

白背飞虱重大迁入过程的大气动力背景

包云轩¹,徐希燕²,王建强³,王翠花¹,缪启龙²,翟保平¹

(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. 南京信息工程大学空间信息系,南京 210044;
3. 农业部全国农业技术推广服务中心,北京,100081)

摘要:为了揭示白背飞虱迁入的大气动力背景,为其灾变预警奠定气象学基础,根据 2003 年全国 69 个植保站提供的白背飞虱虫情资料,在 ArcGIS9.0 支持下对该年我国白背飞虱的时空分布规律进行了地学分析。利用 MM5 中尺度数值预报模式和由 PCVSAT 系统接收的气象数据对 2 个典型的白背飞虱南、北迁降落过程的大气背景进行了数值模拟和客观分析,模拟和分析结果表明:(1) 850hPa 等压面上气压场的配置及其随时空的演变是控制和影响白背飞虱迁入的最重要的大气环流因素。(2) 850hPa 高度上的偏南气流有利于白背飞虱种群的北迁,925hPa 等压面上的偏北气流有利于其南迁,这两个高度上风场的气旋式风向切变区有利于白背飞虱的起飞迁出,反气旋式切变区有利于其迁入降落。(3)降水对白背飞虱的降落有着十分重要的动力胁迫作用,但其在北迁降落过程中的作用明显强于南迁。(4)垂直气流场中强下沉气流可迫使白背飞虱大量降落,表明气流胁迫是风载迁飞性害虫灾变性迁入的一个极其重要的大气动力机制。

关键词:白背飞虱;迁入;GIS;MM5;大气动力背景

文章编号:1000-0933(2007)11-4527-09 中图分类号:Q968 文献标识码:A

Analysis of the atmospheric dynamical backgrounds for the great immigration events of white back planthopper (*Sogatella furcifera*)

BAO Yun-Xuan¹, XU Xi-Yan², WANG Jian-Qiang³, WANG Cui-Hua¹, MIAO Qi-Long², ZHAI Bao-Ping¹

1 Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects, the Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China

2 Department of Spatial Information Science, Nanjing Information Engineering University, Nanjing, Jiangsu 210044, China

3 National Popularization and Service Center of Agricultural Technology, the Ministry of Agriculture, Beijing, 100081, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27 (11): 4527 ~ 4535.

Abstract: In order to reveal the atmospheric dynamic backgrounds of white back planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera*, immigrations and establish the meteorological substructure of its catastrophes forewarning, based on the information of WBPH's investigations of 69 plant protection stations covered the most of Chinese rice-growing areas in 2003, Chinese tempo-spatial patterns of WBPH's populations was analyzed topographically under the software assistance of ArcGIS9.0. According to this analysis, 2 typical great immigrating events were selected. The observational meteorological data and T213 numerical simulation products covering these processes were obtained from the data accepted by a PCVSAT (PC Vary Small Aperture Terminal) station. These data were input into a model, MM5 3.2 (The Fifth-Generation Mesoscale Model for

基金项目:国家“973”资助项目(2006CB102007);国家自然科学基金资助项目(30671340)

收稿日期:2006-10-17;修订日期:2007-10-11

作者简介:包云轩(1963~)男,江苏如东人,博士,副教授,主要从事应用气象学、昆虫生态学研究。E-mail:Byx@njau.edu.cn;Baoyunxuan@163.com

Foundation item: The project was financially supported by 973 National Research Program (No. 2006CB102007) and the National Natural Science Foundation of China (No. 30671340)

Received date: 2006-10-17; **Accepted date:** 2007-10-11

Biography: BAO Yun-Xuan, Associate professor, mainly engaged in applied meteorology, insect ecology. E-mail: Byx@njau.edu.cn; Baoyunxuan@163.com

version 3.2), and a set of atmospheric dynamical fields during these migrating and landing processes were simulated numerically and analyzed objectively. The results showed as followed: (1) The most important factor of atmospheric general circulation controlled and influenced the immigration of WBPH's populations was the patterns and the tempo-spatial changes of potential height field on 850hPa isobaric surface. (2) There were relative coincident air streams with a northern exposure on 850hPa isobaric surface during the migrations northward of WBPH and there were concurrent airflows with a southern exposure on 925hPa isobaric surface during the migration southward. The regions with cyclonic shears of wind directions were advantageous to the taking-off and emigrating of the pest and the regions with anticyclonic shears of wind directions were favorable to the immigrating and landing on 850hPa or 925hPa. (3) The rainfall played an important dynamical threatening role in the landing processes of WBPH's populations. Its effect in the landing processes of migration northward was stronger remarkably than the landing processes of migration southward. (4) The strong subsiding airflow on the vertical velocity field could compel WBPH's populations to land cosmically. It testified that vertical airflow threatening is a principal atmospheric dynamical mechanism of the catastrophic immigrations of windborne pests.

Key Words : *Sogatella furcifera* ; immigration ; geographic information system ; the fifth-generation mesoscale model ; atmospheric dynamical background

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 属同翅目 (Homoptera) 飞虱科 (Delphacidae) ,是目前危害我国及亚洲其它国家和地区水稻的主要迁飞性害虫之一。它每年都作周期性的南北迁飞和降落危害,具有“国际性、迁飞性、爆发性和毁灭性”4个特点。对于我国,特别是近20a来,其发生面积不断扩大,几乎遍及我国所有的稻区。爆发频率逐渐增加,致害程度日趋严重。

白背飞虱在南北往返的迁飞过程中,其起飞和降落都是发生在一定的大气动力背景下的,大气环流形势和大气流场的时空变化直接决定了它的降落区域和时段,也间接决定了它对降落区水稻的危害程度。因此对其迁入大气动力背景的研究显得尤其重要。

