

# 2003年稻纵卷叶螟重大迁入过程的大气动力机制分析

王翠花<sup>1</sup>, 包云轩<sup>1\*</sup>, 王建强<sup>2</sup>, 向勇<sup>3</sup>, 翟保平<sup>1</sup>

(1. 南京农业大学 农业部病虫监测与治理重点开放实验室, 南京 210095; 2. 农业部全国农业技术推广服务中心, 北京 100081; 3. 南京信息工程大学 空间信息科学系, 南京 210044)

**摘要:** 为了探明稻纵卷叶螟灾变性迁入的大气动力学机制, 本研究在 ArcGIS 中对 2003 年我国稻纵卷叶螟的时空分布规律进行了简要的地学分析。在此基础上, 选取了有典型意义的重大迁入过程 2 个, 从 PCVSAT™ 接收系统中调取覆盖各迁飞过程的实测气象数据和 T213 数值预报产品, 输入 MM5 中尺度数值预报模式对迁飞和降落期间的大气动力场进行了数值模拟和客观分析。结果表明: (1) 用 850 hPa 和 925 hPa 高度风向来分别描述稻纵卷叶螟北迁和南迁主迁飞层种群迁移的方向是比较合适的。北迁时, 从源地到迁入地之间有比较一致的偏南气流, 南迁时, 从源地到迁入地之间则有相对均一的偏北气流。水平风场上的气旋式曲率区有利于害虫的起飞迁出, 反气旋式曲率区则有利于其迁入降落。(2) 垂直气流场中下沉气流的推动作用为稻纵卷叶螟迁入和降落的最直接大气动力机制, 当稻纵卷叶螟迁入某一即将危害的稻区时, 其降落前 36~12 h 以内的 850 hPa 等压面上常表现为相对强而宽广的下沉气流区。(3) 在稻纵卷叶螟迁入与为害前 36~12 h 内的高空 850 hPa 和 925 hPa 散度场上, 降虫区上空对应着比较一致的高值正散度区, 表明有较强的下沉气流存在, 这对降虫十分有利。(4) 850 hPa、925 hPa 等压面上的水平流场、垂直气流场和散度场的特征分布对预测稻纵卷叶螟的迁入和降落具有很好的指示意义。

**关键词:** 稻纵卷叶螟; 迁飞; GIS; 大气动力学机制; 预报; 中尺度模式

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2006)04-0604-09

## Analysis on atmospheric dynamical mechanisms for the great immigration events of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee in 2003

WANG Cui-Hua<sup>1</sup>, BAO Yun-Xuan<sup>1\*</sup>, WANG Jian-Qiang<sup>2</sup>, XIANG Yong<sup>3</sup>, ZHAI Bao-Ping<sup>1</sup> (1. Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. National Agricultural Technology Extension and Service Center, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China; 3. Department of Spatial Information Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** In order to explore the atmospheric dynamic mechanisms of the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee catastrophic immigrations, the tempo-spatial patterns of its populations occurred in China in 2003 was analyzed topographically under the assistance of ArcGIS. Based on this analysis, two typical great immigrating events were selected. The observational meteorological data and T213 numerical simulation products covering these processes were extracted from the data received by a PCVSAT™ (PC Very Small Aperture Terminal). These data were input into the model MM5 3.2 (The Fifth-Generation Mesoscale Model for version 3.2), and a set of atmospheric dynamical fields during these migrating and landing processes were simulated numerically and analyzed objectively. The results were as follows: (1) It was feasible to use the directions of air streams on the 850 hPa (approximately 1 500 m) and 925 hPa (around 750 m) to describe the

基金项目: 国家重点基础研究发展规划“973”项目(2006CB102000)

作者简介: 王翠花, 1966年7月生, 陕西渭南人, 硕士, 讲师, 主要从事气候变化、应用气象和应用生态方面的研究, E-mail: wch@njau.edu.cn

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: byx@njau.edu.cn

收稿日期 Received: 2005-09-12; 接受日期 Accepted: 2006-05-31

flight directions of rice leaf rollers in the main migrant layers during the northward and southward migrations of their populations, respectively. There were relatively coincident air streams with a northern exposure during the migration northward of rice leaf rollers and there were concurrent airflows with a southern exposure during the migration southward. The regions with cyclonic curvatures were advantageous to taking-off and emigration of the leaf rollers, and the areas with anticyclonic curvatures were favorable to immigration and landing. (2) The driving effect of the subsiding airflow on the vertical velocity field was most direct atmospheric dynamical mechanism for immigration and landing of rice leaf rollers. When they immigrated into the endangered regions, on the 850 hPa over these regions in 36 - 12 hours before landing, there were relative strong and wide subsiding airflows. (3) On the divergence fields of 850 hPa and 925 hPa in 36 - 12 hours before the pest immigrated into the endangered areas, there were conformably positive and high divergence values over the landing regions. This indicated that there were obvious strong sinking airflows over these regions, and these airflows were available for the pest's landing. (4) The diagnostic distributions of horizontal air stream field, vertical velocity field and divergence field on 850 hPa and 925 hPa would provide with good indicative significance for the forecast of rice leaf rollers' immigration and landing.

