
- [4] 程家安, 祝增荣. 2005 年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析. *植物保护*, 2006, 32(4): 1-4.
- [5] 蒋耀培, 李军, 杨秋珍, 汪祖国, 龚才根, 沈雁君. 2005 年上海地区稻褐飞虱大发生特点及原因. *植物保护*, 2006, 32(4): 96-97.
- [6] 全国褐飞虱科研协作组. 我国褐飞虱的发生动态及其预测预报. *中国农业科学*, 1980, 13(3): 58-64.
- [7] 陈若簾, 程遐年, 杨联民, 殷向东. 褐飞虱卵巢发育及其与迁飞的关系. *昆虫学报*, 1979, 22(3): 280-288.
- [9] 陈若簾, 程遐年. 褐飞虱起飞行为与自身生物学节律、环境因素同步关系的初步研究. *南京农学院学报*, 1980, (2): 42-49.
- [11] 陈若簾, 吴家荣, 祝树德, 张建新. 褐飞虱的飞翔能力. *昆虫学报*, 1984, 27(2): 121-127.
- [12] 胡高, 包云轩, 王建强, 翟保平. 褐飞虱的降落机制. *生态学报*, 2007, 27(12): 5068-5075.
- [13] 邓望喜. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究. *植物保护学报*, 1981, 8(2): 73-81.
- [15] 封传红, 翟保平, 陈庆华, 汤金仪. 利用 850hPa 气流资料分析稻飞虱迁飞路径. *中国农业气象*, 2003, 24(3): 31-35.
- [16] 封传红, 翟保平, 张孝羲, 汤金仪. 我国北方稻区 1991 年稻飞虱大发生虫源形成. *生态学报*, 2002, 22(8): 1302-1314.
- [17] 封传红, 翟保平, 张孝羲, 汤金仪. 我国低空急流的时空分布与稻飞虱北迁. *生态学报*, 2002, 22(4): 559-565.
- [18] 翟保平. 昆虫行为研究中日长的计算. *昆虫知识*, 2004, 41(2): 178-184.
- [19] 谈涵秋, 毛瑞曾, 程极益, 姚禾芬. 褐飞虱远距离迁飞中的降落和垂直气流、降雨的关系. *南京农学院学报*, 1984, (2): 18-24.
- [20] 邹运鼎, 陈基诚, 王士槐. 稻株营养物质与褐飞虱翅型分化的关系. *昆虫学报*, 1982, 25(2): 220-222.
- [21] 张孝羲. 昆虫迁飞的类型及生理、生态机制. *昆虫知识*, 1980, 17(5): 236-239.
- [22] 张增全. 褐飞虱翅型分化的研究. *昆虫知识*, 1983, 26(3): 260-267.
- [23] 浦茂华, 陈洁明. 褐飞虱发生程度数理预报的初步研究. *植物保护*, 1979, (5): 1-9.