过去,由于褐飞虱危害较重,国内外大多侧重于褐飞虱发生的生理生态机制研究。20世纪90年代以来,随着白背飞虱发生频次和危害程度的大幅度提高,对白背飞虱的研究逐渐增多。但对白背飞虱致灾的大气背景(特别是大气动力场)的分析研究较少。国内外的雷达昆虫学研究已证实,风载迁飞昆虫种群(如褐飞虱、白背飞虱、稻纵卷叶螟等)的大多数个体集中在边界层顶附近的最大风速带或不同尺度的低空急流中层运行^[1-6]。邓望喜的空捕结果表明,空中稻飞虱种群的绝大部分个体在300~2000m高度集群飞行^[7]。封传红等(2002)的研究也表明,白背飞虱远距离迁飞的运载气流为距地1500m左右的大尺度低空急流^[8],故本研究选用850hpa或925hpa等压面上的资料来进行分析研究是比较合适的。2003年,华红霞等根据飞机航捕资料和风场数据,应用轨迹分析模型,推算出了长江中游稻区夏季迁入白背飞虱的中尺度虫源地及迁入路径^[9]。2005年7月,Otuka et al.借助于MM5模式对迁入日本Chikugo地区的稻飞虱(含褐飞虱和白背飞虱)的逆推轨迹进行了分析^[10]。同年10月,Furuno等应用MM5模式对中国东南沿海越海迁入日本Kyushu地区的稻飞虱(含褐飞虱和白背飞虱)迁飞参数进行了分析研究^[11]。他们的研究从实证角度,应用现代数值预报和轨迹分析技术逆推出了白背飞虱的虫源地和迁飞路径,对害虫的异地预测技术无疑是一个重大改进,但这些研究都局限于白背飞虱迁飞行为及其飞行参数的研究,而对发生这些行为的大气动力背景很少涉猎。本文从白背飞虱的生物学特征出发,以国内外研究积累和现有研究条件为基础,充分考虑害虫起飞、降落的内在动力机制和外界动力胁迫效应,从理论模拟和实际虫情资料验证两方面着手,利用现代化的卫星通讯技术(PCVSATTM)、地理信息技术(ArcGIS)和数值模拟技术(MM5)对白背飞虱的起飞、降落过程(包括轨迹)及其大气动力背景进行了全面的分析、模拟和研究,得到了一些有价值的研究成果。

1 材料和方法

1.1 虫情资料

由农业部全国农业技术推广和服务中心提供的69个病虫测报站候报白背飞虱灯诱资料。

1.2 气象资料

2003 年 PCVSATTM 卫星气象数据接收系统接收的东北半球高空、地面实测气象数据和北半球气象数值预报产品。

1.3 个例筛选

本研究在对 2003 年全国白背飞虱虫情资料进行系统的时空分析的基础上,根据全国各站点白背飞虱发生量的严重程度,兼顾南、北迁过程,选取了两个典型的迁入过程,其中北迁降落过程 1 个,为 2003 年 7 月 10 ~ 11 日,南迁降落过程一个,为 2003 年 9 月 15 ~ 16 日。

1.4 方法

PCVSATTM 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 Vary 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。该系统可以支持的主要应用领域有: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、农业信息的广播与接收及其他地学数据的广播与接收业务。本研究所用的是 PCVSATTM (V)单向接收系统^[12]。

地理信息系统 (Geographic Information System,简称 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可视化等技术^[13]。本研究选用的 GIS 软件是 ESRI 公司发行的 ArcGIS9.0。

第 5 代中尺度数值预报模式 MM5 (Mesoscale Model Version 5)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 年联合研制的中尺度非静力数值预报模式,也是目前国际上公认的最先进的中尺度模式之一^[14]。本研究选用的是 MM5V3.22 模式,采用该模式时,主要参数选择如下:水平方向用双层嵌套网格,外层 101 × 101 个网格点,格距为 45km,内层 103 × 103 个网格点,格距为 15km,中心点的经纬度为 115°E,35°N。垂直方向为 23 层 (σ 面),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。

在 Excel 中对 2003 年我国白背飞虱虫情普查资料进行了单站时间序列分析和多站空间序列分析,制作了单站逐候害虫时间变化 (含迁入峰次和高峰日信息)曲线和某日多站害虫 GIS 空间分布图。筛选出典型的害虫南、北迁个例。先在 ArcGIS9.0 中对害虫降落状况及与降落相关的气象要素进行空间分析,然后调取覆盖各个例的气象数据,在 MM5 模式中对各迁飞过程的大气动力场进行数值模拟和客观分析,输出了一系列大气动力场和气象要素场,最后选取对迁飞影响较大的 850hPa 等压面上的位势高度场、850hPa 和 925hPa 等压面上的风场、850hPa 和 925hPa 等压面上的垂直速度场及地面降水分布等作为主要研究对象,来分析了解控制和影响白背飞虱迁入和降落过程的大气动力背景。

2 结果与分析

2.1 2003 年白背飞虱发生情况的 GIS 空间分析

每年 3 月中、下旬,白背飞虱从中南半岛迁入我国,并随西南气流不断北迁,6 月下旬 ~ 7 月初,虫源可到达我国东北。白背飞虱主要迁入代繁殖一代后就有长翅型成虫外迁。9 月上旬以后,随季风方向的改变,在偏北气流的运送下,开始回迁。2003 年白背飞虱在全国稻区发生危害程度总体上要较往年严重。但由于不同地区白背飞虱的迁出和迁入时期不同,导致各主要稻区的主害代虫源性质有较大差别。危害严重的地区大多集中在江淮稻区、两湖盆地和华南稻区。对这两个典型过程的降落虫量所进行的 GIS 空间分析发现,北迁过程的主降区在长江中下游稻区,波及长江上游、鄂西北和江岭稻区南部,值得一提的是这一高峰期恰逢二代白背飞虱在苏南、沿江、沿海、里下河等地大发生,江苏绝大部分地区迁入虫量普遍远高于近几年同期,局部特大发生,其中最大迁入虫量出现在江苏的太仓 (5217)和宜兴 (3860) (图 1)。南迁过程的主降区在鄂西北稻区、雷州半岛和皖、鄂、赣 3 省相邻地区,副降区分别在江苏稻区和湘、鄂两省交界地区,波及江岭稻区南部,最

