粤北晚稻褐飞虱发生动态*

方 帆[1**] 陈 晓[1] 陈玉托[2] 陆明红[3] 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. 广东省农业有害生物预警防控中心，广州 510500；3. 全国农业技术推广服务中心，北京 100125）

摘 要 **【目的】** 粤北地区是褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)（BPJ）后期回迁重点区域。阐释后期褐飞虱回迁对粤北稻区的影响，可为其预测预报提供依据。**【方法】** 利用轨迹分析平台 HYSPLIT 对 2006—2012 年粤北地区秋季回迁的褐飞虱主要峰次进行轨迹模拟，用气象制图工具 GrADS 分析 2011 年粤北褐飞虱回迁的降落机制，解析粤北地区后期回迁褐飞虱虫源地及其降落机制。**【结论】** （1）粤西北地区主要虫源地分布于湖南南部、福建南部和江西，粤东北地区虫源地主要分布于江西南部、福建南部以及广东东南沿海稻区。其中，地形因素是造成两地虫源差异的主要原因。（2）通过粤北地区 2011 年秋季几个迁入高峰日各气象要素分析结果显示，低空急流能为主降区输入褐飞虱虫源；低层切变线和强降雨过程是造成粤西北褐飞虱大规模降落的主要因素。（3）2011 年粤北晚稻褐飞虱出现两个回迁高峰（8 月下旬至 9 月上旬、9 月下旬至 10 月上旬），随着晚稻进入分蘖抽穗期，良好的食料条件加之两次较大的回迁峰加重了褐飞虱对晚稻的危害。（4）8—9 月份虫源地适宜的温度以及降水条件造成褐飞虱增殖暴发重要气候因素。

关键词 褐飞虱，秋季回迁，降落机制，暴发

Population dynamics of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) in late rice in northern Guangdong

FANG Fan[1**] CHEN Xiao[1] CHEN Yu-Tuo[2] LU Ming-Hong[3] 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. Guangdong Forecasting and Control Center of Agricultural Pests, Guangzhou 510500, China; 3. National Agricultural Technical Extension and Service Center, Beijing 100125, China)

Abstract **[Objectives]** Northern Guangdong is one of the most important autumn migration areas of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH).Understanding the factors influencing the autumn immigration of the BPH inlate rice fields in northern Guangdong will therefore provide useful information for forecasting outbreaks of this pest. [**Methods**] The source areas of the autumn migration of the BPH were studied by trajectory analysis based on daily light-trap catches from 2006 to 2012. We used NCEP-NCAR to reanalyze data with GrADS to identify key climatic factors affecting the migration of the BPH in autumn 2011. **[Conclusion]** (1) The source areas of BPHs in northwestern Guangdong were mainly southern Hunan, southern Fujian and Jiangxi. However, the source areas of BPHs in northeastern Guangdong were southern Fujian, southern Jiangxi and eastern Guangdong. The difference in the source populations of these two parts of Guangdong is due to terrain. (2) Factors affecting the migration of the BPH in autumn 2011 were analyzed by GrADS. The results show that the low level jet-stream carried BPHs to the south, and that wind shear and heavy rainfall were key factors affecting the concentrated landing of BPHs. (3) The two autumn migration peaks from central and east-central China to northern Guangdong in 2011 occurred in late August and early September, and in late September and early October. Rice plants are vulnerable to this pest from the tillering to the heading stage; the autumn migration peak aggravated the damage to late rice

* 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：422208479@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

crops. (4) Suitable temperature and rainfall in source areas in the autumn of 2011 were key factors responsible for the increased reproduction of BPH.

Key words　brown planthopper, autumn migration, landing mechanism, out-break

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH)是水稻的重要害虫之一（程遐年等，2002）。因其具有远距离迁飞习性（Kisimoto, 1976；程遐年等，1979），每年周期性的往返迁飞为害给我国水稻生产带来了巨大损失，由于我国幅员辽阔，不同地区之间水稻种植制度的不同给稻飞虱预测预报带来了很大的难度。虽然 20 世纪 90 年代以来，褐飞虱危害有减轻趋势，但是 2005 年和 2006 年褐飞虱再度暴发成灾引起大面积枯杆倒伏的事实，警醒我们对褐飞虱的防控不可松懈（程家安等，2005）。广东主要作物是双季早晚稻，影响晚稻产量的褐飞虱以自北向南回迁为主（黄俊等，2013）。20 世纪 90 年代，广东省的农业专家收集全省稻飞虱监测资料，综合分析稻飞虱发生为害的时空分布特点及其与生态环境的关系，作出早、晚稻稻飞虱发生区划。其中以粤北晚稻上褐飞虱为害最为严重（包华理等，1996）。

近年来，广东稻飞虱危害面积不断扩大，尤其是 2008 以来，年发生面积达 200 万 hm^2 以上，造成稻谷的损失每年达十几吨，且以广东省晚稻危害较为严重。以粤西北三地（曲江、翁源、南雄）2011 年 8 月下旬至 10 月中旬为例，粤西北地区出现几次大的褐飞虱迁入高峰。其中，8 月底至 9 月上旬连续出现几次大规模的迁入峰，如翁源 9 月 1 日当晚出现 1 万头以上的褐飞虱上灯峰，曲江 9 月 2 号当晚的灯诱虫量达到 756 头。同时，翁源地区 9 月中下旬也出现几次较大迁入峰，灯诱虫量都在千头以下。到 10 月上中旬，粤西北三地同时出现几次大的迁入峰，其中翁源 10 月 12 日出现 9 480 头褐飞虱上灯峰，10 月 6—15 日累计诱虫达到 32 411 头；曲江和南雄两县 10 日至 15 日也出现上百头的褐飞虱上灯峰（图 1：A）。此外，通过粤西北三地（翁源缺少田间数据）田间褐飞虱种群调查表明，田间虫量出现两次高峰，8 月底至 9 月上旬曲江南雄两地虫口密度在百丛 500~1 500 头之间；9 月下旬至 10 月中旬，曲江地区虫口密度在百丛 2 000~4 500 头之间，南雄田间虫口密度也在百丛 200 头左右（图 1：B）。