**Key words:** *Cnaphalocrocis medinalis*; migration; geographic information system; atmospheric dynamical mechanism; forecast; mesoscale model

稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee 是一种远距离、季节性往返迁飞的害虫。每年5月下旬到6月中旬开始从华南北迁,主降区为南岭以北至长江之间的江岭稻区;6月中、下旬从江岭稻区大量迁入江淮稻区,波及北方稻区和南岭以北至秦岭、淮河之间的广阔稻区;7月下旬、8月上旬继续北迁并到达我国的北方稻区;8月下旬、9月初开始陆续南迁,先后降落在江淮稻区、江岭稻区和南方稻区;直到11月份绝大多数稻纵卷叶螟迁出我国大陆,仅有少量虫源在我国的华南稻区能存活(张孝羲等,1980,1981)。稻纵卷叶螟曾在20世纪70年代至80年代初发生较重,80年代末至90年代前半期,危害程度有逐步减轻的趋势,进入90年代后半期后,发生强度及范围有明显加重的趋势,其中1995、1998、1999和2003年为全国大发生(吴涛和善卫红,2004),这给我国水稻生产带来了巨大的损失。

过去数十年,昆虫学家和植保工作者们对此给予了足够的重视,并进行了多方面的研究。在这些研究中,最引人注目的是上世纪80年代初,张孝羲等(1980,1981)对我国稻纵卷叶螟生态学特征所进行的开拓性研究,研究表明造成稻纵卷叶螟大发生的主要原因是高温、高湿、强降水以及水稻生长期环境为其提供的较好的生存条件。陈婉如等对稻纵卷叶螟的迁飞现象进行了观察,并分析了稻纵卷叶螟在海南发生的情况(陈婉如和郭玉彦,1996)。翟保平和张孝羲(1998)对稻纵卷叶螟的迁飞轨迹作了模拟研究,认为稻纵卷叶螟的平均迁飞高度为离地面

400~1000 m,但夏季北迁与秋季南迁有明显区别,夏季北迁高度要高一些,秋季南迁高度要低一些。许瑞秋等(1999)通过对稻纵卷叶螟主害代的发生与降雨量的关系研究发现,6月上、中旬的降水与(2)代螟蛾的迁入呈正相关。汪四水等(2001)利用地理信息系统软件建立了稻纵卷叶螟灾变显示系统,并将其用于测报业务。同时还有一些学者利用神经网络方法(汪四水等,2003)、统计学方法(苏庆玲和张孝羲,1995;汪四水等,1995;周立阳和张孝羲,1995,1996;陈观浩,2004;等)对稻纵卷叶螟的发生与危害程度进行了预测研究。

从以上的研究来看,过去的研究大多侧重于对害虫本身生物学特征和发生危害程度预测的研究,而对迁飞过程大气动力场的研究甚少,特别是对迁入和降落过程的大气动力场研究则是完完全全的空白。稻纵卷叶螟的迁飞和危害离不开一定的气象背景,地面上气象要素场的分布是与高空的环流形势和大气动力场的演变密不可分的。所以要系统而全面地探明气象条件对稻纵卷叶螟迁入和降落的影响,有必要对不同层次上的大气动力场进行客观分析,从而为利用数值预报技术对稻纵卷叶螟的发生过程进行预测预报提供可靠的理论依据。本文正是基于这一思想,选取了2003年这一全国性稻纵卷叶螟特大发生年中2个具有代表性意义的稻纵卷叶螟大发生过程,来进行个例研究的。

# 1 材料与方法

## 1.1 材料

本文所用的虫情资料是由农业部全国农业技术推广和服务中心提供的 2003 年全国稻纵卷叶螟模式报表,报表数据中包括了均匀覆盖全国 14 个省、市、自治区 69 个国家级重点病虫测报站的逐日、逐候田间平均蛾量、最高蛾量、大田普查百株幼虫量、大田普查百株卵量、大田普查平均卷叶率、发生面积占种植面积的比例和主害类型田等。

气象资料是从 PCVSAT™ 卫星气象数据接收系统中调取的覆盖各迁飞过程的实测气象数据和 T213 数值预报产品(包括逐日各时次东北半球高空、地面实测气象数据和北半球数值预报产品)。这里提及的 PCVSAT™ 是一种安装有卫星气象数据广播与接收系统的、以 PC 机为主的小型卫星地球站(PC very small aperture terminal),能实现范围广泛的单向或双向数据、语音、图像及其他综合业务信息的通信。该系统可以支持的应用领域有:全球气象数据及天气预报信息的广播与接收、北半球环境及资源基础地理信息的广播与接收、中国农业生产管理及其他数据产品的广播与接收及其他数据的广播与接收业务。

## 1.2 方法

地理信息系统(geographic information system, GIS)是以采集、存储、处理、分析、管理、更新和描述地球表面及中低层空间与地理分布有关的各类数据的空间信息系统,主要功能包括各类空间数据的拷贝与录入、空间检索、综合处理、空间分析、集成管理、动态存取和地理信息视觉化等技术。本研究选用的 GIS 软件是 ESRI 公司发行 ArcGIS8.6。首先,从 GIS 基础信息库中调出 1:4 000 000 的中国行政区划电子地图(由国家基础地理信息中心提供)作为我们所要成图的底图图层,截取研究所需的地理范围,做好虫情图层的叠加准备。其次,将原始虫情数据进行格式转换,变其 excel 文件为 tbf 文件,转换后的文件应以某一天的测报站名、该站所在经纬度、海拔高度、该站虫量为属性要素名(以行排列),以这一天全部测站的虫情资料为内容制成 GIS 识别的虫情属性表。并将表格资料导入 GIS 中形成研究者所需的、特定类型的、具有空间属性的图层,然后,在复合图层中,标注或显示指北针、图例、图形比例尺、经纬度坐标或公里坐标、图名等,将制成的图以 JPG 格