大降落虫量出现在湖北的郟西 (5067)、武穴 (3404) 和广东的雷州 (4039) (图 2)。

2.2 白背飞虱灾变性迁入的大气动力背景分析

白背飞虱的迁飞和危害离不开气象背景的支持,地面上气象要素场的分布是与高空大气环流形势和大气动力场的演变密不可分的。在影响白背飞虱迁飞和危害的大气动力因素中,气压场、三维流场(包括风场和垂直气流场)和降水分布起着关键的作用。本研究正是基于这一观点,利用气象卫星通讯技术(PCVSATTM)、地理信息技术(ArcGIS)和数值模拟技术(MM5),同时结合相关的天气图、物理量图、卫星云图等对白背飞虱灾变性迁入过程的大气动力学背景进行了客观分析。

2.2.1 位势高度场

经 MM5 模式运行输出了 2003 年 7 月 10 日 8:00 和 9 月 15 日 8:00 不同层次的位势高度场,结合相关天气图、物理量图、云图等对 850hPa 高度的大气环流形势进行了分析。从理论上讲,夏季,中国大陆基本处于负的变压场,而东侧海洋上是正的变压场或者气压变化不大,形成东高西低的环流格局。2003 年 7 月 10 日 8:00 的 850hPa 位势高度场上,在我国西南地区、青海东部各出现一个负变压中心,位于青藏高原上的低槽发展东移,有利于其东南侧的西南涡的东移和发展,两槽一脊控制我国东部大陆,这样有利于来自青藏高原南侧和中南半岛的西南急流向东北输送、来自于青藏高原北侧的西北急流向东南输送(图 3)。大陆东侧的西北太平洋副高已明显开始蓄势准备西伸北抬,预示着江淮梅雨接近尾声。但与强弩之末的梅雨天气相对应的高空三维流场和地面降水在气压场主要天气系统的驱动下,酝酿着新一轮狂风暴雨。在我国大陆南部,相对强而宽广的西南低空急流贯穿于中南半岛至长江中下游稻区,成为白背飞虱种群北迁的空中通道,其左侧有低空切变线存在,强降水区位于低空急流的左侧,切变线的右侧。当切变线上有西南涡生成并向东北方向的长江中下游运动时,常有强对流性降水成带状出现。2003 年 7 月 10~11 日的强降雨带正好位于两湖盆地至江淮之间,呈东西走向或东北-西南走向,这与主降虫区十分吻合。

由图 4 可以看到 9 月 15 日 20 时西太平洋副高控制着我国东部大陆,但势力较前期(图略)有所减弱,脊线在 28~35°N,副高西侧的偏南气流与中高纬地区大陆高压东侧、东北大槽西侧的偏北气流交会于长江中下游地区及江南地区上空。同时,地面上(图略)北方冷空气势力加强。大陆冷高压出现并东移南下,副高开始南移东撤,两大高压南北进退,推动冷暖气团对峙于大陆东南半壁,不断形成锋面天气,而锋面降水的不断形成极为有利于白背飞虱的南迁和降落,这是一种典型的有利于白背飞虱南迁和降落为害的大气环流形势。与此同时,广东雷州半岛因为受台风倒槽的影响,持续数日一直为强降水,主降虫区出现在台风系统大风区西南边缘,这也是降水趋弱并有强下沉气流的区域。因此,台风影响是迫使白背飞虱在该地区降落的最重要原因。

2.2.2 850hPa 和 925hPa 风场

通常,白背飞虱在风速 $> 1.6\text{m/s}$ 时完全顺风飞行。因此,其空中迁飞的方向与高空风的方向是基本一致的。总的来说,高空西南风是其北迁的主要运载气流,东北风是其回迁的主要运载气流。因为在高空,风载迁飞性害虫只能随风而行,高空水平气流的流向决定了白背飞虱空中成层飞行的方向。与褐飞虱相似,白背飞虱夏季北迁的盛行高度通常在 1500m 左右,即相当于 850hPa 等压面的高度,秋季南迁的盛行高度通常在 750m 左右,即相当于 925hPa 等压面的高度。水平风场上的气旋性曲率区往往成为上升气流区,这对害虫的起飞十分有利,而反气旋性曲率区往往成为下沉气流区,这对害虫的降落十分有利。由东北半球实测气象资料导入地理信息系统软件(ArcGIS9.0)得到的北迁降落过程前一日 8:00 850hPa 的水平风场图 1 个和南迁降落过程前一日 20:00 925hPa 的水平风场图 1 个(见图 5 和图 6)。从图 5 上发现,北迁过程中,850hPa 高度上我国青藏高原以东、淮河以南地区均为比较一致的偏南气流,强对流性风向切变区出现在沿江和江淮地区,切变覆盖与穿越的地区有强对流性降水出现,这正好促使白背飞虱伴随降水降落在这些地区。结合相关天气图、物理量图(图略)等可知,中尺度对流扰动发展成中尺度涡旋,其结构为中心西部干冷、东部暖湿,环绕中心的是强对流性气旋式环流,同时其前侧较强的西南气流将南方的暖湿气流(符合白背飞虱的生物学特性,白背飞虱适应在高湿环境下迁飞,空中湿度较大有利于其迁飞个体保持自身的水分,以延续其生命,因而湿度