研究 2011 年粤北晚稻褐飞虱飞虱的田间发生动态，提取相关信息对稻飞虱预测预报工作具有十分重要的应用价值。所以，就这需要我们分析田间虫量变化与灯诱变化存在某些关系。同时，通过寻找褐飞虱迁入种群可能的虫源地、分析稻飞虱降虫机制，为开展稻飞虱异地预测和源头治理提供理论依据。为此，本文以粤北 6 个站点（曲江、翁源、南雄、揭西、紫金、梅县）为个例，利用 GrADS 做大气流场以及降雨等气象要素分析，借助 NOAA 的 HYSPLIT 平台做迁飞轨迹分析，旨在明确粤北回迁褐飞虱可能的虫源地及其降落机制，了解后期回迁过程对田间褐飞虱种群影响，以期为粤北褐飞虱迁入的预报预测提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　虫情与气象资料来源

虫情资料：广东省粤北（曲江、翁源、南雄、梅县、揭西、紫金）褐飞虱的逐日灯诱数据资料，来自全国农技推广中心的农作物重大病虫害数字化监测预警系统，包括 2006—2012 年广东省粤北 6 地的 6 年的褐飞虱逐日的灯诱数据。

气象数据：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°×1°)。部分降雨资料和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，包括逐日降水资料和月平均气温资料（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 历年的全球 FNL 格点数据中 900 hPa 的水平流

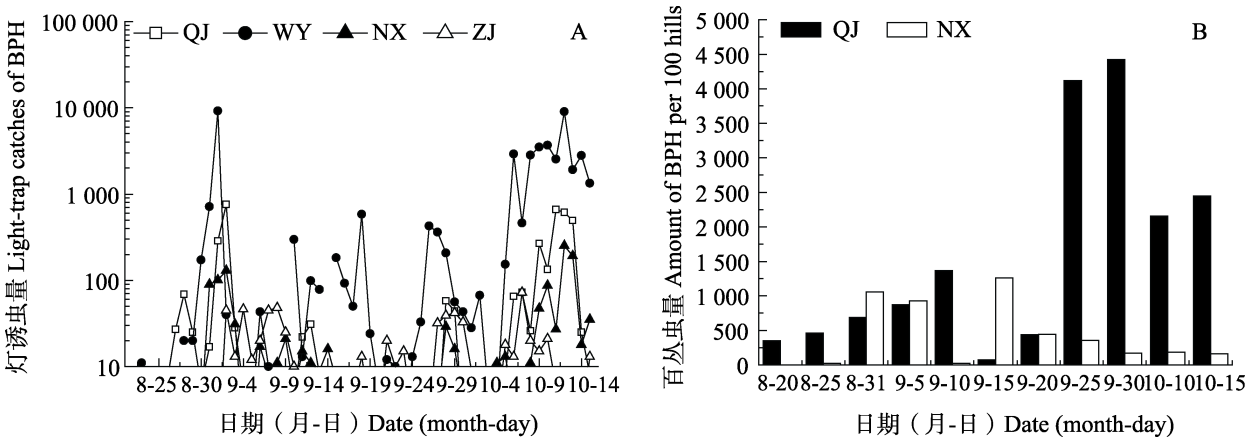

图 1　2011 年 8 月下旬至 10 月中旬粤西北褐飞虱上灯量（A）以及田间种群动态（B）

Fig. 1　Light-trap catches (A) and field populations of *Nilaparvata lugens* in northwestern Guangdong in 2011 autumn

QJ：曲江；WY：翁源；NX：南雄；ZJ：紫金。QJ：Qujiang; WY：Wengyuan; NX：Nanxiong; ZJ：Zijin.

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。

1.2　轨迹分析与参数设置

轨迹分析是通过美国国家海洋和大气管理局研发的大气质点轨迹分析平台 HYSPLIT（http://ready.arl.noaa.gov/index.php）。

参数设置：(1) 褐飞虱是顺风迁移的，褐飞虱在日出前日落后 1 h 内起飞，且以日落后 1 h 内为主，占 90%以上（Riley *et al.*，1991，1994；Furuno *et al.*，2005）；(2) 褐飞虱的迁飞高度根据季节和各高度层温度的不同而设置，褐飞虱的室内飞行的低温阈值为（13.2±0.3）℃（陈若篪等，1984），秋季适宜迁飞高度为 500~1 000m（邓望喜等，1981）；(3) 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，秋季日出日落时刻分别为 6:00、18:00，分别回推 12，24，36 h 至前一日的 18:00，6:00 以及前两日的 18:00，轨迹分析的飞行时间最长取 30 h（Rosenberg and Magor 1983，1987）。(4) 褐飞虱迁飞高度：8 月下旬到 9 月中旬回推轨迹起始高度分别为 800、1 000 和 1 200 m，9 月下旬以后回推轨迹高度分别为 600，800 和 1 000 m；(5) 有效轨迹的判定：轨迹终止点的时间必须符合褐飞虱的起飞节律（翟保平，2004），同时回推轨迹终端地必须有适宜生育期水稻且存在大量长翅型褐飞虱（陈若篪和程遐年，1980；张孝羲，1980）。

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 与地图迭加显示。

1.3　虫源地概率分布

利用 Visual Foxpro、ArcGIS 软件将虫源地落点按 1°×1°范围进行计数，以不同颜色梯度表示该地理范围数量多少，颜色越深，表示该区内有效落点越多，来自该地区的褐飞虱虫源概率越大。

1.4　迁入高峰日的选择

以灯下诱虫量突增作为分析一次迁入过程的起始日期，根据灯诱结果，灯诱虫量较前一天明显增多，或灯诱虫量与前一天突增日相比无明显减少并在随后 1~3 日有虫量明显下降的也归为高峰日。

