

褐飞虱 2009 年秋季回迁的雷达监测 及轨迹分析

齐会会¹, 张云慧¹, 程登发^{1,*}, 韩二宾^{1,2}, 孙京瑞¹

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 河南农业大学植物保护学院, 郑州 450002)

摘要: 褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 是水稻生产上重要的迁飞性害虫, 研究其迁飞、扩散规律, 为早期预警和有效防治提供科学依据。2009 年 4 月 27 日至 10 月 11 日, 在中国农业科学院植物保护研究所重大病虫害监测预警兴安雷达站内利用毫米波扫描昆虫雷达对褐飞虱的迁飞过程进行长期观测, 高空探照灯诱虫器及佳多自动虫情测报灯诱虫器分别用来诱捕高空及地面的褐飞虱, 对高空探照灯诱到的褐飞虱雌成虫随机挑选 30 头进行卵巢解剖, 并结合大区环流和利用 Hysplit_4 模型进行轨迹分析, 研究了褐飞虱的秋季回迁过程和虫源。结果表明: 褐飞虱秋季回迁高峰期出现在 9 月 28 日至 10 月 7 日, 高峰日为 10 月 1 日, 高峰日内雷达回波主要在 600~1 100 m 范围内聚集成层, 高空探照灯诱虫器内褐飞虱的数量达到了 13 620 头; 卵巢发育级别以 1~2 级为主。轨迹分析显示: 本次回迁的褐飞虱主要来自湖南衡阳和永州等地, 随东北气流向广西柳州、南宁和崇左等方向迁飞。轨迹推断与褐飞虱实发虫情基本吻合, 通过毫米波扫描昆虫雷达确定了褐飞虱秋季回迁的高度, 为毫米波扫描昆虫雷达早期投入到预测预报的实践中奠定了基础, 对我国褐飞虱早期预警体系的建立将提供必要的技术支持。

关键词: 褐飞虱; 毫米波扫描昆虫雷达; 迁飞; 回迁; 轨迹分析

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2010)11-1256-09

Radar observation and trajectory analysis on the autumn return migration of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) in 2009 in China

QI Hui-Hui¹, ZHANG Yun-Hui¹, CHENG Deng-Fa^{1,*}, HAN Er-Bin^{1,2}, SUN Jing-Rui¹ (1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) is one of the most serious pests of rice. Studying its migration and spread can provide a scientific basis for forecast and effective control. In this study, we developed a long term monitoring observation of the migration of the brown planthopper using a millimeter-wave scanning radar, trapped the brown planthoppers of high altitude and the ground with the searchlight trap and the Jiaduo light trap from 27 April to 11 October, 2009 in Xing'an radar station, Guangxi, checked up the ovarian development of the brown planthoppers in the searchlight trap, and then the autumn return migration and source areas of the brown planthoppers were analyzed with Hysplit_4 (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) and large-scale atmospheric circulation. The results showed that there was a return migration peak during 28 September to 7 October. The highest daily number of brown planthoppers trapped (13 620 specimens) by the searchlight was on 1 October. The ovarian development of the brown planthoppers was mainly in grade 1 or 2. There was a dense layer which formed at heights between about 600–1 100 m above the ground level. The trajectory analysis showed that the brown planthoppers of the autumn return migration mainly came from Hengyang and Yongzhou in Hunan and were likely to continue to immigrate to Liuzhou, Nanning and Chongzuo in Guangxi by the northeast airstream. There was coincidence between trajectory analysis and the fact. The study ascertained the autumn return

基金项目: 国家重点基础研究规划(“973”计划)项目(2010CB126200); 公益性行业专项(200903051); 国家重点实验室自主研究专项(SKI2010SR04)

作者简介: 齐会会, 女, 1985 年 11 月生, 硕士研究生, 研究方向为雷达昆虫学, E-mail: qihuihui2008@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: dfcheng@ippcaas.cn

收稿日期 Received: 2010-02-02; 接受日期 Accepted: 2010-10-02

migration altitude of the brown planthoppers and laid the foundation of the millimeter-wave scanning radar in the use of forecasting the brown planthopper and provided necessary technical support to construct early warning system in China.

Key words: Brown planthopper (*Nilaparvata lugens*); millimeter-wave scanning radar; migration; return migration; trajectory analysis

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 属于同翅目 (Homoptera) 飞虱科 (Delphacidae), 是危害水稻的重要害虫之一, 具群聚性、远距离迁飞性和危害突发性。