式或 WMF 格式存入相应的文件夹。最后,打开文件夹中所需分析的 GIS 图,对图中虫情空间分布特征进行分析,并作相关的文字描述。

由美国宾夕法尼亚州立大学(PSU)和美国国家大气研究中心(NCAR)于 1992 年联合研制的第五代中尺度数值预报模式(Mesoscale Model Version 5, MM5)(Grell *et al.*, 1992),本研究采用的是最新的 MM5 版本 V3.22,模式调试时,对模式主要参数作了如下选择:水平方向用双层嵌套网格,外层 101×101 个网格点,格距为 45 km,内层 103×103 个网格点,格距为 15 km,中心点的经纬度为 35°N,115°E。垂直方向为 23 层( $\sigma$  坐标),模式区域的水平网格是“Arakawa B 网格”,边界层参数化方案为高分辨率行星边界层方案,时间有限差分方案为二阶蛙跃时间差分方案,侧边界条件为松弛边界条件。调试完毕后,调入所需原始气象数据,运行模式输出各预报场和反映大气动力场的各物理量时空分布,以便作后续分析。

本研究在 Excel 中对 2003 年全国稻纵卷叶螟虫情资料(以逐日田间平均蛾量和最高蛾量为主)进行了时间序列分析,以后一天对应于前一天我国水稻主要生长区内有最大虫量突增为前提,分析后筛选了 2 个最典型的南、北迁过程,这 2 个过程分别是:7 月 20~21 日和 8 月 31 日~9 月 1 日,其中前者是北迁过程,后者是南迁过程。个例选定后,以迁入过程中每天每 667 m<sup>2</sup> 平均稻纵卷叶螟蛾量作为 GIS 入图空间分析的依据。将相关过程的气象数据导入 MM5V3.2 中尺度数值预报模式,运行模式后输出了一系列大气动力场和气象要素场,从中选取对迁飞影响较大的 925 hpa、850 hpa 两个等压面上的水平流场、垂直速度场和散度场,来分析其空间分布与稻纵卷叶螟迁飞场的关系,力图探明害虫迁入的大气动力学机制。理论上讲,水平流场不仅对稻纵卷叶螟在空中一定层次上的水平飞行起了重要的定向作用,而且它与垂直气流场的配合对害虫在低层和高空的升降起着明显的抑制或促进作用。当水平流场盛行偏南气流时,有利于北迁,盛行偏北气流时有利于南迁。而当水平流场呈气旋式辐合时,导致上升气流生成,有利于害虫升空;反之,呈反气旋式辐散时,导致下沉气流生成,则有利于害虫降落。垂直速度场的正值区对应着下沉气流区,它对稻纵卷叶螟的降落有利,而负值区对应着上升气流区,它对害虫升空有利。散度场的正值区对应着下沉气流区,负值区对应着上升气流区,因此正散度区对降虫有利,

负散度区对害虫迁出有利。从这一理论出发,我们模拟、分析得到了下列研究结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 2003 年稻纵卷叶螟总的发生特点及个例虫情的 GIS 空间分析

2.1.1 2003 年我国稻纵卷叶螟总的发生特点 2003 年的稻纵卷叶螟于 4 月 4 日始见于我国华南的两广稻区 5 月底、6 月初开始从华南北迁 6 月下旬、7 月初大量迁入南岭以北至秦岭、淮河之间的广阔稻区, 7、8 月继续北迁到达我国的北方稻区, 8 月底、9 月初开始南迁, 10 月上旬迁出我国境内。这一年的稻纵卷叶螟与往年的发生状况相比, 始见期正常, 终现期比往年早一些, 中间过程中无论是从南到北的北迁, 还是从北到南的南迁, 都比以往迁入峰次多、迁入量大、降落区广、发生程度严重, 是有史以来最严

重的大发生年之一。

2.1.2 2003 年我国稻纵卷叶螟重入过程的虫情 GIS 分析 本研究中我们选取了具有代表性意义的南、北迁过程各 1 个来分析它们的空间发生状况, 这 2 个过程分别是北迁的 7 月 20~21 日和南迁的 8 月 31 日~9 月 1 日。对于北迁的 7 月 20~21 日过程, 20 日仅在江苏的沿江稻区有一定的虫量分布, 而 21 日全国出现了大片的高值虫量分布区, 表明有大量的稻纵卷叶螟迁入, 而这一迁入过程的主要降虫区在黔东北、湖南大部和赣北地区, 副降虫区在苏、沪、浙相邻的长江三角洲地区(图 1 a, b)。对于 8 月 31 日~9 月 1 日的南迁过程, 我们可以从图 1(c, d)中看出, 迁入前的 8 月 31 日虫量较多的区域在苏、沪交界地区, 9 月 1 日降虫后, 湘、桂大部和闽西出现高值虫量分布区, 虫量突增表明该地区有大量稻纵卷叶螟迁入。