2　结果与分析

2.1　粤北各站点褐飞虱 8 月下旬—10 月回迁虫源地分析

对 2006—2012 年粤北 6 个站点灯诱高峰日

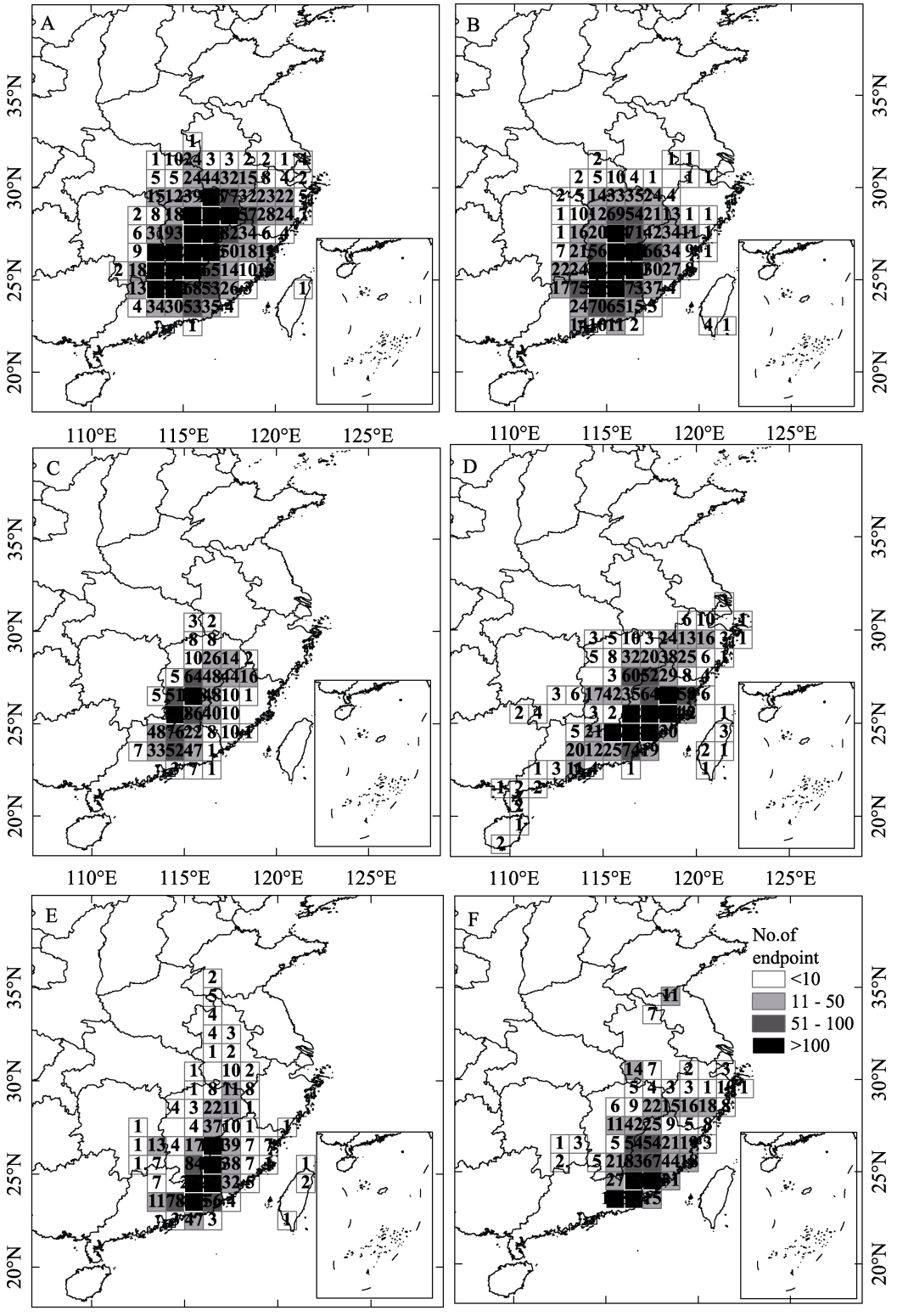

图 2　2006—2012 年 8 月下旬至 10 月中旬粤北各站点褐飞虱虫源地分布

Fig. 2　The distribution of source areas of immigrant BPH in northern Guangdong in autumn (2006-2012)

A: 曲江；B: 翁源；C: 南雄；D: 梅县；E: 紫金；F: 揭西。

A: Qujiang; B: Wengyuan; C: Nanxiong; D: Meixian; E: Zijin; F: Jiexi.

的回推轨迹分析结果表明，曲江 8 月下旬—10 下旬月的回迁褐飞虱的虫源地主要分布于江西、湖南南部、福建西部和粤北附近稻区（图 2：A）；翁源 8 月下旬—10 下旬的回迁褐飞虱的虫源地主要分布于江西全境、福建西南部和广东北部稻区（图 2：B）；南雄 8 月下旬—9 月的回迁褐飞虱的虫源地主要分布于江西南部和中部、福建西部和广东北部（图 2：C）；梅县 8 月下旬—10 月下旬的回迁褐飞虱的虫源地主要分布于福建境内、江西东部、浙江西部和粤东北附近稻区（图 2：D）；紫金 8 月下旬—10 月下旬的回迁褐飞虱的虫源地主要分布于福建南部和中部、江西东部和广东东北部附近稻区（图 2：E）；揭西 8 月下旬—10 月下旬的回迁褐飞虱的虫源地主要分布于福建境内、江西东部和广东东北部（图 2：F）；

2.2 2011 年粤北晚稻迁入个例分析

粤北稻区位于北纬 24 ° 线附近，通过观察 2008—2014 年粤北各站点晚稻褐飞虱的灯诱数据发现，粤北褐飞虱的灯诱高峰日主要集中在 8 月下旬至 9 月初、以及 9 月下旬至 10 月上中旬。此外，多年灯诱数据对比发现，以 2011 年褐飞虱灯诱虫量最多。其中，9 月 1 日和 10 月 12 日单日灯诱虫量分别为 1 796 头和 1 792 头（图 3：A）。2008—2014 年粤北各站点晚稻褐飞虱的田间种群数量对比数据发现，2011 年褐飞虱田间虫量最多，明显高于其他年份，10 月 15 日田间虫量最高达到百丛 4 371 头（图 3：B）。

2011 年曲江晚稻出现多次褐飞虱灯诱高峰，高峰日主要集中在 8 月底至 9 月上旬和 9 月底至 10 月上旬两个时期（图 1）。前期（8 月底至 9 月上旬）粤北晚稻正处于分蘖至拔节期，且北方附近稻区中稻收割带来大量回迁虫源，使得褐飞虱田间虫量突增，最高达到百丛 1 365 头；晚稻进入分蘖盛期后，田间低龄若虫大量孵化，田间短翅型成虫增多，褐飞虱田间虫量激增，9 月底田间调查显示观测田百丛虫量达到 4 421 头。观察该时期田间长翅型虫量激增，9 月初达到 340 头/百丛，因此判断为褐飞虱迁入峰。之后随着田间晚稻进入乳熟至黄熟期（9 月底至 10 月上旬），食料条件恶化。田间褐飞虱虫态以低龄若虫为主，但是后期出现的灯诱高峰，加之田间长翅型虫量激增，因此判断这一时期也为褐飞虱迁入峰。褐飞虱的后期迁入，以及一定数量的田间短翅型褐飞虱的存在（约 100 头/百丛），导致田间虫量维持在百丛 2 000 头左右（图 4：A）。