自从 1967 年 7 月 Asahina 和 Tsuruoka (1968) 在日本本州西南 500 km 的太平洋海洋气象观测站 (称作“南点”) 发现大群飞虱越海迁飞后, 日本的 Kisimoto (1971, 1977) 在“南点”和我国东海进行了 10 多次航海捕捉, 并在日本本土进行了调查和捕捉观察, 初步证实了褐飞虱具有远距离迁飞的现象。1977 年全国褐飞虱科研协作组, 在褐飞虱发生区域组织越冬调查, 并运用飞机航捕、海面捕捉、高山网捕及标记释放回收试验等方法研究了褐飞虱的迁飞规律, 划分了褐飞虱在我国的发生区划和迁飞路径, 在一定程度上探明了褐飞虱远距离迁飞的生理生态因素及气象条件 (程遐年等, 1979; 全国褐飞虱科研协作组, 1981)。但由于缺少相应的监测工具, 对于其空中飞行行为仍然是研究的盲点。20 世纪 80 年代, 英国自然资源研究所 (Britain's Natural Resource Institute Radar Entomology Unit, NRI) 建造了世界上第一部 8.8 mm、Q 频带的脉冲不连续波昆虫雷达。该雷达被用于研究重量约 2 mg 昆虫的飞行, 其对个体微小昆虫的有效观测距离可达到 1 km 以上。在菲律宾使用该雷达成功观测了稻飞虱和半翅目昆虫的飞行行为 (Riley *et al.*, 1987)。1988 - 1991 年, NRI 和南京农业大学合作, 利用该毫米波昆虫雷达对中国东部地区水稻“两迁”害虫 (稻飞虱和稻纵卷叶螟) 的秋季回迁进行了监测, 观测结合了空中网捕和田间笼罩, 结果显示了雷达观测与空中网捕、田间笼罩观察情况相符合, 并对稻飞虱、稻纵卷叶螟的季节性迁飞规律及其迁飞轨迹进行了相关分析 (Riley *et al.*, 1991, 1994, 1995; 程遐年等, 1994; 程极益, 1994)。2006 年 12 月, 中国农业科学院植物保护研究所与成都锦江电子系统有限公司合作研制了我国首台毫米波扫描昆虫雷达 (世界上第二台), 自 2007 年 5 月份以来, 在广西兴安县开展了水稻“两迁”害虫的长期观测, 证实了该毫米波雷达系统监测微小型昆虫的可行性

(杨秀丽等, 2008)。

本研究针对 2009 年 9 月底至 10 月初褐飞虱的秋季回迁过程, 综合应用毫米波扫描昆虫雷达的监测结果, 结合灯诱虫情数据和大区环流数据对褐飞虱回迁的种群动态及空中迁飞行为进行了分析, 并对回迁的褐飞虱虫源进行了轨迹分析, 以期对褐飞虱的预测预报提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 毫米波扫描昆虫雷达及观测点地理位置

毫米波扫描昆虫雷达波长为 8.8 mm, 具直径 1.2 m、焦距长为 405 mm 的旋转抛物面天线, 峰值功率 10 kW, 发射频率 3 500 MHz。天线扫描和信号采集由工业计算机控制, 其回波信号在计算机显示器上实时显示并定时存储为图像和数据文件。详细参数见杨秀丽等 (2008)。观测地点位于广西兴安县中国农业科学院植物保护研究所重大病虫害监测预警兴安雷达站 (25°37'25.0"N, 110°40'36.9"E, 海拔 209 m), 周围是农田和村庄, 以种植水稻和蔬菜为主, 雷达安放在房顶, 距离地面 5 m, 监测点周围地势开阔, 1 000 m 内无障碍物。

1.2 虫情资料

为了辅助昆虫雷达对目标昆虫的识别, 设置了地面灯诱虫器和高空探照灯诱虫器。地面灯采用佳多自动虫情测报灯, 该灯采用 20 W 黑灯管作诱集光源; 高空探照灯参照姊妹灯 (Feng *et al.*, 2003) 中高空灯的设置, 由 GT75 型探照灯制作而成, 灯内装备 ZJD1000 W 金属卤化物灯泡, 铁圈将其固定在 1 个大漏斗内, 光束垂直向上照射, 漏斗下方使用装有深 10 cm 左右的洗衣粉溶液的塑料盆收集昆虫。每天日落开灯, 日出关灯, 对诱捕到的昆虫进行分类统计, 随机挑选 30 头褐飞虱雌成虫检查褐飞虱卵巢发育进度。褐飞虱迁飞和扩散发生高峰期, 进行夜间定时取样。

1.3 气象和轨迹分析数据

高空气象数据由美国国家环境预报中心 (The National Weather Service's National Centers for

Environmental Prediction, NCEP) 和美国国家大气研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR) 提供的再分析数据。轨迹分析数据采用 NCEP 的网格数据 (网格大小约为 111 km, 数据包含温度、风向、高度和相对湿度等要素, 该数据可以从 <http://www.arl.noaa.gov> 网站下载。地图资料从国家基础地理信息中心网站 (<http://nfgis.nsd.gov.cn>) 下载。

1.4 褐飞虱雌成虫卵巢发育级别划分

根据陈若簏等 (1979) 的方法将褐飞虱卵巢发育级别分为 5 级: 1 级: 卵巢小管短, 并互相粘合在一起, 卵巢管柄相对较长, 约为整个小管长度的二分之一; 2 级: 卵巢小管稍微伸长, 而且分散开, 部分卵巢小管可见到未成熟的长圆形卵细胞 1~2 个; 3 级: 卵巢小管明显变大, 卵巢管柄变短, 约为整个小管长度的四分之一, 卵巢小管内可见到 1~2 个已成熟的长茄形卵粒; 4 级: 部分卵巢小管内只见到 1 个成熟的卵, 卵巢小管内出现空段, 并略呈缢缩状; 5 级: 大部分卵巢小管已萎缩, 部分卵巢小管内尚残存 1 个成熟的卵粒。

1.5 研究方法

自 2009 年 4 月 27 日至 10 月 11 日, 除降雨和机械故障外, 每天 18:30 至次日 02:00, 褐飞虱迁飞活动高峰期在 18:00 至次日 06:00 为雷达观测时间。雷达操作时采用 Drake (1981a) 提出的经典仰角 (3°, 5°, 8°, 12°, 18°, 28°, 45° 和 58°) 进行观测。计算机实时程序控制天线的转速、噪声门限、显示即时观测信息 (目标物体的高度、距离、时间、回波强度)。人工或自动存储观测结果, 通过非实时程序观看雷达回波图像, 用 Photoshop 软件根据像素大小统计出每个距离环之间的回波点数, 并除以根据 Drake (1981b) 提出的典型取样空间计算出昆虫的空间密度。