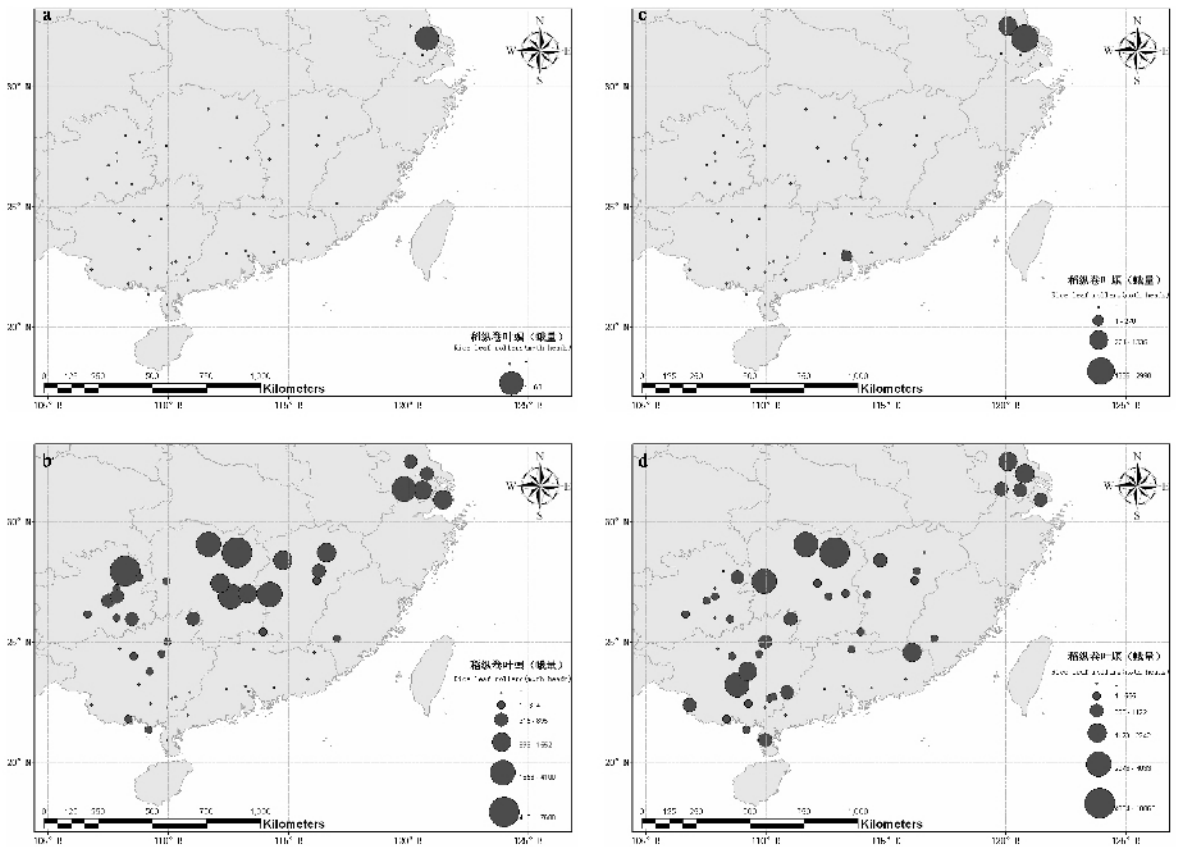


图 1 2003 年稻纵卷叶螟沿中国大陆南部海岸发生分布图

(由国家基础地理信息中心提供的 1:4 000 000 中国行政区划电子地图)

Fig. 1 The distributions of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee occurring along the coast of southern China mainland(1:4 000 000) a: 7 月 20 日 July 20th; b: 7 月 21 日 July 21st; c: 8 月 31 日 Aug. 31st; d: 9 月 1 日 Sept. 1st.

### 2.2 动力场分析

#### 2.2.1 水平流场：

(1) 850 hPa 等压面上的水平流场：7月20日20时的850 hPa水平流场对稻纵卷叶螟北迁较为有利，青藏高原以东，10°N~32°N之间的我国大陆均为一致的偏南气流，这对稻纵卷叶螟的大量北迁十分有利，而长江以北的华中西部及秦岭、淮河以北地区有较强的偏北气流，反气旋曲率区出现在黔东南和两湖盆地，这一地区正是集中降虫的区域(图2:a)。8月31日20时850 hPa流场是典型的南迁形势，与北迁迥异的是我国东南半壁为较强的东北气流，这对稻纵卷叶螟南迁十分有利，而在云贵高原东侧的湘桂大部和苏、浙、沪相邻区有明显的反气旋曲

率区，表明这两个地区有下沉气流存在，而这两个地区也正是12时后的主、副降虫区(图2:b)。

(2) 925 hPa 等压面上的水平流场：7月20日20时925 hPa高度上，危害区域上空风向与850 hPa基本相近，只是风速小一些，风向略微发生些顺时针偏转，反映出该日垂直方向也有辐散下沉气流，水平方向降虫区有西北-东南向的对流、风场切变和弱反气旋曲率存在，这些对降虫都比较有利(图3:a)。8月31日20时925 hPa高度上，我国南岭以北大都盛行偏北气流，南岭以南盛行偏南气流，两者分水岭正好在降虫区内，加上受南岭北麓地形阻挡的作用，次日有大量害虫降落到地面(图3:b)。

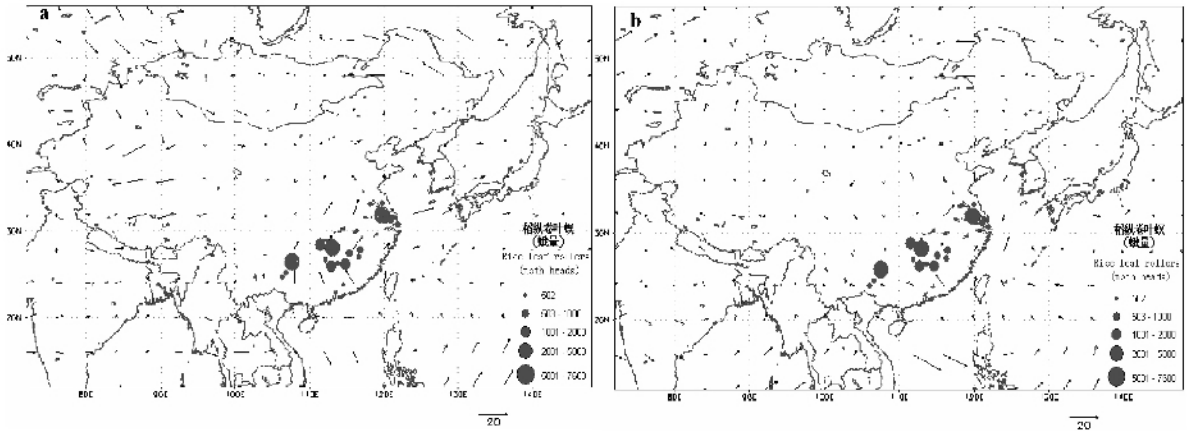


图2 850 hPa 等压面上的水平流场

Fig. 2 The horizontal air stream flow field on 850 hPa isobaric surface

a: 7月20日20时20:00(BJT) on July 20th; b: 8月31日20时20:00(BJT) on Aug. 31st.