2011 年紫金晚稻褐飞虱的灯诱高峰集中在 9 月上旬和 9 月底至 10 月上旬（图 1）。前期百丛虫量持续增加，到 9 月初最高达到百丛 5 000 头左右；此时田间长翅型虫量激增，9 月初达到

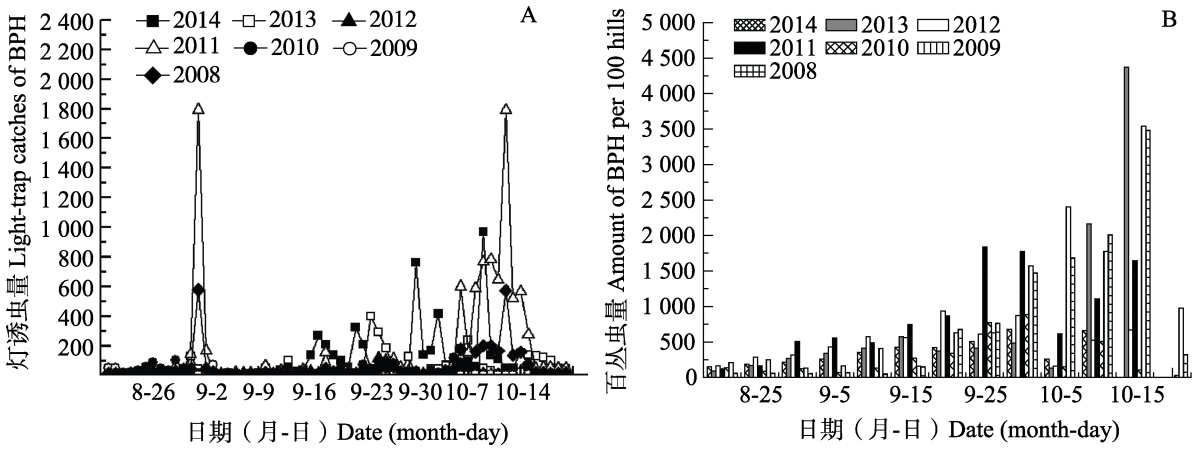

图 3 2008—2014 年秋季粤北褐飞虱灯诱虫量（A）和田间种群动态（B）

Fig. 3 Light-trap catches (A) and autumn population dynamics (B) of BPH in northern Guangdong (2008-2014)

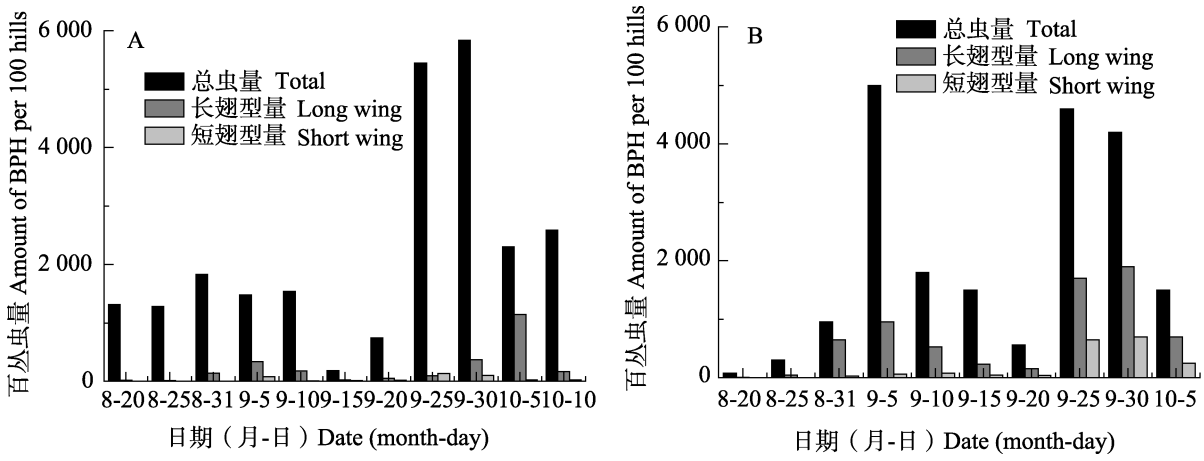

图 4　2011 年秋季曲江（A）和紫金（B）褐飞虱种群田间动态

Fig. 4　Daily fluctuation of BPH in paddy fields in Qujian (A) and Zijin (B), Guangdong in autumn of 2011

950 头/百丛，因此判断为褐飞虱迁入峰。随着水稻进入分蘖盛期，田间褐飞虱低龄若虫大量孵化，短翅型成虫增多，9 月下旬田间虫量最高达到百丛 4 600 头。9 月底田间长翅型虫量突增与褐飞虱出现灯诱高峰关系密切，田间长翅型虫量最高达到 1 900 头/百丛，为褐飞虱迁入峰。之后随着水稻进入乳熟期至黄熟期后，田间褐飞虱短翅型虫量下降，褐飞虱田间种群数量迅速降低。（图 4：B）。