诱虫灯内的虫情数据用 SPSS 16.0 软件进行统计分析。

利用 NCEP 和 NCAR 提供的高空风场数据及垂直速度场数据, 利用 GrADS 软件, 经过 GIS (Geographic Information System) 的再分析, 采用 850 hPa 和 925 hPa 压力层面, 分析昆虫发生高峰期的高空水平风场和垂直速度场。

轨迹分析采用美国国家海洋和大气管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration,

NOAA) 的空气资源实验室和澳大利亚气象局联合研发的用于计算和分析大气中惰性粒子输送、扩散轨迹的 Hysplit_4 模型, 把 NCEP 的网格数据导入软件系统, 以雷达观测点为中心, 对迁入和迁出事件分别进行逆推和顺推, 顺推时间以 19:00 为起始时间, 24 h 为迁飞时间长度, 逆推以 19:00 为迁出时间, 雷达屏幕上观测到迁入回波时为起点。逆推起点高度设置为 800 m, 最大高度为 2 000 m, 顺推起点设置为 1 000 m。

2 结果与分析

2.1 灯诱虫情信息

高空探照灯和地面灯虫情显示 (图 1), 高空探照灯 9 月 28 日褐飞虱数量开始增加, 10 月 1 日虫量突增至 13 620 头 (占诱虫总量的 70.6%), 2 日数量 11 240 头 (占诱虫总量的 71.8%), 之后数量开始下降, 6 日降到 870 头, 同期地面灯下也出现褐飞虱的诱虫高峰。高峰期高空探照灯下褐飞虱雌性所占比例基本都小于 50%, 10 月 1 日从 18:00 时诱虫开始雌性所占比例显著低于雄性 (38%), 2 日和 3 日褐飞虱几乎是以 1:1 的性比起飞, 随着时间的推移, 雌性比例逐渐降低, 在 00:00-06:00 这段时间内雌性比例有所增加, 雌雄数量几乎相当 (表 1)。高峰期褐飞虱雌虫卵巢发育级别集中在 1~2 级 (图 2), 具有典型的迁飞昆虫生理特征。

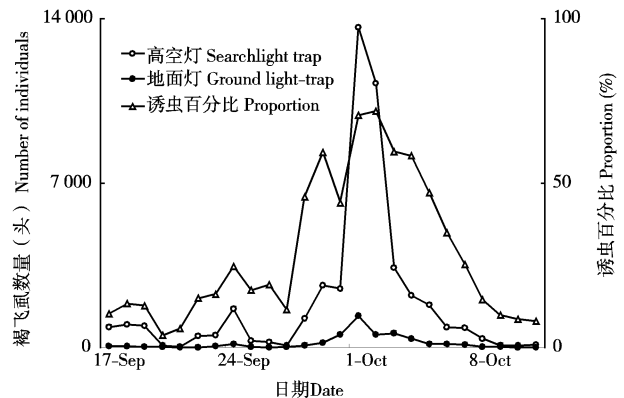


图 1 高空灯和地面灯下的褐飞虱动态及高空灯下褐飞虱的诱虫百分比 (广西兴安, 2009)

Fig. 1 The variation of numbers of *Nilaparvata lugens* in the searchlight trap and in the ground light-trap and the proportion of *N. lugens* accounting for the total in the searchlight trap (Xing'an, Guangxi, 2009)

表 1 高空灯下不同时刻褐飞虱的雌性百分比(广西兴安, 2009)

Table 1 Sex-ratios of *Nilaparvata lugens* caught in the searchlight trap at different periods (Xing'an, Guangxi, 2009)

取样时段 Sample period	雌性所占比例(%) Proportion of females	与 50% 的显著性差异 Significance of difference from the proportion of 50%
18:00 - 21:40 (1 Oct.)	38	差异显著 $P < 0.05$
21:40 - 00:00 (1 Oct.)	33	差异极显著 $P < 0.01$
00:00 - 06:00 (2 Oct.)	50	不显著 Not significant
18:00 - 21:00 (2 Oct.)	43	不显著 Not significant
21:00 - 00:00 (2 Oct.)	40	差异显著 $P < 0.05$
00:00 - 06:00 (3 Oct.)	41	不显著 Not significant
18:00 - 20:10 (3 Oct.)	46	不显著 Not significant
20:10 - 22:00 (3 Oct.)	38	差异显著 $P < 0.05$
22:00 - 00:00 (3 Oct.)	33	差异极显著 $P < 0.01$
00:00 - 06:00 (4 Oct.)	39	差异显著 $P < 0.05$

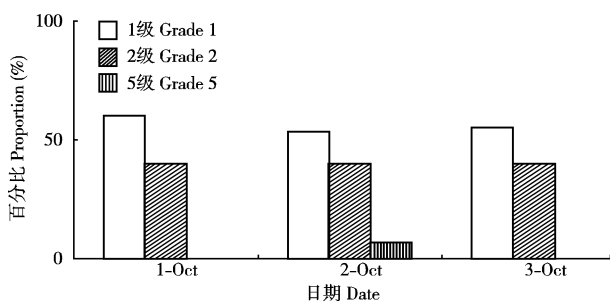


图 2 高空灯下褐飞虱卵巢发育(广西兴安, 2009)

Fig. 2 The ovarian development of *Nilaparvata lugens* in the searchlight trap (Xing'an, Guangxi, 2009)

高空探照灯上的虫子进行以 0:00 为界限定时取样:10 月 1, 2, 3 日 80% 的褐飞虱都分布在 0:00 之前。10 月 3 日 0:00 之前每隔 2 h 取样结果显示(图 3):褐飞虱从开灯到 20:00 的虫量最多, 占到褐飞虱总量的 40.7%, 之后虫量逐渐下降。