接彩图 1 2 3 4

较大的空间,往往迁飞种群的密度大)源源不断向切变区东南方输送和堆积,成为向沿淮沿江输送丰沛水汽的通道。该气流轴北端因受副热带高压流场影响而折向东行,将水汽和不稳定能量输送至长江中下游地区,而该地区正是地表水域密集分布的地区,夏日温度高,蒸发强烈,水汽上传较多。因此,无论水平方向还是垂直方向,该地区都是水汽和不稳定能量的强聚集区,在强上升运动(也是强对流性扰动)的驱动下,形成一系列对流云团,继而发展成强对流性暴雨。故从动力学角度讲,风场的输送作用是极其关键的一步,它对特定地区的强降水乃至白背飞虱的大规模迁入起到了触发、增强和维持作用。这在后面的垂直气流场和降水分布的分析中还会看到。

从图6上可以看出:南迁过程中,925hPa高度上鄂西北地区有一弱暖型气旋式风向切变区,该区北部以东风为主,使得南来气流在此产生质量堆积,受重力场影响“堆积”气层或气团出现重力下沉,形成下沉气流,导致气层或气团中的白背飞虱降落地面,这一点也可以从后面的垂直气流场中该区的高正值(强下沉气流)得到验证(见图8)。图6中的长江中下游地区有一较强的反气旋式风向切变区,表示该区为强下沉气流所控制,这对降虫十分有利,此外,该区对应了位势高度场上的副高控制区,而副高控制区以下下沉气流为主,与垂直速度场分布一致(见图8)。图中南岭以南受台风影响有一特强暖对流型气旋式风向切变区,意味着该区为一片强上升气流区(对应的垂直速度场上为高负值区,如图8),这对虫子起飞十分有利,而对降虫十分不利,但紧接着的是强对流(上升气流)转为强降水,强降水产生了强拖曳性下沉气流,加之台风移出后的系统西南尾部也出现了强下沉气流(图略),两者迭加从时间上和强度上都远远超过了前者,何况前期的台风强上升气流和空中的强辐合气流因覆盖范围广对迁飞性害虫的汇集极为有利,因此,这三方面的综合作用形成了次日凌晨雷州半岛的强降虫区。

2.2.3 垂直气流场

850hPa垂直气流对降虫有明显作用,经MM5模式运行输出的2003年7月10日20时850hPa垂直速度场显示(如图7):从 $10^{\circ}\text{N} \sim 46^{\circ}\text{N}$, $113^{\circ}\text{E} \sim 126^{\circ}\text{E}$ 之间有一哑铃形正垂直速度(即强下沉气流)区,而长江下游的华东地区、云贵高原东北部与湘北相接区域均有一高负值(强上升气流)区,这是强对流性上升气流区,预示着不久的未来这两个地区有强对流性降水。从时间上讲,前者的下沉气流区对当时的降虫有利,后者的强对流性上升气流区对未来的降水胁迫白背飞虱降落有利,因此,这一时段的垂直气流场对白背飞虱的迁入都是十分有利的。

9月15日20时925hPa垂直速度场(图8)显示:主降虫区(主要是鄂西北和鄂、皖、赣三省相邻地区)上空有一明显的正值区,其中心值达 8hPa/s ,表明该区低空有强下沉气流,强下沉气流是造成白背飞虱大量迁入的主要原因。而广东雷州半岛受台风影响,上空有一明显的负值区,其中心值达 -10hPa/s ,表示该区有较强的上升气流,但次日08时该区转为正值区(下沉气流区),其中心值为 6hPa/s (图略),次日白背飞虱大量降落在该区,这一区域正是台风系统大风区的西南外缘,也是台风北移后出现的中弱降水区和强下沉气流区。由此可见,迁飞性害虫受台风影响,其降落并不出现在台风系统的最强降水区内,而是出现在系统外围某一具强下沉气流的区域内,这也说明台风系统对迁飞性害虫降落的影响是以气流胁迫为主,降水胁迫为辅的。

2.4 地面降水的GIS分析

地面降水分布在一定程度上展示了大气动力强迫对白背飞虱降落的作用,白背飞虱迁飞途中遇到降水区时,降水能迫使一部分运行中的白背飞虱降落地面^[4,9]。但也有人研究认为,降水并不是白背飞虱降落的必要条件,但是,一般情况下,降水有利于白背飞虱的降落,尤其是对流性强降水,可使白背飞虱大量降落。迁入时期的降水量大小和降水强度变化与当地白背飞虱的发生消长有很好的相关性。这也说明一定强度的降水及其降水过程中下沉气流的拖曳作用可以使绝大部分在降水层及以下高度迁飞的风载昆虫强迫降落到地面。在我国,雨带常发生在西太平洋副高西北侧西南暖湿气流与来自西北的冷空气相交汇的区域。这种雨带随着副高脊线的南北季节性位移而作相应的移动。6~7月雨带停滞在长江中下游地区,历时达20天左右,形成江淮夏季连阴雨,这就是江淮梅雨。2003年7月10~11日的北迁白背飞虱正好赶上这个梅雨时期的后期