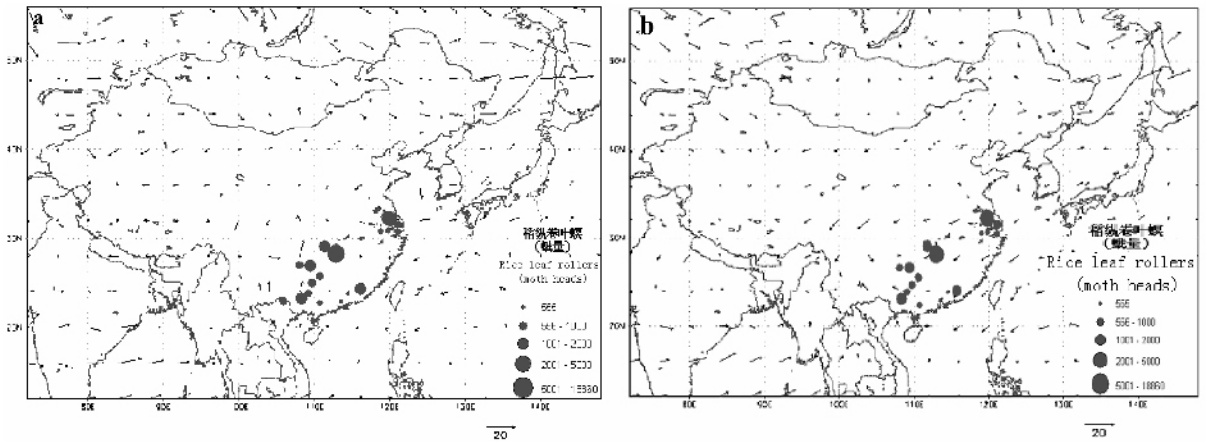


图3 925 hPa 等压面上的水平流场

Fig. 3 The horizontal air stream flow field on 925 hPa isobaric surface

a: 7月20日20时20:00(BJT) on July 20th; b: 8月31日20时20:00(BJT) on Aug. 31st.

**2.2.2 垂直气流场**：本研究考虑到 925 hPa 高度上垂直速度太小，很难反映垂直气流对降虫的作用，故只选取了 850 hPa 垂直气流场来分析。从图 4(a)上我们可以看出，7 月 20 日 20 时 850 hPa 高度我国东南大部为一片强下沉气流区，这对降虫比较有利，而在江、浙、沪相邻地区却有一弱上升气流区，但在次日 08 时地面降水分布图上(图略)却有一明显的强雷雨区，说明这一地区的降虫受对流性降水的作用

更大。在图 4(b)中，8 月 31 日 20 时 850 hPa 垂直速度场上，降虫区上空有一明显的正垂直速度区(即下沉气流区)，但其数值不是很大，在次日 08 时降水分布图(图略)上，该区地面出现了范围较广的降水，表明这次南迁的锋后降水(因为 08 时地面天气图上降虫区恰好位于冷锋后部，天气图略)和下沉气流共同造成了稻纵卷叶螟的集中降落。

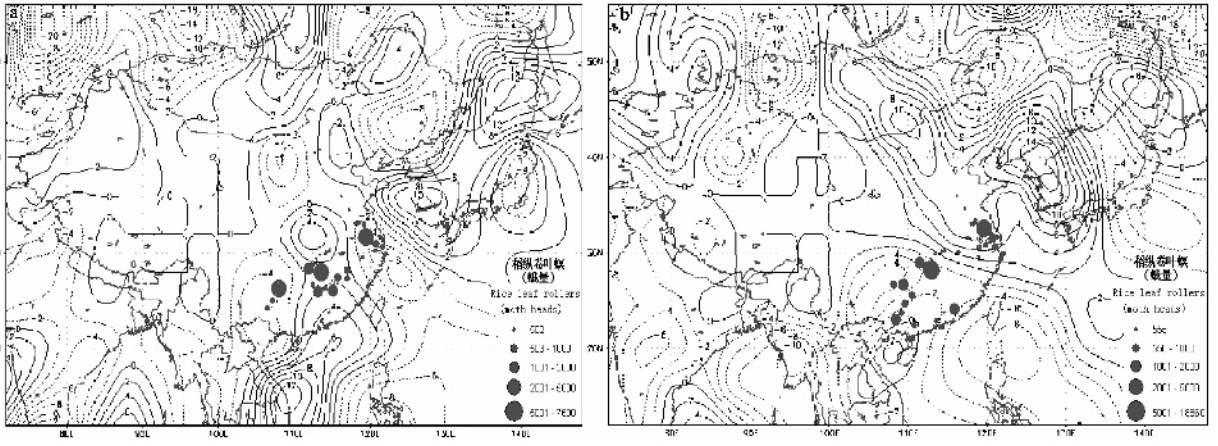


图 4 850 hPa 垂直速度场

Fig. 4 The vertical speed field on 850 hPa isobaric surface

a : 7 月 20 日 20 时 20 00 (BJT) on July 20th ; b : 8 月 31 日 20 时 20 00 (BJT) on Aug. 31st.