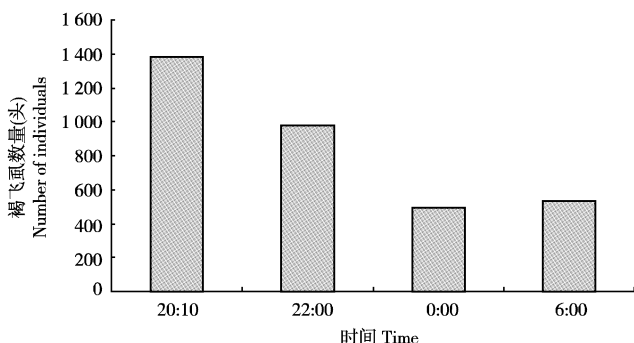


图 3 10 月 3 日高空探照灯上的褐飞虱定时取样数据(广西兴安, 2009)

Fig. 3 The timing sampling numbers of *Nilaparvata lugens* in the searchlight trap on 3 October (Xing'an, Guangxi, 2009)

2.2 褐飞虱的雷达观测结果

2.2.1 褐飞虱迁飞种群的时间动态:雷达回波点的变化与高空探照灯内的诱虫结果具有很高的一致性, 初步认为此期间雷达监测到的高密度空中回波主要是褐飞虱。雷达回波显示从 9 月 28 日至 10 月 7 日高空有大量的密集型回波, 之后高空回波稀少。回迁期的雷达回波显示(图 4), 日落之后雷达回波就开始增加, 回波从显示屏中心开始, 向四周铺展, 呈现“辐射状”, 随着时间的变化, 回波高度不断增加, 20:00 左右达到最大, 23:00 以后空中回波数量明显减少。在回迁高峰期 10 月 1 日, 后半

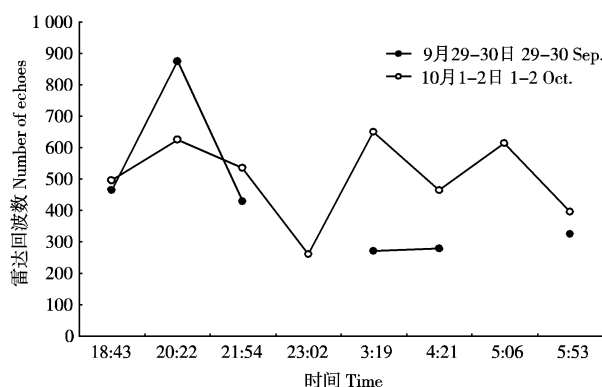


图 4 2009 年 9 月 29 日到 10 月 2 日雷达回波数量夜间变化(广西兴安)

Fig. 4 The variation of numbers of echoes during the evening flight period from 29 September to 2 October, 2009 (Xing'an, Guangxi)

9 月 29 - 30 日的观测时刻与 10 月 1 - 2 日相差在 10 min 左右, 该图采用 10 月 1 - 2 日的时间作为时间刻度。The difference time about the observation time between 29 - 30 September and 1 - 2 October is about 10 min. This figure uses the observation time of 1 - 2 October as the time axis.

夜 3:22 再次出现了回波高峰, 回波高峰持续到 5:00 以后才逐渐消失。

2.2.2 褐飞虱密度的垂直分布:褐飞虱秋季的迁飞高度主要集中在 1 200 m 以下, 1 200 m 以上昆虫回波数量较少。从 9 月 28 日至 10 月 7 日在每晚的 18:30 - 19:00 之间几乎雷达回波上都出现“辐射状”回波, 通过计算 10 月 1 日 18:53 的昆虫回波发现昆虫密度随着高度的升高而逐渐下降(图 5)。褐飞虱一般在 400 m 处回波密集, 随着高度的升高, 回波在 600 ~ 1 100 m 范围内聚集成层, 一般在 700 m 左右成层密度较高(图 5)。将 10 月 2 日 4:20 和 5:10 的昆虫密度与 10 月 1 日 18:25 的风速比较发

现(图 6), 在 650 ~ 800 m 处出现了极值风速, 此范围内的风速都超过 11 m/s, 可见褐飞虱的聚集成层与低空急流有很大的关系。将 10 月 2 日 4:20 和 5:10 与 3:22 的昆虫密度比较发现(图 6), 4:20 和 5:10 的昆虫成层顶端高度从 3:22 时的 1 100 m 下降到 1 000 m, 并且密度也有所下降, 而 800 m 以下的低空回波密度却是上升的, 根据 10 月 2 日距离 05:00 比较近的 2 个时次的垂直速度场可知, 02:00 时监测点上空气流稳定, 到 08:00 时 850 hPa 和 925 hPa 垂直速度场上都出现下沉气流(图 7), 推测认为是下沉气流促使过境的褐飞虱飞行高度下降, 并有可能降落于本地。