接彩图 5 ~ 8

(见图 5) 此时, 副高西侧的高空 (特别是 850hPa 高度) 西南气流十分强盛, 这促使在空中飞行的迁飞性害虫随西南暖湿气流大量向北输送。伴随长江中下游地区连日暴雨或特大暴雨, 水稻迁飞性害虫大量降落该区。降虫区与强降水区十分接近 (如图 9)。9 月份, 副高势力减弱南撤, 但仍然控制着我国江淮流域, 受副高控制 9 月 15 日 20 时 850hPa 高度上强下沉气流区出现在江淮及沿江地区, 这是南迁白背飞虱的第一个主降区出现在该地区的主要原因, 但该区在这一时期几无降水, 说明南迁降水对降虫的作用不是唯一的, 且不一定是主要的; 同一时段广东雷州半岛, 受台风登陆的直接影响, 出现了强降水, 在降水减弱由暴雨转为中、小雨级时, 台风系统北移, 其西南尾部出现了大量白背飞虱降落的情况, 这表明台风降水和台风尾部的强下沉气流共同造成了害虫的暴发性迁入, 但两者谁的降虫作用大是一个有待探讨的问题。对比南、北迁降水对降虫的作用可以看出, 北迁主降虫区与强降水区高度吻合, 南迁主降虫区与强降水区的吻合程度就不如北迁。

3 结论与讨论

本研究在 ArcGIS9.0 支持下, 根据 2003 年全国 69 个植保站提供的白背飞虱虫情资料, 对该年我国白背飞虱的时空分布规律进行了地学分析。在此基础上, 筛选出了 2 个能反映该年白背飞虱迁入和为害特征的典型南、北迁降落过程, 并利用 MM5 中尺度数值预报模式和由 PCVSATTM 卫星气象数据接收系统提供的气象数据对覆盖这 2 个过程的大气背景进行了数值模拟和客观分析, 研究结果表明: (1) 850hPa 等压面上气压场的配置及其随时空的演变是控制和影响白背飞虱迁入的最重要的大气环流因素。槽前脊后的偏南气流有利于害虫北迁, 槽后脊前的偏北气流有利于南迁; 高压控制区有下沉气流, 有利于降虫, 低压控制区有上升气流, 有利于害虫起飞; 台风是影响白背飞虱迁飞的重要天气系统, 它的不同部位有不同的三维气流格局, 对害虫的迁入和降落有不同的作用。(2) 850hPa 高度上的偏南气流有利于白背飞虱的北迁, 925hPa 等压面上的偏北气流有利于其南迁。这两个高度上风场的反气旋式切变区有利于害虫降落, 气旋式切变区则要看是暖式切变、冷式切变还是准静止式切变而定, 暖式切变有利于空中南来害虫的聚集, 冷式切变有利于北来害虫的聚集, 准静止式切变则有利于南北或东西向来的害虫的聚集。有了这 3 种气旋式切变, 还要看后期能否形成降水或下沉气流, 有了降水或下沉气流, 对降虫就有促进或胁迫作用。(3) 垂直气流场中强下沉气流区有利于白背飞虱大量降落, 强对流性上升气流区前期有利于害虫的上升聚集, 后期强降水及其造成的强拖曳性下沉气流对降虫十分有利, 表明气流胁迫是害虫迁入的最重要的大气动力机制。(4) 降水对白背飞虱的降落有着十分重要的动力胁迫作用, 强降水区和主降虫区有较高度度的吻合, 但是北迁降落过程中的吻合程度明显高于南迁。

白背飞虱和褐飞虱一样, 每年春、夏季自南向北迁飞, 秋季由北向南回迁, 作周期性的南北往复, 这是一系列生理生态机制相互作用的结果, 也是其本身生物学特征与其外界环境相互矛盾、相互统一的结果。在众多的生理生态机制中, 动力学机制起着十分关键的作用, 在动力学机制中, 大气动力背景是最重要的。从宏观背景来讲, 由于行星大气、海陆分布、地形起伏、水稻种植制度、害虫种群生物学特征等因素的共同作用, 白背飞虱的迁飞和降落遵循着一定的规律。从大气背景来讲, 我国是世界上典型的季风气候区, 受行星气压带 (北半球从赤道到北极分别为赤道低压带、副热带高压带、副极地低压带和极地高压带)、行星风带 (北半球从赤道到北极分别为赤道无风带、东北信风带、盛行西南风带和极地东风带) 和 4 个大气活动中心 (冬季为中高纬的西伯利亚高压和阿留申低压, 夏季是中低纬的印度低压和西太平洋副高) 的控制和影响, 在对流低层 (2km 以下), 冬季寒冷干燥盛行偏北风, 夏季炎热多雨盛行偏南风, 但冬夏转换的春秋季节, 冷暖气流往返交战, 形成了较复杂的季风气候格局, 这使得迁飞性害虫受其控制和影响, 迁飞和降落也存在着明显的不确定性。从大气动力背景上讲, 低纬东风带天气系统 (如副高、热带气旋等) 与中高纬西风带天气系统 (如高压、低压、锋面、槽、脊、切变线、低空急流等) 单独或相互作用, 大 (如副高、锋面等)、中 (如中尺度低涡、中尺度切变线等)、小 (如小尺度对流单体、飑线、龙卷风等) 不同尺度的天气系统单独或相互作用, 再加上地方性环流 (如海陆风、山谷风等) 的掺杂, 使得白背飞虱迁飞和降落的大气动力背景变得极端的复杂多变。但人们可以用位势高度场、三维流场、降水分布等来表征和描述大气动力背景, 通过对诸如此类的特征量的分析来阐释害虫降落的大气动力学机制, 弄清其迁飞和降落的大气背景, 揭示其生存和为害规律。因此, 从研究白背飞虱重大

迁入过程的大气动力背景出发,来了解其迁飞和为害的动力学机制无疑是一条最佳捷径。

本研究只选择了 850hPa 等压面的位势高度场和三维流场、925hPa 等压面的三维流场、地面降水分布等作为影响白背飞虱迁入的大气动力场,虽然在较大程度上较好地反映了大气动力背景对白背飞虱迁入的影响,但不能以偏概全,必须结合其它能反映大气动力特征的物理量(如湍度、散度、大气层结稳定度等)作全面的分析,这在笔者后续的一系列研究中会逐步完善。