**2.2.3 散度场 (1) 850 hPa 散度场**：7 月 20 日 20 时 850 hPa 散度场上，江南北部的湘鄂交界地区和皖浙南部地区都是正散度区，表明该地区有较强的下沉气流存在，对降虫促进作用较大(图 5 : a)。8 月 31 日 20 时的 850 hPa 散度场上，华南中部的湘桂大

部有一正散度区，但其值不是很大，闽北、赣东、皖、浙、沪至苏南的大片地区也为正散度区，表明这一地区也有辐散下沉气流，这对降虫有利，但覆盖这一地区的正散度值较小，表明辐散式下沉气流不是很强，但毕竟这两个地区对应了集中降虫区(图 5 : b)。

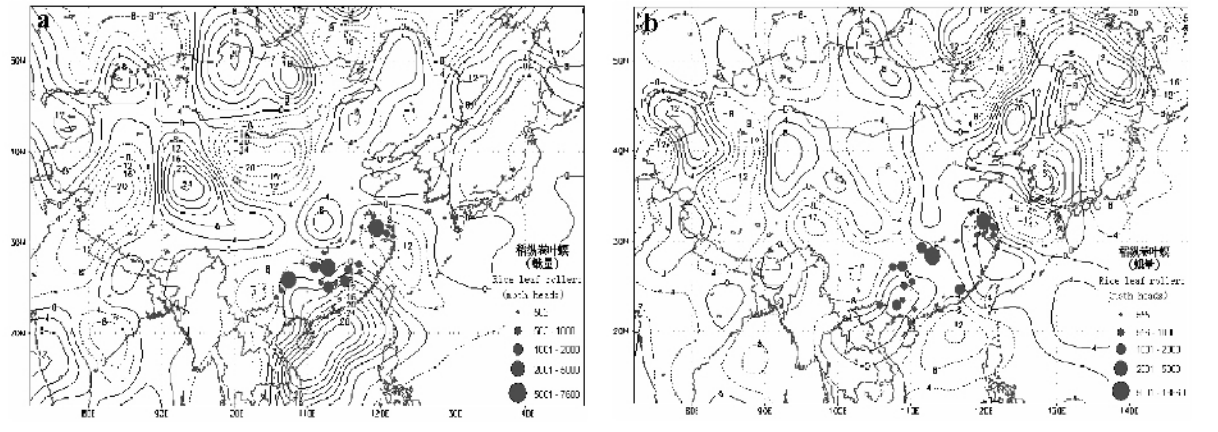


图 5 850 hPa 散度场

Fig. 5 Divergence field on 850 hPa isobaric surface

a : 7 月 20 日 20 时 20 00 (BJT) on July 21th ; b : 8 月 31 日 20 时 20 00 (BJT) on Aug. 31st.

(2) 925 hPa 等压面的散度场: 7 月 20 日 20 时, 长江中下游地区有一个较强的正散度区, 而西南和长江上游地区却为负散度区(即辐合上升气流区), 很明显, 降虫区应该在具正散度的东部地区, 与上一北迁过程不同的是, 这一过程的 925 hPa 高度上正散度值比 850 hPa 上大, 表明下沉气流随高度降低强度变大, 降落速度越来越快(图 6:a)。从图 6(b) 上可以看出 8 月 31 日 20 时 925 hPa 散度场上, 与稻纵卷叶螟降虫有关正散度区位于华东地区和桂、黔

交界地区, 前一地区正散度值较大, 下沉气流较强, 后一地区正散度值较小, 下沉气流较弱, 但这一时次前后该地区有降水出现, 两者综合作用不亚于前者, 这一点可以从图 1 的稻纵卷叶螟空间分布上可以得到验证。由此可见: 不同迁飞过程稻纵卷叶螟降落的大气动力机制不一样, 有时下沉气流起主要作用, 有时降水控制害虫降落, 有时地形作用为主, 关键要看大气环流形势、地理背景和害虫本身的生理生态因素哪一个占主导地位。

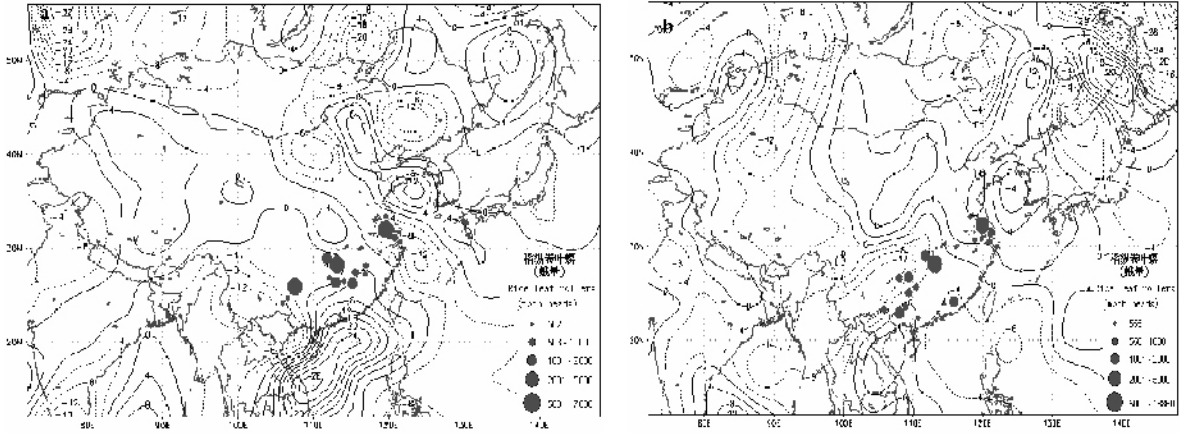


图 6 925 hPa 散度场

Fig. 6 Divergence field on 925 hPa isobaric surface

a: 7 月 20 日 20 时 00 (BJT) on Jul. 21th; b: 8 月 31 日 20 时 00 (BJT) on Aug. 31st.