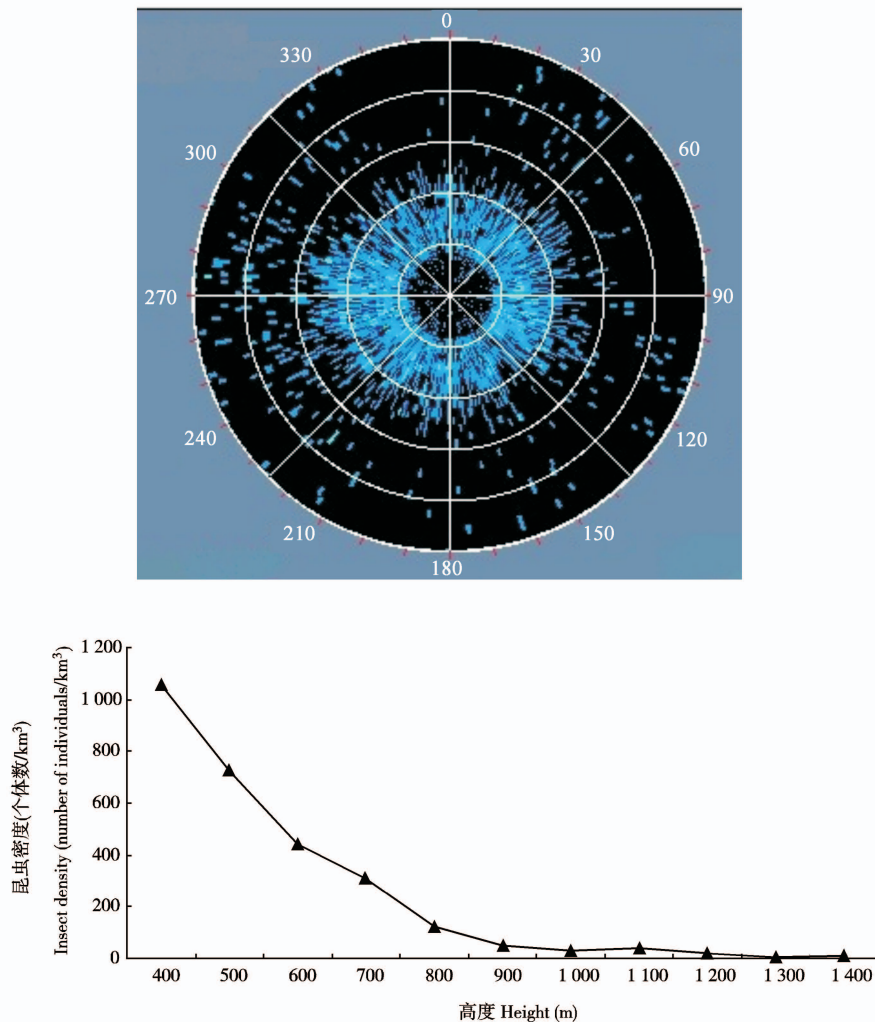


图 5 2009 年 10 月 1 日 18:53 时雷达天线仰角为 45° 时回波图片(上)和昆虫密度在垂直高度上的变化(下)(广西兴安)

Fig. 5 The radar plan position indicator picture with radar beam elevation of 45° (upper) and the variation with height of aerial density of insect (lower) at 18:53 on 1 October, 2009 (Xing'an, Guangxi)

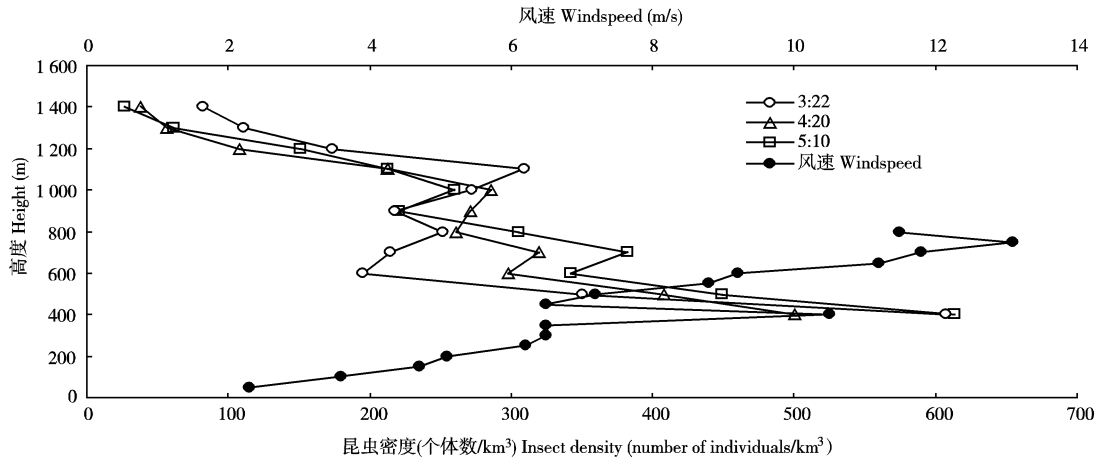


图 6 2009 年 10 月 1 日 18:25 时的风速和 10 月 2 日 3:22, 4:20 和 5:10 时褐飞虱的空间密度在垂直高度上的变化(广西兴安)
 Fig. 6 The variation with height of windspeed at 18:25 on 1 October and the aerial density of *Nilaparvata lugens* at 3:22, 4:20 and 5:10 on 2 October, 2009 (Xing'an, Guangxi)

2.3 褐飞虱回迁轨迹分析

10 月上旬大陆高压已经取代了西太平洋副高压的控制, 850 hPa 和 925 hPa 等压面上水平气流场显示高峰期监测区域上空主要盛行东北气流(图 7)。黄昏雷达出现的“辐射状”回波推测应为监测点附近的褐飞虱在向外迁出, 起飞之后几次回波密度的升高是由于距离监测点依次渐远的地区迁飞来的褐飞虱过境形成的。对 10 月 1 日 18:53 时雷达监测到的“辐射状”回波, 以 19:00 为起飞的起点, 对起飞迁出的褐飞虱进行 24 h 顺推, 并对在 10 月