References :

- [1] Riley J R, Reynolds D R, Smith A D, Rosenberg L J, Cheng X N, Zhang X X, Xu G M, Cheng J Y, Bao A D, Zhai B P, Wang H K. Using radar to observe brown planthoppers (BPH) ' migration in China. *International Rice Research Newsletters*, 1990, (2) 29-30.
- [2] Riley J R, Reynolds D R, Smith A D, Rosenberg L J, Cheng X N, Zhang X X, Xu G M, Cheng J Y, Bao A D, Zhai B P, Wang H K. The long-distance migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Delphacidae) in China: radar observations of mass return flight in the autumn. *Ecological Entomology*, 1991, (16) 471-480.
- [3] Riley J R, Reynolds D R, Smith A D, Rosenberg L J, Cheng X N, Zhang X X, Xu G M, Cheng J Y, Bao A D, Zhai B P, Wang H K. Observations on the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and other pests in east central China. *Bulletin of Entomological Research*, 1994, (84) 389-402.
- [4] Riley J. Riding on the wind: a radar perspective of insect flight. [Book] *Riding on the wind: a radar perspective of insect flight*. Chatham Maritime, UK: University of Greenwich, 1999, 31-7.
- [5] Reynolds D R, Riley J R. Flight behaviour and migration of insect pests. Radar studies in developing countries. [Book] *Bulletin-Natural Resources Institute*. UK: Natural Resources Institute (NRI), 1997. 71, vii + 114. 15.
- [6] Zhai B P. Tracking angels: 30 years of radar entomology. *Acta entomologica*, 1999, 42 (3) 315-326.
- [7] Deng W X. Migration patterns of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) in the air. *Journal of Plant Protection*, 1981, 8 (2): 73-82.
- [8] Feng C H, Zhai B P, Zhang X X, Tang J Y. Tempo-spatial Distribution of the Low Level Jet in China and the Migration Northward of Rice Planthoppers. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (4) 559-565.
- [9] Hua H X, Deng W X, Li L H, Zheng H. Trajectory analysis on the immigrant white-backed planthoppers in the middle reaches of the Yangtze River, captured by nets installed on plane in summer. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2003, 22 (4) 325-330.
- [10] Akira Otuka, Jimmy Dudhia, Tomonari Watanabe and Akiko Furuno. A new trajectory analysis method for migratory planthoppers *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae) and *Nilaparvata lugens* (Stål), using an advanced weather forecast model. *Agricultural and Forest Entomology* 2005, 7: 1-9.
- [11] Akiko Furuno, Masamichi Chino, Akira Otuka, Tomonari Watanabe, Masaya Matsumura, Yoshito Suzuki. Development of a numerical simulation model for long-range migration of rice planthoppers. *Agricultural and Forest Meteorology* 2005, 133: 197-209.
- [12] Information and Network Department of Chinese Meteorological Bureau, Huayun Information technology and Engineering Corporation. Install and use manual for broadcasting and reception system of satellite meteorological data with PCVSAT (PC Vary Small Aperture Terminal). Beijing: Chinese Meteorological Press, 1998.
- [13] Zhang C, Chen B X, Wu L. Geographic Information System. Beijing: Higher Education Press, 1995.
- [14] Grell G, Dudhia A J, Stauffer D R. A Description of the Fifth-Generation Penn./NCAR Mesoscale Model Version5 (MM5). NCAR/TN-398 + STR. NCAR Tech, 1992. 1-67.

参考文献:

- [6] 翟保平. 追踪天使: 雷达昆虫学 30 年. *昆虫学报*, 1999, 42 (3) 315-326.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 华红霞, 邓望喜, 李儒海. 长江中游稻区夏季飞机航捕迁入白背飞虱的轨迹分析. *华中农业大学学报*, 2005, 22 (4) 325-330.
- [12] 中国气象局信息网络部, 华云信息技术工程公司. 卫星气象数据广播与接收系统 PCVSAT 接收站安装使用手册. 北京: 气象出版社, 1998.
- [13] 张超, 陈丙咸, 邵伦编著. 地理信息系统. 北京: 高等教育出版社, 1995.

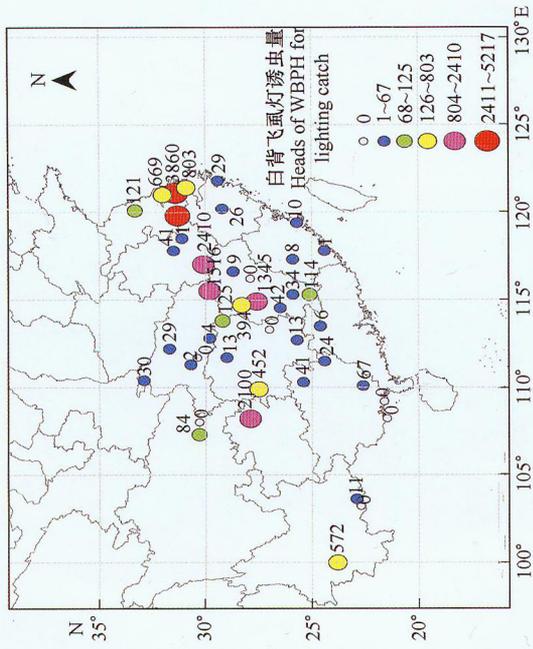


图1 2003年7月11日中国东南部稻区白背飞虱灯诱虫量空间分布图
Fig.1 Spatial distribution of WBPH's lighting catches in the growing-rice areas of southeastern China on Jul. 11th in 2003