2.3　2011 年粤北褐飞虱迁入的气象背景

取粤北地区曲江、翁源、南雄 3 个站点 2011 年 9 月 1 日—2 日和 10 月 12—13 日褐飞虱回迁高峰日做个例分析。从 900 hPa 水平风场可知，受台风“南玛都”外围影响（曹越南，2011），9 月 1 日 20:00 曲江、翁源、南雄三地上空 900 hPa 高空盛行东北风，而闽南、赣南及粤东的虫源随东南风进入粤北（图 5：A）；9 月 2 日，随着台风中心逐渐南移，粤北三地上空 900 hPa 盛行东风和东南风，使得福建沿海褐飞虱西迁进入粤北（图 5：B）；受台风减弱后低压环流的影响，江南南部、华南大部分出现持续性降雨过程，粤北三地 9 月 1—2 日 24 h 累计降雨量在 10~50 mm（图 6：A，B），达到到大雨的水平，出现褐飞虱降虫高峰。10 月 12 日 20:00，低空急流出现在广东东南洋面上并直达湘中，急流中心风速达到 18 m/s；粤北三地处于切变线南侧，广东东部沿海稻区褐飞虱随低空急流向粤北稻区迁飞（图 5：C）；10 月 13 日，切变线南压至粤北三地上空形成反气旋切变区，暖湿气流和冷气团在此交汇，江西、湖南和粤东的虫源也集聚于此（图 5：D）。而在高空槽和冷空气南下共同影响以及低层切变线和低空急流的配合下，华南东部和江南部分地区出现强降雨天气：12 日三地 24 h 累计降雨量在 25~50 mm（图 6：C），13 日三地 24 h 累计降雨量在大于 50 mm（图 6：D），空中褐飞虱遇强降水而集中降落。风场切变、高空低槽引导地面冷空气南下、低层切变线南移带来的强降雨过程是形成粤北稻区褐飞虱上灯高峰的主要天气因素。

2.4　2011 年粤北褐飞虱虫源形成的气候背景

2011 年粤北晚稻上出现两次褐飞虱迁入高峰，灯诱虫量较大。轨迹回推显示，褐飞虱飞行 30 h 内的落点基本落在湖南、江西、福建部分稻区（图略）。根据三省份部分站点的褐飞虱田间平均百丛虫量可知（表 1），2011 年 8—9 月间湖南、江西、福建稻区的褐飞虱数量大多高于常年平均虫量。是什么原因引致了 8 月和 9 月湖南、江西、福建三地褐飞虱秋季种群的增殖？

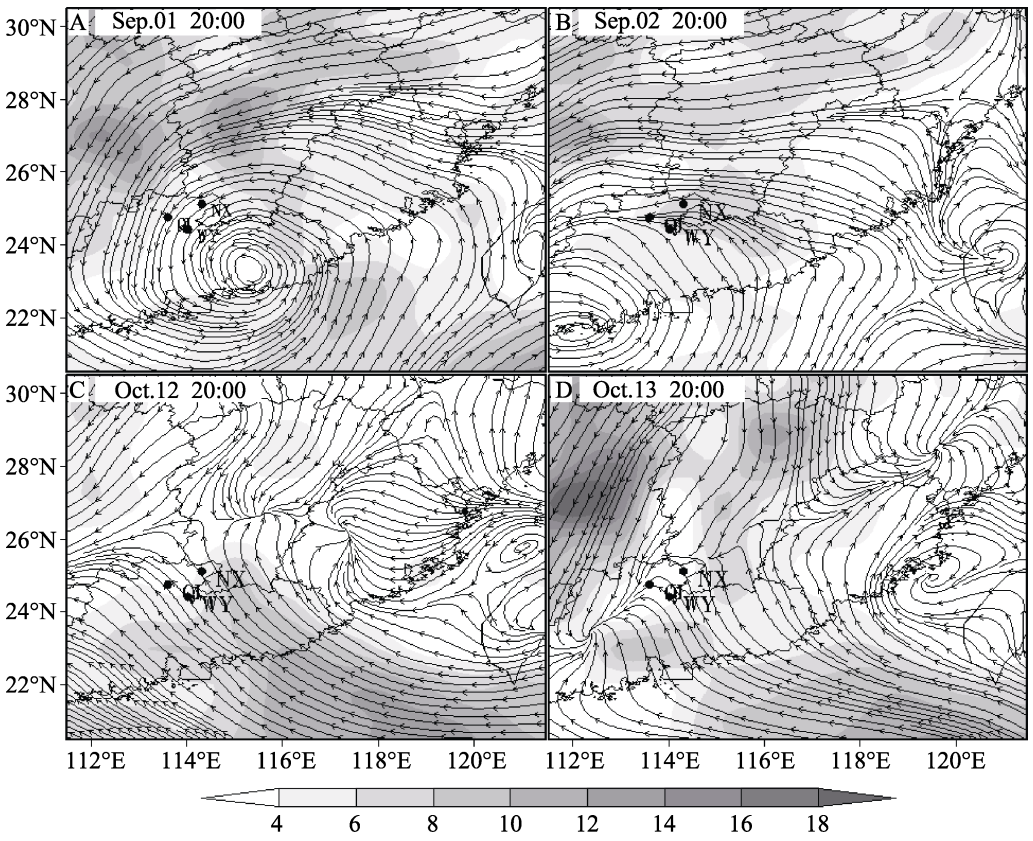

图 5 曲江、翁源、南雄 4 日 900 hPa 水平流场与风速

Fig. 5 Wind fields at 20:00 on 900 hPa in northwestern Guangdong in autumn of 2011

表 1 2011 年 8—9 月湖南、江西、福建部分站点褐飞虱田间虫量

Table 1 The population density of BPH in Hunan, Jiangxi and Fujian in August and September of 2011

省份 Provinces	百丛平均虫量 Average amount of BPH per 100 hills					
	8 月上旬 Aug. Ⅰ	8 月中旬 Aug. Ⅱ	8 月下旬 Aug. Ⅲ	9 月上旬 Sep. Ⅰ	9 月中旬 Sep. Ⅱ	9 月下旬 Sep. Ⅲ
江西 Jiangxi	224	787	2 883	3 152	3 435	8 728
虫量百分率距平 Amount anormaly±%	- 53.24	+43.46	+28.44	+23.25	+37.23	+122.48
湖南 Hunan	4 382	9 104	16 857	12 750	17 116	9 969
虫量百分率距平 Amount anormaly±%	- 20.15	+37.29	+142.62	+59.47	+45.11	+6.63
福建 Fujian	39	61	312	840	7 775	7 067
虫量百分率距平 Amount anormaly±%	+35.05	+74.26	+61.39	+71.33	-6.9	+38.82

Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ means the first, second and third ten days of the month. The same below.