### 3 讨论

#### 3.1 对本研究中相关研究结果的总结

总结以上 2 个个例的大气动力场分析我们可以发现:

(1) 水平流场既是风载迁飞性害虫空中水平运行的输送动力, 又是垂直升降启动的旋钮。迁入与为害前 36 ~ 12 h 前 850 hPa 和 925 hPa 的风向能够清晰地描述出害虫主迁飞层种群迁移的方向, 在北迁发生时, 从源地到迁入地之间是比较一致的偏南气流, 而南迁时, 从源地到迁入地之间则是比较均一的偏北气流。风场上的气旋式曲率区有利于害虫的起飞迁出, 反气旋式曲率区有利于迁入降落。

(2) 垂直气流场上的下沉气流是稻纵卷叶螟降落的主要大气动力之一。当稻纵卷叶螟降落危害某一区域 12 h 之前, 这一区域 850 hPa 的等压面上时常表现为一致的下沉气流区。

(3) 散度场是反映流体动力涡旋特征的一个重要物理量场。当稻纵卷叶螟的降落危害集中某一区

域时, 该区 24 ~ 12 h 前高空 850 hPa 和 925 hPa 高度散度场上常为正值区, 即有比较一致的辐散下沉气流存在。

(4) 水平流场、垂直速度场和散度场可以作为稻纵卷叶螟迁飞动力的重要预报场, 将其与害虫本身的生物学特征、地理背景、其他环境因素综合起来考虑可以很好地模拟和预测迁飞种群的迁出、空中飞行和降落危害。

#### 3.2 对稻纵卷叶螟迁入大气动力机制的讨论

(1) 分析以往国内外的相关研究, 我们可以了解到稻纵卷叶螟的迁飞和降落是一种主动性和被动性相结合的过程。其主动性表现在该虫是明显的夜出性昆虫, 主动性是由其遗传性和生理状态所决定的, 不管天气如何, 稻纵卷叶螟的蛾子都是夜间飞行, 白天停息。被动性表现在其空中运行时, 飞行的方向、高度、位移速度等都与气温、风向、风速、垂直气流等大气条件有关。对于降落过程而言, 稻纵卷叶螟本身迁飞能力和迁飞速度的差异是其不同个体迁入降落在不同落区内的最重要的内在动力机制。迁飞种群起飞时的密度一般比较高, 但在运行过程中迅速

扩散,密度随迁出距离增加而逐渐减少。其主要原因是空中种群中个体间体内所含水量、脂肪能量不同,振翅频率不同,单位时间内消耗的能量不同,而导致个体间迁飞能力和迁飞速度有差异,加之,不同个体飞行高度和飞行方向不尽一致,不同区域、不同高度的垂直气流和水平风方向和速度不同,环境温度、湿度场的适宜度不同,最终使得空中虫群随迁飞距离变远而分布越来越分散,迁飞层中的虫量越来越少,而伴随这一过程的是不断有一些个体降落到不同区域。

(2)大气动力胁迫是害虫迁入和降落的最重要的外在动力机制,下沉气流或降水所起的胁迫作用是降落最直接的大气动力机制。观测发现,稻纵卷叶螟常集中密集地降落在下沉气流强或雨量大的区域,这可以作为其降落受大气动力胁迫的直接证据。此外,还可从与稻纵卷叶螟生态学特征相似的褐飞虱的相关研究中得到旁证(翟保平等,1997;程遐年和吴进才,2003)。但降水或下沉气流是否是迁飞性害虫降落的必然条件呢?邓望喜(1981)通过飞机航捕发现,在一定强度以下的恶劣天气条件下,如槽前脊后、切变线附近、气旋、锋面、气流辐合区引起的弱降水区内,褐飞虱不一定被迫降,可以继续向前飞行。对稻纵卷叶螟来说,是否会出现同样的情况需要进一步研究证实。翟保平等(1997)认为:下沉气流是风载迁飞种群降落的重要条件但并非必要条件,迁飞个体的降落则由于飞行力的差异而在迁飞途中陆续不断地发生着。这里,降落的主动性是显而易见的。而且过去从该虫的标记-回收和轨迹分析中已证实最长可连续飞行5天(昼伏夜出),其迁飞降落过程正是主动性和被动性相结合的行为过程。但是,对落点的判断需确定迹点所至处有无降水天气和下沉气流。因此,不管是否为必要条件,在预测预报或轨迹分析过程中,对于降落,下沉气流和降水是必须要考虑的。在没有降水或下沉气流的情况下,的确是有一定数量的迁飞性害虫依然能够降落,甚至逆上升气流而降落,可见它们的降落是有主动性的。但这种主动性在降落过程中具有多大的作用,还需要进一步探明。毕竟,在有一定强度的降水或强下沉气流的情况下,我们看到了大部分风载迁飞性害虫的降落。因此,可以肯定,一定强度的降水(中雨量级以上)或一定强度的下沉气流(大于害虫主动迁飞的速度)是这些迁飞种群受动力胁迫而降落的重要机制。

(3)高空水平流场、温度场和湿度场分布是其起

飞迁出后定向飞行和地域性降落的间接动力机制。在高空风场中,有明显的气旋式风向辐合或对流辐合的区域往往是强上升气流产生和维持的地区,而反气旋式风向辐散区则往往是强下沉气流产生和维持的地区。前者对迁飞害虫的起飞迁出有利,后者对其种群降落十分有利,故用害虫主迁飞层对应的等压面高度上风向辐散区来分析它们的降落区有一定的参考价值。据实验室、飞机航捕、雷达观测、数值模拟试验等研究表明,风载水稻迁飞性害虫(如褐飞虱)在空中迁飞时,其种群大多在密集迁飞层高度上飞行,而这种密集迁飞层高度均与温湿条件紧密相关,也就是说,绝大多数害虫都在适宜的温度层、湿度层中飞行。而一旦这种适宜迁飞层高度下降、变薄或消失,迁飞种群的飞行高度就下降,最后越来越低直至降落和扩散至地面。而当温度场、湿度场和气流场三者相互作用成正向耦合时,更有利于害虫的迁入和降落。