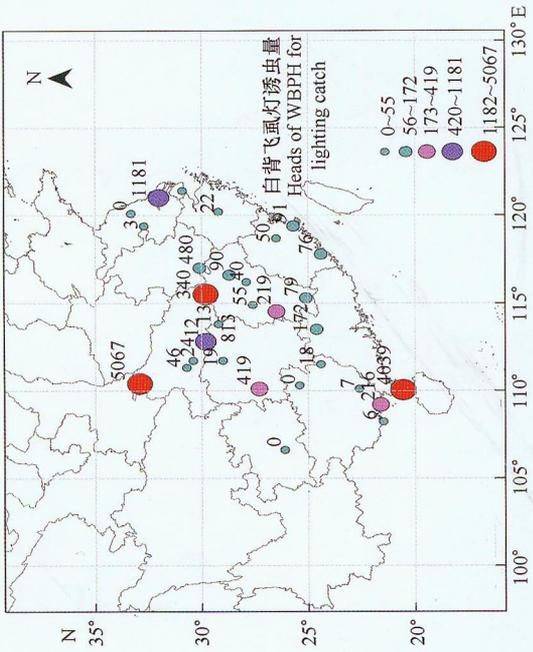


图2 2003年9月16日中国东南部稻区白背飞虱灯诱虫量空间分布图
Fig.2 Spatial distribution of WBPH's lighting catches in the growing-rice areas of southeastern China on Sep. 16th in 2003

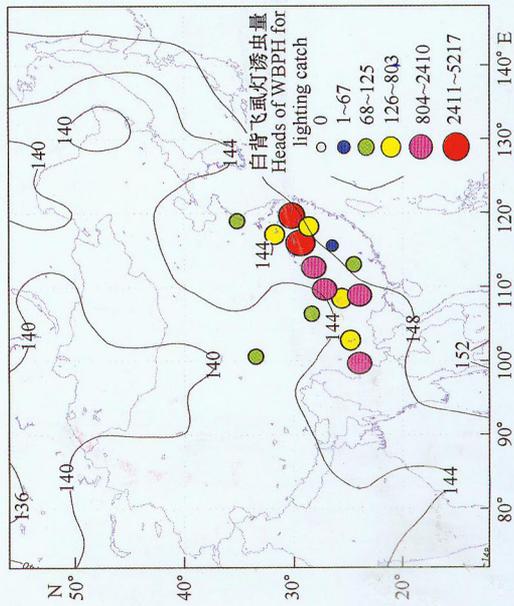


图3 2003年7月10日08:00时850hPa位势高度场(gpm)
Fig.3. Geopotential height field on 850hPa isobaric surface at 08:00 (BJT) on July 10th in 2003(gpm)

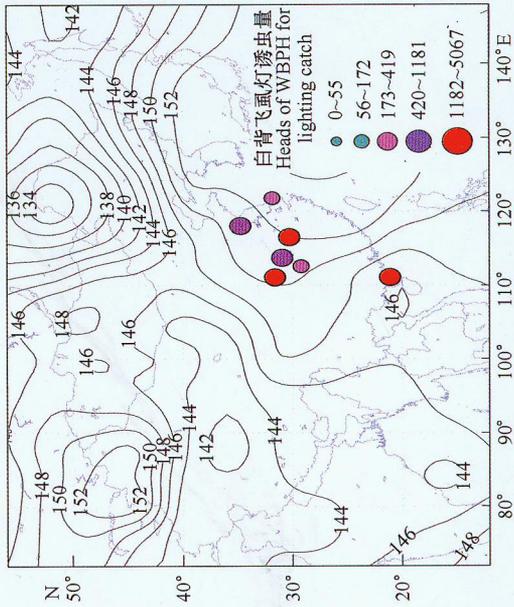


图4 2003年9月15日20:00时850hPa位势高度场(gpm)
Fig.4. Geopotential height field on 850hPa isobaric surface at 20:00(BJT) on September 15th in 2003(gpm)

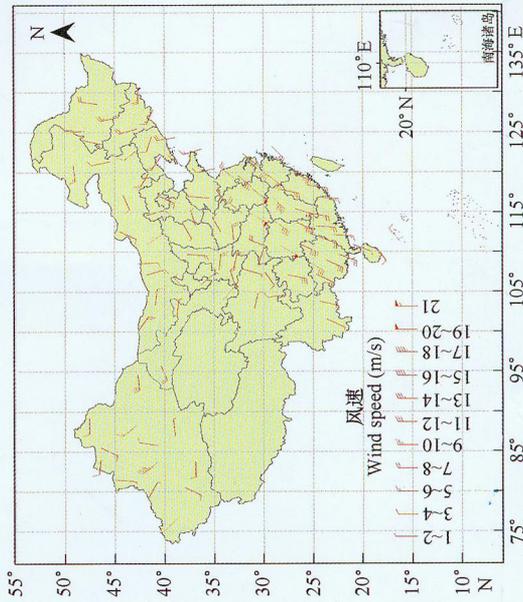


图5 2003年7月10日08:00时850hPa风场
Fig.5 Wind field on 850hPa isobaric surface at 08:00 (BJT) on Jul. 10th in 2003

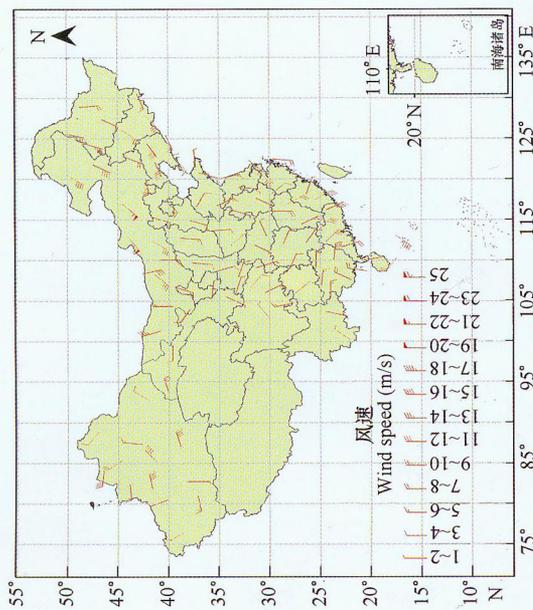


图6 2003年9月15日20:00时925hPa风场
Fig.6 Wind field on 925hPa isobaric surface at 20:00(BJT) on Sep. 15th in 2003