1 日的 20:00, 22:00 和 10 月 2 日的 03:00, 04:00, 05:00 出现的回波高峰分别以 19:00 为过境褐飞虱的起点, 24 h 为最长飞行长度, 进行逆推和顺推, 然后把轨迹在 Gis 上叠加在一起(图 8), 轨迹显示: 从本地迁出的褐飞虱经由广西柳州、南宁最远可到达崇左地区, 过境的褐飞虱较近的来自湖南永州地区, 远的来自湖南衡阳地区, 这批褐飞虱最远也可到达广西西南的崇左地区。对 10 月 2 日至 7 日黄昏监测到的“辐射状”回波进行 24 h 顺推轨迹显示, 这批褐飞虱最远也可到达广西西南的崇左地区。

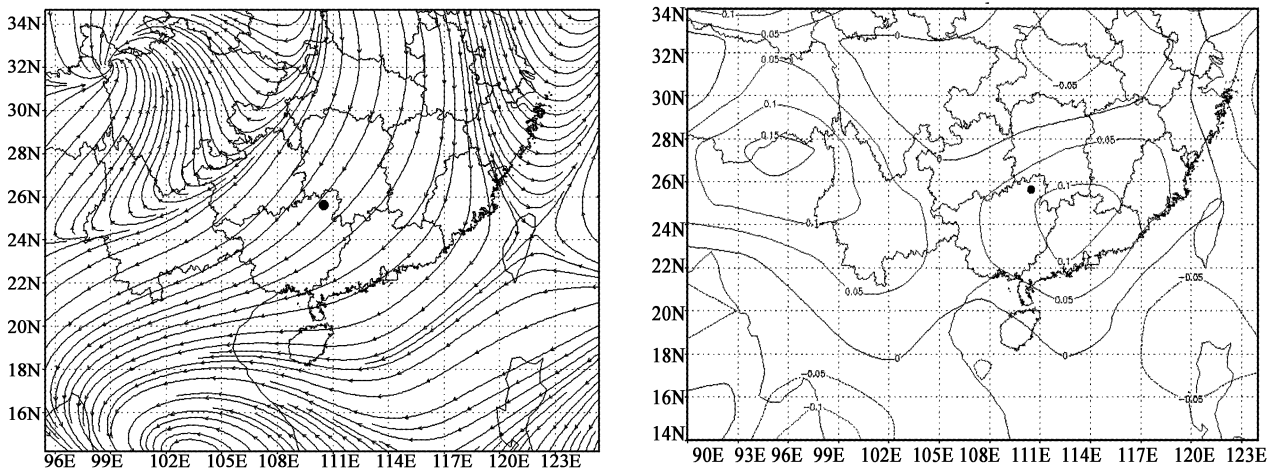


图 7 2009 年 10 月 1 日 20:00 时 850 hPa 上的水平流场(左)和 10 月 2 日 08:00 时 925 hPa 上的垂直速度场(Pa/s)(右)
 Fig. 7 The horizontal air stream flow field on 850 hPa on 1 October (left) and vertical speed field on 925 hPa level (Pa/s) at 08:00 on 2 October (right), 2009

图中黑点为雷达观测点。The black dot on the map indicates the radar station in Guangxi.

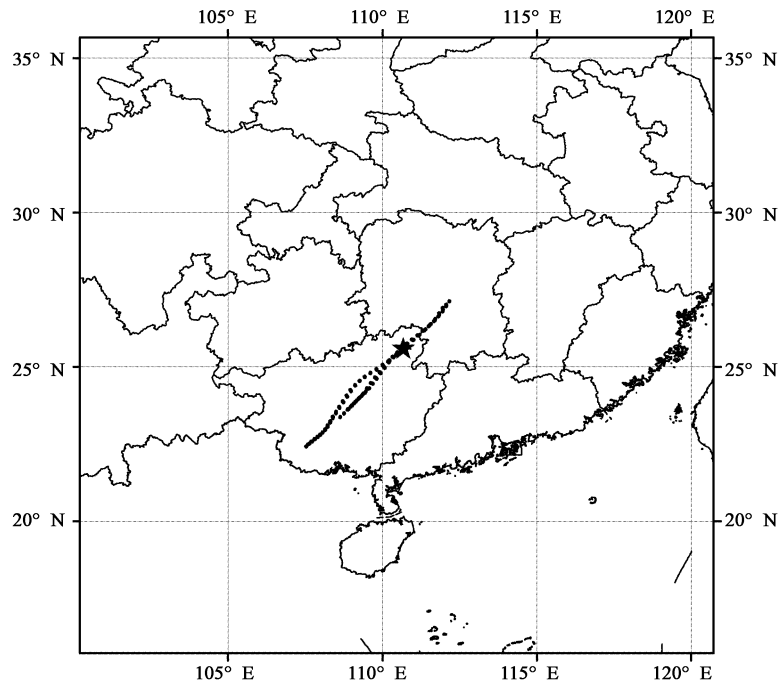


图 8 2009 年 10 月 1 日和 2 日褐飞虱的顺推和逆推轨迹

Fig. 8 The forward trajectory and backward trajectory for *Nilaparvata lugens* on 1 and 2 October, 2009

图中五角星为雷达观测点。The star on the map indicates the radar station in Guangxi.