温度是稻飞虱种群生存繁殖的主要控制因素。褐飞虱生存繁殖的最适温度为 26~28℃。2011 年粤北出现的两个较大的迁入峰集中在 8 月底至 9 月初及 9 月下旬至 10 月上中旬。分析虫源地湖南、江西和福建地区平均温度可知（表 2，图 8），3 个地区 8 月份平均温度都未超过 30℃（除了湖南 8 月中旬 30.1℃），8 月份平均温度都比常年温度低 1℃至 2℃。而 9 月上中旬平均温度都集中在 24~27℃之间，平均温度都比常年温度高 1℃左右。是典型的“盛夏不热、晚秋不

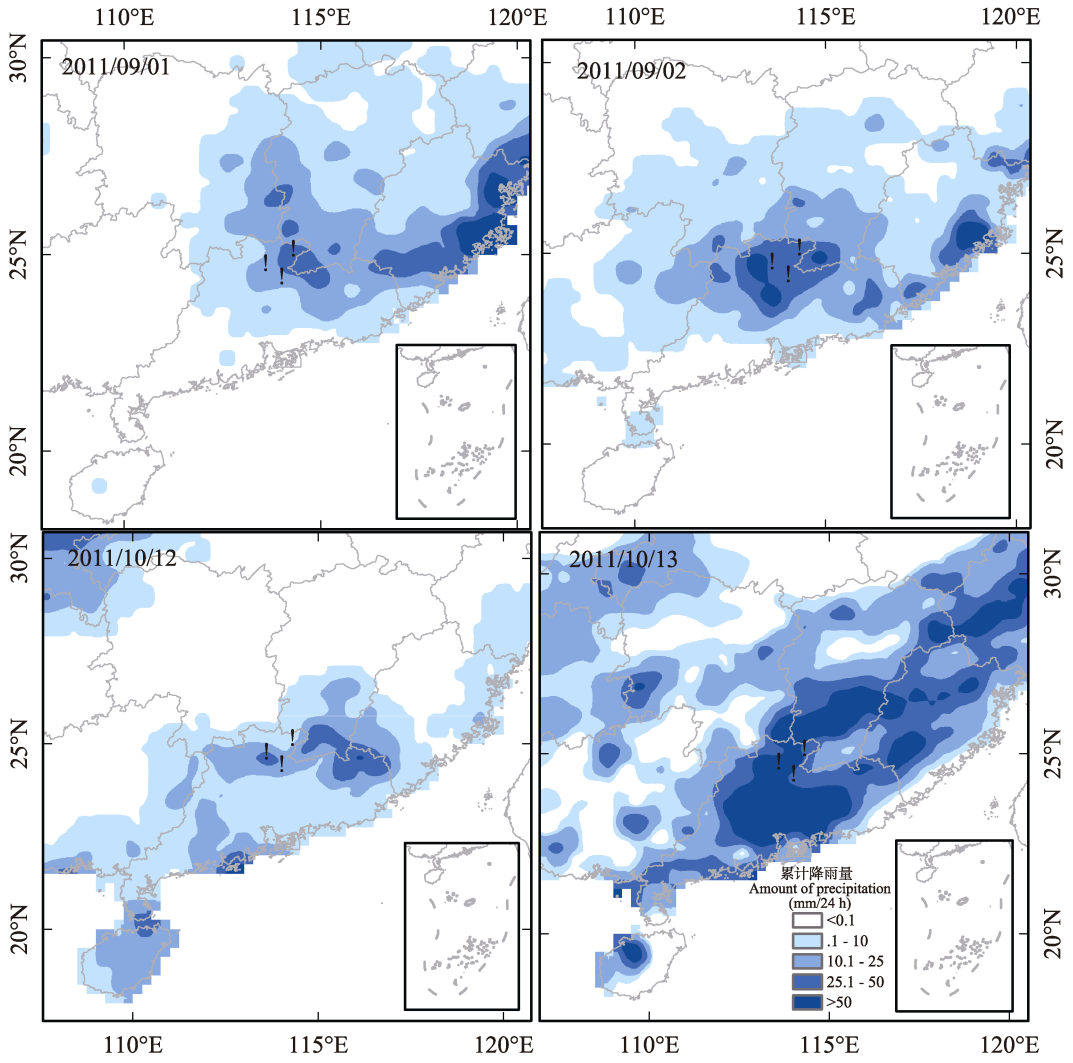

图 6　2011 年 9 月初和 10 月中旬两次褐飞虱迁入过程中曲江、翁源、南雄 24 h 降雨分布

Fig. 6　The rainfall distribution during two immigrant events in northern Guangdong in autumn of 2011

表 2　2011 年 8—9 月湖南、江西、福建部分站点的旬平均温度

Table 2　The average temperature in Hunan, Jiangxi and Fujian in August and September of 2011

省份 Provinces	平均温度 Average temperature (℃)					
	8 月上旬 Aug. Ⅰ	8 月中旬 Aug. Ⅱ	8 月下旬 Aug.Ⅲ	9 月上旬 Sep. Ⅰ	9 月中旬 Sep. Ⅱ	9 月下旬 Sep.Ⅲ
江西 Jiangxi	28.6	29.5	26.6	27.1	26.3	22.5
湖南 Hunan	26.1	30.1	25.9	25.6	24.3	21.8
福建 Fujian	28.7	28.9	26.6	27.1	26.6	23.6

凉”的气候条件，十分有利于当地褐飞虱的繁殖，也为褐飞虱回迁粤北提供了大量虫源。

降雨也是稻飞虱种群生存繁殖的主要因素之一。分析虫源地江西、福建和湖南部分站点的旬平均雨量（表 3），表明江西、福建和湖南三省 8 月和 9 月的平均降水量分别为 354 mm、493 mm；252 mm、454 mm；370mm、497 mm。其中，三地 8 月上旬、8 月下旬以及 9 月下旬降雨量分别高于常年平均值。这种凉夏暖秋加多雨的气候背景，也为褐飞虱种群增殖提供了有利的食料和环境条件。