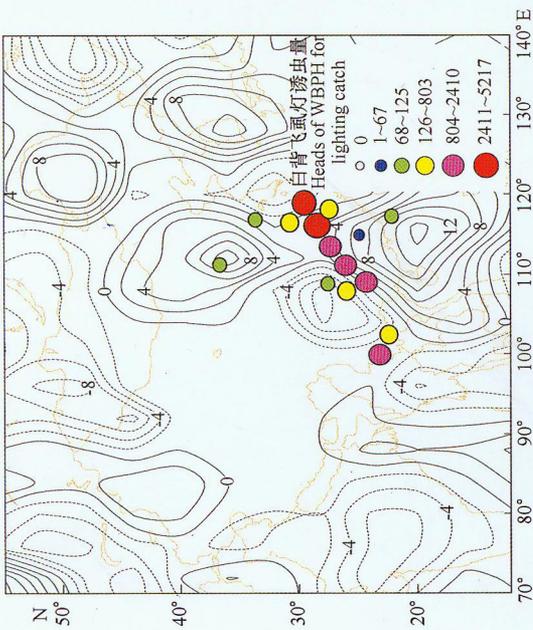


图7 2003年7月10日20:00时850hPa垂直速度分布(hPa/s)
Fig.7 Vertical speed pattern on 850hPa isobaric surface at 20:00 (BJT) on July 10th in 2003

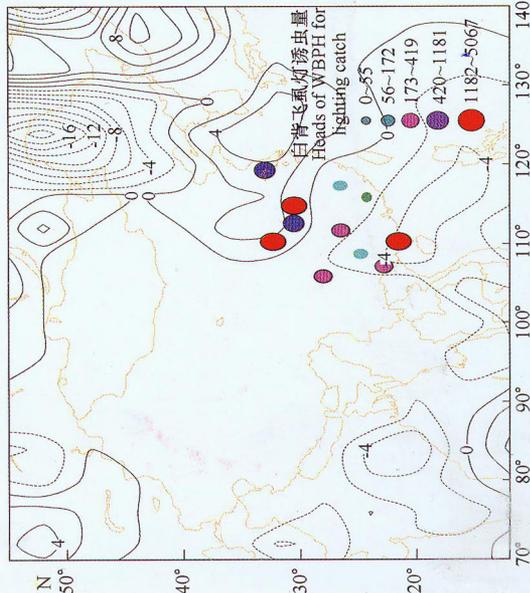


图8 2003年9月15日20:00时925hPa垂直速度分布(hPa/s)
Fig.8 Vertical speed distribution on 925hPa isobaric surface at 20:00 (BJT) on September 15th in 2003(hPa/s)

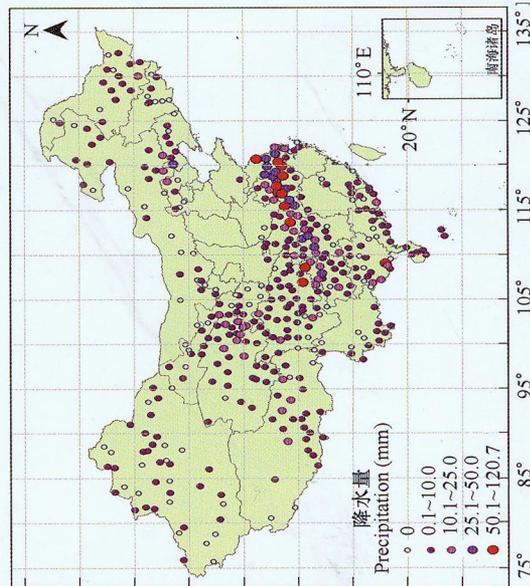


图9 2003年7月10日08:00时~11日08:00时地面降水分布
Fig.9 Surface rainfall distribution from 08:00(BJT) on July 10th to 08:00(BJT) on July 11st in 2003

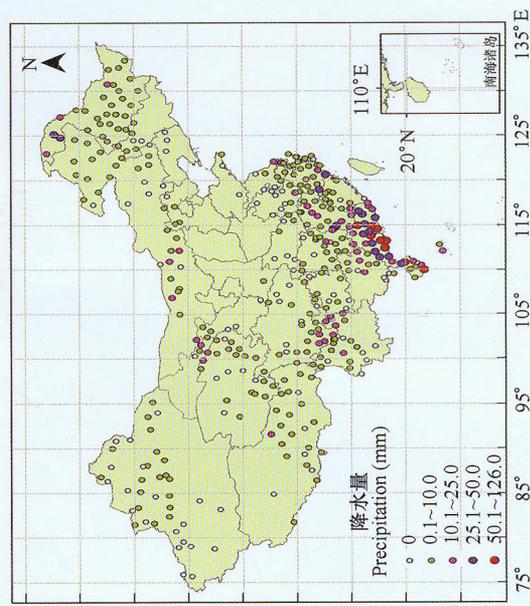


图10 2003年9月15日08:00时~16日08:00时地面降水分布
Fig.10 Surface rainfall distribution from 08:00(BJT) on September 15th to 08:00(BJT) September 16th in 2003