3 讨论

在本次的探照灯诱虫器中发现褐飞虱在高峰期间雌性所占比例, 主要分布在 33%~50% 的范围内, Kisimoto (1987) 在中国东海捕捉到的褐飞虱雌性所占的范围为 38%~54%。Riley 等 (1991) 在用雷达监测褐飞虱迁飞时, 发现褐飞虱几乎是以 1:1 的性比起飞的, 随着时间的增加, 雌性所占比例开始下降, 但到黎明时分雌性比例却开始增加, 本次实验也观察到了此现象。探照灯诱虫器可以对空中 500 m 高度的昆虫具有明显的聚集作用 (Feng *et al.*, 2003), 并且高峰期间褐飞虱卵巢发育级别主要集中在在 1~2 级, 具有典型的迁飞昆虫生理特征, 由此可以推测雷达监测点探照灯诱虫器诱集的褐飞虱主要是其迁飞过程中受灯光诱集而被动降落的种群, 9 月 28 日至 10 月 7 日的雷达回波突变主要是由于褐飞虱迁飞所引起。

厘米波昆虫雷达对研究我国北方迁飞性昆虫的迁飞行为过程发挥了重要作用 (程登发等, 2005; 张云慧等, 2007)。对于针对微小型昆虫而设计的毫米波扫描昆虫雷达, 本次监测结果显示: 褐飞虱在秋季的回迁过程中有聚集成层的现象, 一般在 600~1 100 m 范围内聚集成层, 一般在 700 m 左右

密度较高, 具有翟保平和张孝羲 (1993) 提出的“边界层顶现象”。邓望喜 (1981) 在 1977~1979 年在 100~3 000 m 的高空用飞机航捕稻飞虱, 发现褐飞虱秋季适宜迁飞高度在 500~1 000 m。南京农业大学与 NRI 于 1988~1991 年使用毫米波昆虫雷达监测稻飞虱秋季回迁的研究表明, 褐飞虱秋季迁飞高度一般在 400~1 000 m, 迁飞层顶高度变化于 630~1 090 m 之间, 迁飞密集层一般在 700 m 左右 (Riley *et al.*, 1991; 程极益, 1994)。本次观测褐飞虱的迁飞高度与前人的研究比较吻合。

Rosenberg 和 Magor (1983) 研究发现褐飞虱在空中的最长飞行时间为 30 h, 包云轩等 (2000, 2005) 用中尺度非流体静力模式 (MM5) 对我国褐飞虱北迁、南返的过程进行了数值模拟, 模拟结果显示褐飞虱秋季回迁历时多为 18~26 h。本实验中用 24 h 作为褐飞虱的迁飞长度, 10 月 1 日顺推轨迹显示, 从桂东北迁出的褐飞虱最远能到达桂西南的崇左地区, 对桂东北过境的褐飞虱进行回推分析显示虫源主要来自湖南衡阳, 较近的将来自湖南永州, 据全国农业技术推广服务中心发布的虫情信息显示 (<http://www.natesc.gov.cn/sites/MainSite/>): 8 月下旬, 褐飞虱在江南和长江中下游稻区偏重发生, 湖南中东部部分田块超过 3 000 头大发生指标。按发育历期推算 (在日平均气温 27~28°C 时, 褐飞虱

发育 1 个世代为 30 d 左右(张稻友, 2000), 到 9 月底, 这批褐飞虱的后代开始孵化为秋季回迁虫源, 随着湖南中东部地区水稻的黄熟、收割, 在东北气流的运载下褐飞虱大量飞往桂东北地区的稻田, 迁飞能力强的褐飞虱并有可能继续向桂西南地区飞去。另据广西植物保护网(<http://www.gxzb.com/>)报道, 10 月 1 - 5 日褐飞虱主降区落在桂东北、桂西北、桂西南及桂东南。由此可见, 轨迹推断与褐飞虱实发虫情基本吻合。

褐飞虱作为典型的迁飞性水稻害虫, 自 2005 年在我国长江中下游地区暴发以来, 2006 - 2009 年先后在我国不同稻区连年暴发成灾, 由于褐飞虱越冬地主要在中南半岛, 虫源基数和越冬面积一直是褐飞虱预测预报的难题。通过毫米波扫描昆虫雷达对褐飞虱迁飞的观测, 如果我们能得到褐飞虱在高空的迁飞参数, 如迁飞高度、飞行方向、飞向速度, 根据这些参数就能建立一套对褐飞虱预测的模式, 这对褐飞虱早期预警体系的建立将提供必要的技术支持。目前对目标昆虫的迁飞高度能直接通过毫米波雷达观测到, 关于目标昆虫的空间密度也能通过计算雷达图像回波点得到, 但飞行方向和飞行速度还有待于进一步的研究。

致谢 感谢河南农业大学植物保护学院 2006 级本科实习生荆斌、长江大学农学院实习生詹博及中国农业科学院植物保护研究所水稻害虫组硕士研究生杨晓和韩永强对本实验给予的帮助。

参 考 文 献 (References)