(4)地形胁迫是迁飞性害虫迁入和降落的另一重要动力机制。地形的迎风坡往往是迁飞种群迁飞高度动力抬升的区域,而背风坡往往是其迁飞高度动力下降的区域。雷达观测发现,迁飞种群在翻越地形时,因受重力波作用,出现明显的迁飞高度的升降(Riley *et al.*, 1994)。但到目前为止,国内外还没有人对地形造成的起飞和降落作过具体的观测和理论模拟。这也是笔者下一步研究的目标之一。

## 参 考 文 献 (References)

- Chen GH, 2004. Forecasting for the occurrence degrees of *Cnaphalocrocis medinalis* by periodicity analysis. *Entomological Knowledge*, 41(3): 258-260. [陈观浩, 2004. 利用周期分析法预测稻纵卷叶螟的发生程度. 昆虫知识, 41(3): 258-260]
- Chen WR, Guo YY, 1996. Observations on the migration phenomenon of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Natural Science Journal of Hainan University*, 14(1): 37-42. [陈婉如, 郭玉彦, 1996. 稻纵卷叶螟迁飞现象的观察. 海南大学学报自然科学版, 14(1): 37-42]
- Cheng XN, Wu JC, Ma F, 2003. *Brown Planthopper: Occurrence and Control*. Beijing: China Agriculture Press. [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]
- Deng WX, 1981. Migration patterns of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) in the air. *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. 植物保护学报, 8(2): 73-82]
- Grell GA, Dudhia J, Stauffer DR, 1992. A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 5 (MM5). NCAR/TN-398+STR. NCAR Tech. Note. 1-67.
- 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: 389 – 402.
- Su QL, Zhang XX, 1995. Application of step-wise regression models to the mid term forecasting of rice leaf roller. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 18(3): 43 – 47. [苏庆玲, 张孝羲, 1995. 逐步回归在稻纵卷叶螟中期预测上的应用. 南京农业大学学报, 18(3): 43 – 47]
- Wang SS, Zhang XX, Tang JY, 2001. A disaster dynamic system for the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* based on GIS. *Acta Entomologica Sinica*, 44(2): 252 – 256. [汪四水, 张孝羲, 汤金仪, 2001. 基于地理信息系统的稻纵卷叶螟的灾变动态显示系统. 昆虫学报, 44(2): 252 – 256]
- Wang SS, Zhang XX, Zhang GF, Zhang JM, Zhang Z, 1995. Study on the mid-term forecasting of rice leaf roller in Tongzhou city, Jiangsu province. *Entomological Knowledge*, 32(5): 257 – 260. [汪四水, 张孝羲, 张谷丰, 张建明, 张治, 1995. 江苏省通州市稻纵卷叶螟中期预测预报的研究. 昆虫知识, 32(5): 257 – 260]
- Wang SS, Zhang XX, Zhang XL, 2003. Predictive warning system of neural network for occurrence level of rice leaf roller (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée). *Journal of Biomathematics*, 18(1): 93 – 97. [汪四水, 张孝羲, 张夕林, 2003. 稻纵卷叶螟发生程度的神经网络预警. 生物数学学报, 18(1): 93 – 97]
- Wu T, Jiang WH, 2004. Analysis of the cause for the great events of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée in 2003 and the prevention countermeasures. *Hubei Plant Protection*, (2): 18 – 19. [吴涛, 姜卫红, 2004. 2003年稻纵卷叶螟大发生原因分析及防治对策. 湖北植保, (2): 18 – 19]
- Xu RQ, Zeng CX, Huang YB, 1999. Relation between the occurring amount of the major endangering generations of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée and the rainfall. *Journal of Fujian Agricultural Sciences*, 14(3): 23 – 25. [许瑞秋, 曾成香, 黄岩彬等, 1999. 稻纵卷叶螟主害代发生量与降雨关系的研究. 福建农业学报, 14(3): 23 – 25]
- Zhai BP, Zhang XX, Cheng XN, 1997. Parameterizing the migratory behaviour of insects I. Behavioural analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 17(1): 7 – 17. [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): 7 – 17]
- Zhai BP, Zhang XX, 1998. Numerical simulations on the trajectory for marked moth of rice leaf roller (*Cnaphalocrocis medinalis*). *Journal of Southwest Agricultural University*, 20(5): 528 – 535. [翟保平, 张孝羲, 1998. 稻纵卷叶螟标记蛾迁飞轨迹的数值模拟. 西南农业大学学报, 20(5): 528 – 535]
- Zhang XX, Geng JG, Lu ZQ, Li GZ, Chen XL, Wu XW, 1980. Study on the migrating paths of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. *Acta Entomologica Sinica*, 23(2): 130 – 139. [张孝羲, 耿济国, 陆自强, 李国柱, 陈学礼, 吴学文, 1980. 稻纵卷叶螟迁飞路径的研究. 昆虫学报, 23(2): 130 – 139]
- Zhang XX, Geng JG, Zhou WJ, 1981. Study on the migration pattern of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée in China. *Journal of Nanjing Agricultural College*, (3): 43 – 54. [张孝羲, 耿济国, 周威君, 1981. 中国稻纵卷叶螟迁飞规律的研究. 南京农学院学报, (3): 43 – 54]
- Zhou LY, Zhang XX, 1995. Source region prediction of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée Huaihe and Changjiang rice areas. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 18(4): 39 – 45. [周立阳, 张孝羲, 1995. 江淮稻区稻纵卷叶螟异地预测预报. 南京农业大学学报, 18(4): 39 – 45]
- Zhou LY, Zhang XY, 1996. Forecasting expert system of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée in Yangtze and Huaihe River rice areas. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 19(3): 44 – 50. [周立阳, 张孝羲, 1996. 江淮稻区稻纵卷叶螟预测专家系统. 南京农业大学学报, 19(3): 44 – 50]

(责任编辑: 袁德成)