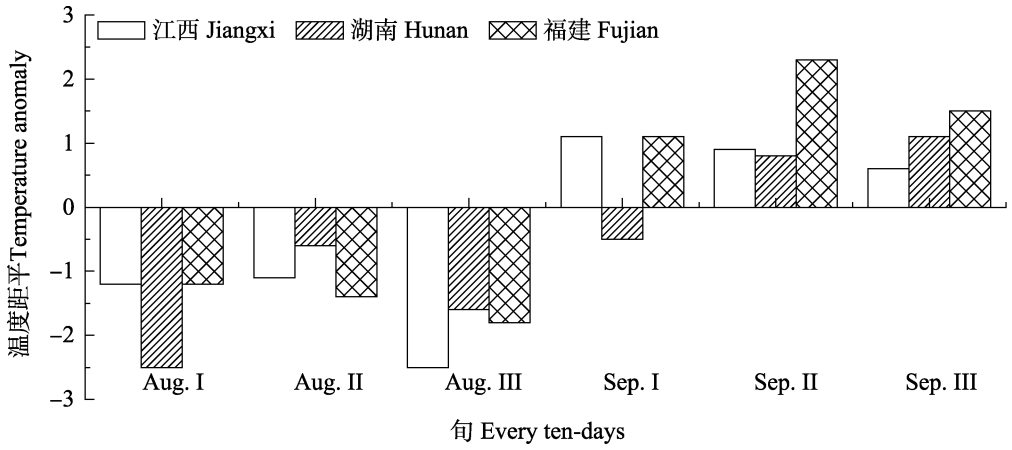

图 7　2011 年 8—9 月湖南、江西、福建部分站点旬温度距平（2004—2014 年平均）
Fig. 7　The every 10 days temperature anomaly (2004-2014) in Hunan, Jiangxi and Fujian in August and September of 2011

表 3　2011 年 8—9 月湖南、江西、福建部分站点的旬平均降雨量
Table 3　The average precipitation in Hunan, Jiangxi and Fujian in August and September of 2011

省份 Provinces	平均降水量 Average precipitation (mm)					
	8 月上旬 Aug. Ⅰ	8 月中旬 Aug. Ⅱ	8 月下旬 Aug.Ⅲ	9 月上旬 Sep. Ⅰ	9 月中旬 Sep. Ⅱ	9 月下旬 Sep.Ⅲ
江西 Jiangxi	395	204	462	406	455	617
降雨量百分率距平 Rain anormaly±%	+8.2	− 19.6	+24.1	+17.7	+26.4	+100
湖南 Hunan	378	188	391	238	188	935
降雨量百分率距平 Rain anormaly±%	+10.1	− 32.1	+22.5	− 53.8	− 61.6	+148
福建 Fujian	441	219	449	442	492	547
降雨量百分率距平 Rain anormaly±%	+3.5	− 58.8	+27.6	+18.2	+69	+31.7

3　结论与讨论

水稻是广东省第一大粮食作物，播种面积占粮食总播种面积的 80%左右，而双季稻总产量占全省粮食作物总产量的 80%以上。秋季随着气温的逐渐下降，褐飞虱随偏北气流逐渐由南向北回迁，并向着中南半岛方向迁出本省（朱绍先等，1979）。本研究对 2006—2012 年 8 月下旬—10 月下旬粤北 6 个站点灯诱高峰日进行轨迹回推分析结果显示，粤西北的回迁虫源主要分布于江西、湖南南部、福建南部以及粤北附近稻区，部分虫源来自安徽南部、浙江南部、湖北东南、湖南东部、福建西部以及广东北部沿海稻区；粤东北的回迁虫源分布与粤西北存在一定的差异，其虫源主要分布于江西东部、福建全境以及粤东沿海稻区，部分分布于安徽南部、浙江南部、湖北东南、湖南南部、江西北部以及福建西部稻区。其中，地形因素被认为是造成粤西北和粤东北虫源差异的主要原因，曲江、翁源、南雄站点处于粤北南岭以南的丘陵盆地，而梅县、紫金、揭西处于粤东北丘陵盆地。根据包华理等（1996）的研究认为，9 月份以后受偏北气流影响粤东北站点（梅县、紫金、揭西）虫源主要从九连山南麓缺口迁入降落，而粤西北站点（曲江、翁源、南雄）虫源主要由南岭山隘进入，主降于北江谷地。此外，由于受莲花山和九莲山阻挡，使得粤西北

地区受偏东气流影响的强度减弱，不利于粤东稻区褐飞虱西进粤北，也是造成粤东北和粤西北虫源差异的重要因素。

褐飞虱的地域性大规模的降落的形成有三个必要的条件：1. 虫源地有大量起飞种群；2. 有运载气流将迁飞种群输送到降虫区；3. 有特定的天气过程、天气系统或其它条件迫使迁飞种群在降虫区集中降落（胡高等，2007）。其中低空急流就对褐飞虱的迁飞产生重要的影响，这种影响主要体现在对虫源的输送和降虫上（江广恒等，1982；包云轩等，2009）。沈慧梅（2011）等对 2007 年白背飞虱迁入虫源的个例研究就阐述了由于早期雨带位置稳定造成的持续性的降雨是形成福建白背飞虱大规模集中降落的直接原因。本研究结果表明，粤西北地区 9 月初、10 月中旬强降雨是造成褐飞虱迫降的主要因素，东南风低空急流与南下冷空气形成的低层风向切变也是造成褐飞虱集中降落粤西北的重要因素。

通过 2011 年粤北（曲江、紫金）站点晚稻田间调查结果显示，粤北晚稻存在两个褐飞虱迁入高峰，分别出现在 8 月下旬至 9 月上旬和 9 月下旬至 10 月上旬。前期主要是由于单季中稻田收割，使得大量褐飞虱转移到双季晚稻。同时，前期褐飞虱迁入加大了粤北双季晚稻田虫源基数。晚稻进入分蘖盛期，为褐飞虱提供了充足的食料条件和适宜的繁殖场所，再加之后期褐飞虱大量回迁，使得 9 月下旬至 10 月上旬褐飞虱的田间种群迅速增加，田间短翅型虫量激增，从而进一步加重了晚稻褐飞虱的危害。

褐飞虱是为害水稻的单食性昆虫，因此迁出虫源地是否具有充足虫源是导致迁入暴发的重要因素。水稻不同生育期影响田间褐飞虱长翅型、短翅型成虫比例；由于水稻进入黄熟期因营养恶化，形成长翅型成虫高峰并大量迁出（邹运鼎等，1982）。根据全国农技推广中心数据显示，2011 年江西晚稻的种植面积为 159.60 万 hm^2，单季中稻面积 37.60 万 hm^2；湖南晚稻的种植面积为 189.13 万 hm^2，单季中稻面积 69.33 万 hm^2；广东晚稻的种植面积为 103.33 万 hm^2，单季中稻面积 1.33 万 hm^2；福建晚稻的种植面积为 20.53 万 hm^2，单季中稻面积 46.33 万 hm^2。9 月上旬、10 月上旬四省中稻、晚稻处于蜡熟期，后期食料恶化，加之合适的偏北气流运输，从而造成褐飞虱大量向南回迁。此外，适宜的气候条件也是导致褐飞虱大暴发的重要因素。研究表明，“凉夏暖秋”是褐飞虱灾变的重要因素（Hu *et al.*，2011）。通过对 2011 年粤北褐飞虱虫源地湖南、江西、福建部分站点气象气候分析，8—9 月份适宜的温度和降水，形成了有利于褐飞虱增殖暴发的“盛夏不热、晚秋不凉、夏秋多雨”的气候条件。