- Asahina S, Tsuruoka Y, 1968. Records of the insects which visited a weather ship located at the Ocean Weather station "Tango" on the Pacific, II. *Kontyu*, 36: 190 - 202.
- Bao YX, Cheng JY, Cheng XN, Chu CS, Shen TL, 2000. Dynamical and numerical simulations on the processes of *Nilaparvata lugens* long-distance migration northward during the midsummer in China. *Acta Entomologica Sinica*, 43(2): 176 - 183. [包云轩, 程极益, 程遐年, 储长树, 沈桐立, 2000. 中国盛夏褐飞虱北迁过程的动态数值模拟. 昆虫学报, 43(2): 176 - 183]
- Bao YX, Zhai BP, Cheng XN, 2005. Numerical simulation of the migration parameters of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Acta Ecologica Sinica*, 25(5): 1107 - 1114. [包云轩, 翟保平, 程遐年, 2005. 褐飞虱迁飞参数的数值模拟. 生态学报, 25(5): 1107 - 1114]
- Chen RC, Cheng XN, Yang LM, Yin XD, 1979. The ovarial development of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) and its relation to migration. *Acta Entomologica Sinica*, 22(4): 280 - 288. [陈若麓, 程遐年, 杨联民, 殷向东, 1979. 褐飞虱卵巢发育及其与迁飞的关系. 昆虫学报, 22(4): 280 - 288]
- Cheng DF, Feng HQ, Wu KM, 2005. Scanning Entomological Radar and Radar Observation for Insect Migration. Science Press, Beijing. 12 - 15. [程登发, 封洪强, 吴孔明, 2005. 扫描昆虫雷达与昆虫迁飞监测. 北京: 科学出版社. 12 - 15]
- Cheng JY, 1994. Study on radar observations and trajectory of the autumn migration of brown planthopper. *Remote Sensing of Environment China*, 9(1): 51 - 56. [程极益, 1994. 褐飞虱迁飞的雷达观测与轨迹研究. 环境遥感, 9(1): 51 - 56]
- 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 - 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, Zhang XX, Cheng JY, Riley JR, Reynolds DR, 1994. Radar observations of the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) in the east of China. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 17(3): 24 - 32. [程遐年, 张孝羲, 程极益, Riley JR, Reynolds DR, 1994. 褐飞虱在中国东部秋季回迁的雷达观察. 南京农业大学学报, 17(3): 24 - 32]
- Deng WX, 1981. A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae) by means of airplane collections. *Journal of Plant Protection*, 8(2): 73 - 82. [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 - 82]
- Drake VA, 1981a. Quantitative observation and analysis procedures for a manually operated entomological radar. *CSIRO Australia Division of Entomology Technical Paper*, 19: 1 - 41.
- Drake VA, 1981b. Target density estimation in radar biology. *Journal of Theoretical Biology*, 90: 545 - 571.
- Feng HQ, Wu KM, Cheng DF, Guo YY, 2003. Radar observation of the autumn migration of the beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) and other moths in northern China. *Bulletin of Entomological Research*, 93: 115 - 124.
- Kisimoto R, 1971. Long distance migration of planthoppers *Sogatella furcifera* and *Nilaparvata lugens*. Symposium on Rice Insects, Tropical Agriculture Research Center, Ministry of Agriculture and Forestry, Japan. 201 - 216.
- Kisimoto R, 1977. Brown planthopper migration. Brown Planthopper Symposium, 18 - 22 April 1977, International Rice Research Institute, Manila. 113 - 124.
- Kisimoto R, 1987. Ecology of planthopper migration. In: Wilson MR, Nault LR eds. Proceedings of 2nd International Workshop on Leafhoppers and Planthoppers of Economic Importance, Provo, Utah, USA, 28 July - 1 August 1986, C. I. E., London. 41 - 54.
- National Cooperated Research Group of Brown Planthopper, 1981. Advances in the study of the migration of brown planthopper in China. *Scientia Agricultura Sinica*, (2): 52 - 59. [全国褐稻虱科研协作组, 1981. 我国褐稻虱迁飞规律研究的进展. 中国农业科学, (2): 52 - 59]
- 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 observation of mass return flight in autumn. *Ecological Entomology*, 16: 471–489.
- Riley JR, Reynolds DR, Farrow RA, 1987. The migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Delphacidae) and other Hemiptera associated with rice during the dry season in the Philippines: a study using radar, visual observations, aerial netting and ground trapping. *Bulletin of Entomological Research*, 77(1): 145–169.
- Riley JR, Reynolds DR, Smith AD, Cheng XN, Zhang XX, Xu GM, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, Wang HK, 1994. Observations on the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) and other pests in east central China. *Bulletin of Entomological Research*, 84: 389–402.
- Riley JR, Reynolds DR, Smith AD, Edwards AS, Zhang XX, Cheng XN, Wang HK, Cheng JY, Zhai BP, 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: 397–414.
- Rosenberg LJ, Magor JL, 1983. Flight duration of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae). *Ecological Entomology*, 8: 341–350.
- Yang XL, Cheng DF, Chen L, Sun JR, 2008. Primary application of millimetric scanning radar to tracking high-flying insects in southern China. *Plant Protection*, 34(2): 31–36. [杨秀丽, 程登发, 陈林, 孙京瑞, 2008. 毫米波扫描昆虫雷达空中昆虫监测的初步应用. 植物保护, 34(2): 31–36]
- Zhai BP, Zhang XX, 1993. Behaviour of migrating insects: adaptation and selection to atmospheric environment. *Acta Ecologica Sinica*, 13(4): 356–363. [翟保平, 张孝羲, 1993. 迁飞过程中昆虫的行为: 对风温场的适应与选择. 生态学报, 13(4): 356–363]
- Zhang DY, 2000. Pay attention to some aspects in rice planthopper forecast. *Plant Protection Technology and Extension*, 20(6): 6–7. [张稻友, 2000. 稻飞虱预测中应注意具体分析的几个问题. 植保技术与推广, 20(6): 6–7]
- Zhang YH, Chen L, Cheng DF, Zhang YJ, Jiang YY, Jiang JW, 2007. Radar observation and population analysis on the migration of the clover cutworm, *Scotogramma trifolii* Rottemberg (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50(5): 494–500. [张云慧, 陈林, 程登发, 张跃进, 姜玉英, 蒋金炜, 2007. 旋幽夜蛾迁飞的雷达观测和虫源分析. 昆虫学报, 50(5): 494–500]

(责任编辑: 袁德成)