本研究初步阐明了粤北回迁褐飞虱的虫源地分布情况以及其降落机制，明确了褐飞虱后期回迁对双季晚稻田间种群的影响，为基层植保站进行褐飞虱发生预测提供了的必要的技术支撑。

致谢：全国农业技术推广服务中心和广东省植保站提供虫情数据，国家气象信息中心提供国内地面气候资料，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, Xie J, Xiang Y, Xu XY, Liu Y, 2009. Influence of Low-level Jets on the great events of BPH's migration northward in China. *Acta ecologica Sinica*, 29(11): 5773–5782. [包云轩, 谢杰, 向勇, 徐希燕, 刘宇, 2009. 低空急流对中国褐飞虱重大北迁过程的影响. 生态学报, 29(11): 5773–5782.]

Bao HL, Chen ZC, Yang LM, Chen HY, Lai ZR, Zhou SF, Huang JM, 1996. The control strategies and occurrance regionalizations of planthopper in Guangdong Province. *Guangdong Agricultural Science*, (4): 8–11. [包华理, 陈忠诚, 杨丽梅, 陈怀仰, 赖真如, 邹寿发, 黄健民, 1996. 广东省稻飞虱发生区划及防治策略. 广东农业科学, (4): 8–11.]

Cao YN, 2011. Analysis of the September 2011 atmospheric circulation and weather. *Meteorological Monthly*, 37(12): 1589–1594. [曹越南, 2011. 2011 年 9 月大气环流和天气分析. 气象, 37(12): 1589–1594.]

Cheng JA, Zhu JL, Zhu ZR, Zhang LG, 2008. Rice planthopper outbreak and environment regulation. *Journal of Environmental Entomology*, 30(2): 176–182. [程家安, 朱金良, 祝增荣, 章连观, 2008. 稻田飞虱灾变与环境调控. 环境昆虫学报, 30(2): 176–182.]

Cheng XN, Cheng 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, 陈若篪, 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.]

Cheng XN, Wu JC, Ma F, 2002. Brown Planthopper: Occurrence and Control. Beijing: Chinese Agriculture Press. 26–40. [程遐年, 吴进才, 马飞, 2002. 褐飞虱研究与防治. 北京: 中国农业出版社. 26–40.]

Cheng RC, Wu JR, Zhu SD, Zhang JX, 1984. Flight capacity of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *Acta Entomologica Sinica*, 27(2): 121–127. [陈若篪, 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.]

Cheng RC, Cheng XN, 1980. The take-off behavior of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) and its synchronous relations to the biological rhythm and environmental factors. *Journal of Nanjing Agricultural University*, (2): 42–49. [陈若篪, 程遐年, 1980. 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, (2): 42–49.]

Deng WX, 1981. A general survey on seasonal migration of the brown planthopper and the white-back planthopper. *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.]

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: 197–209.

Hu G, Bao YX, Wang JQ, Zhai BP, 2007. Case studies on the landing mechanisms of the brown planthopper *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.]

Huang J, Du XD, Wang H, Huang ZZ, 2013. Analysis of immigration trajectory and source areas of rice planthopper in Guangdong province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 29(24): 172–181. [黄俊, 杜尧东, 王华, 黄珍珠, 2013. 广东省稻飞虱迁入轨迹及虫源地分析. 中国农学通报, 29(24): 172–181.]

Jiang GH, Tang HQ, Shen WZ, Cheng RC, Cheng XN, 1982. The relations between long-distance southward migration of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) and synoptic weather condition. *Acta Entomologica Sinica*, 25(2): 147–155. [江广恒, 谈涵秋, 沈婉贞, 程遐年, 陈若篪, 1982. 褐飞虱远距离向南迁飞的气象条件. 昆虫学报, 25(2): 147–155.]

Hu G, Cheng XN, Qi GJ, Wang FY, Lu F, Zhang XX, Zhai BP, 2011.Rice planting systems,globalwarming and outbreaks of *Nilaparvata lugens* (Stål) Associated with Global Warming? *Environmental Entomology*, 39(6): 1705–1714.

Kisimoto R, 1976. Synoptic weather conditions inducing long-distance immigration of planthoppers, *Sogatella furcifera* Horvath and *Nilaparvata lugens* (Stål). *Ecological Entomology*, 1(2): 95–109.

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. 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.

Rosenberg LJ, Magor JI, 1983. Flight duration of the brown planthopper, *Nilaparvarta lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Ecol. Ent*., 8(3): 341–351.

Rosenberg LJ, Magor JI, 1987. Predicting windborne displacement of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* from synoptic weather data. 1. Long-distance displacement in the northeast monsoon. *J. Animal Ecol*., 56(1): 39–51.

Shen HM, Lv JP, Zhou JY, Zhang XX, Cheng XN, Zhai BP, 2011. Source areas and landing mechanisms of early immigration of white-back planthopper 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.]

Zhai BP, 2004. Computing the day length for programming insect behavior. *Entomological Knowledge*, 41(2): 178–184. [翟保平, 2004. 昆虫行为研究中日长的计算. 昆虫知识, 41(2): 178–184.]

Zhang XX, 1980. The type of insect migration and its physiological and ecological mechanism. *Entomological Knowledge*, 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.]

Zhu SX, Wu CZ, Du JY, Huang XQ, Shuai YH, Hong FL, 1979. The summary report of the studies on the migration of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *Guangdong Agricultural Science*, 3(4): 22–24. [朱绍先, 邬楚中, 杜景祐, 黄秀清, 帅应恒, 洪福来, 1979. 褐稻虱迁飞规律研究的总结报告. 广东农业科学, 3 (4): 22–24.]

Zhou YD, Chen JC, Wang SH, 1982. The relations between nutrient substances in the rice plant and wing dimorphism of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *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飞虱翅型分化的关系. 昆虫学报, 25(2):220–222.]