

万素琴,任永建,刘志雄,等. 湖北省稻飞虱迁入高峰日后向轨迹模拟分析[J]. 气象,2012,38(12):1538-1545.

湖北省稻飞虱迁入高峰日后向轨迹模拟分析<sup>\*</sup>

万素琴<sup>1</sup> 任永建<sup>1</sup> 刘志雄<sup>1</sup> 周国珍<sup>2</sup> 高正旭<sup>1</sup> 邓 环<sup>1</sup> 邓爱娟<sup>1</sup>

1 武汉区域气候中心,武汉 430074  
2 湖北省植保总站,武汉 430070

**提 要:** 稻飞虱是造成湖北省水稻大幅度减产原因之一。它是一种典型的气候型迁飞虫害,起飞、迁飞和沉降均与气象条件密切相关。本文采用高空气象场资料、植保站稻飞虱灯下监测资料,在个例分析基础上,利用质点轨迹、扩散及沉降模式 HY-SPLIT-4,模拟稻飞虱迁飞高峰日后向轨迹,分析湖北省稻飞虱迁飞路径和主要虫源。主要结论:(1)湖北省稻飞虱迁入主要路径有 5 条:西南路径、南路路径、东南路径、东路路径和东北路径;(2)春夏季稻飞虱迁入路径以西南路径比例最大,平均为 47%;其次为南路和东南路径;(3)秋季稻飞虱迁入路径以东北路径比例最大,平均为 30%,其次为西南路径,比例为 23%;(4)秋季与春夏季相比,西南路径比例下降了 24%,东北路径增加了 22%,东路路径增加了 8%,南路、东南路变化不大。(5)偏南方向(西南路、南路和东南路)三种路径之和春夏季为 80%,秋季为 55%,秋季比春夏季减少了 25%;(6)综合春夏季、秋季,西南路径对湖北省全省都有较大影响,对南部的影响大于北部,偏北路径秋季影响大,南部和东南路径对江汉平原影响最大。(7)理论上稻飞虱虫源区在 19°~25°N、90°~120°E 之间,以东西向为长轴、南北向为短轴、面积约为 3300 km×660 km 的矩形区域内,越南、泰国、缅甸、柬埔寨和菲律宾等地是湖北稻飞虱初始虫源地,云南、贵州、两广、福建、湖南、江西和江淮等地区为湖北省稻飞虱的二次虫源地或三次虫源地。根据未来数值预报场进行质点前向轨迹模拟,综合分析虫源地是否有大量稻飞虱、是否符合起飞条件,目标地是否有下沉气流配合,可以开展稻飞虱迁入气象预报,此工作尚需进一步开展业务试验。

**关键词:** 稻飞虱, 高峰日, 迁飞路径, 后向轨迹, 模拟

The Backward Trajectory Simulation of the Planthopper  
During Migratory Peak in Hubei Province

WAN Suqin<sup>1</sup> REN Yongjian<sup>1</sup> LIU Zhixiong<sup>1</sup> ZHOU Guozhen<sup>2</sup>  
GAO Zhengxu<sup>1</sup> DENG Huan<sup>1</sup> DENG Aijuan<sup>1</sup>

1 Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074  
2 Hubei Plant Protection Station, Wuhan 430070

**Abstract:** Rice planthopper is one of the causes for the great reduction of the yield of rice in Hubei Province. It is a kind of typical climatical moved flying insect pest, its takeoff, flying and settlement are closely related to weather conditions. In this article, the upper-air meteorological field data, and the rice planthopper monitoring data under the lamp, are used to analyze the example, using particle track and diffusion and settlement pattern HYSPLIT-4, etc. for exploring the fly path and main source of rice planthopper in Hubei Province. The main conclusions may be drawn as follows: (1) There are five paths of rice planthopper having moved in Hubei Province, i. e. the southwest path, the south path, the southeast path, the east path and the northeast path. (2) In spring and summer, the southwest path is the main path, with its proportion of 47%, followed by the south path and the southeast path. (3) In autumn, the northeast path is the main path, with its proportion of 30%, followed by the southwest path, being 23% of the total number. (4) In comparison with spring and summer, in autumn the proportion of southwest path is decreased by 24%, that of northeast path is increased by 22%, that of the east path is increased by 8%, and very few changes in the south path and southeast path. (5) The proportion of the southly path (the sum of

<sup>\*</sup> 湖北省气象局基金项目“湖北省水稻稻飞虱迁飞路径气象预报方法研究与应用”资助  
2011 年 11 月 10 日收稿; 2012 年 3 月 1 日收修定稿  
第一作者: 万素琴, 主要从事农业气象灾害研究. Email: ycwsq@sohu.com

the southwest path, the south path and the southeast path) is 80% in spring and summer, and that is 55% in autumn. Compared with spring and summer, autumn has a decrease of 25%. (6) No matter whether it is spring and summer, or autumn, the southwest path is the most impact on Hubei Province, and influence on the southern part is greater than the northern part. The influence of the northeast path in autumn is greater than that in spring and summer. The impacts of south path and southeast path on the Jiangnan Plain are greater than the others. (7) In theory, the source area of rice planthopper is  $19^{\circ}$ — $25^{\circ}$ N,  $90^{\circ}$ — $120^{\circ}$ E, with an east-west long axis and a north-south short axis, a rectangular area of approximately  $3300\text{ km}\times 660\text{ km}$ . Countries Vietnam, Thailand, Myanmar, Cambodia, and Philippines are the initial sources of rice planthopper, and regions Yunnan, Guizhou, Guangdong, Guangxi, Fujian, Hunan, Jiangxi, etc., are the secondary sources or the third-class insect sources. Combining the forward trajectory simulation by numerical prediction field and the comprehensive analysis of insect source and target areas, we can carry out the planthopper moving weather forecasting, and this work still needs further developing in operational tests.

**Key words:** rice planthopper, peak day, migratory path, backward trajectory, simulation

## 引 言

稻飞虱具有“国际性、迁飞性、暴发性和毁灭性”的特点,是湖北省乃至全国水稻生产中主要的灾害性害虫之一。20 世纪 70 年代开始,有学者通过海洋捕捉、航空捕捉、高山网捕、田间灯下虫情观测及标记回收研究,并结合气象资料分析,已确切证实褐飞虱具有远距离迁飞特性<sup>[1]</sup>。程遐年等<sup>[2]</sup>认为长江中下游 7 月上中旬的虫源主要来自南岭区;邓望喜<sup>[3]</sup>、华红霞等<sup>[4]</sup>、霍治国等<sup>[5]</sup>、侯婷婷等<sup>[6]</sup>、包云轩等<sup>[7-9]</sup>、程极益等<sup>[10]</sup>和胡继超等<sup>[11]</sup>根据飞机空捕的结果,认为长江中游稻区春、夏迁入的褐飞虱主要来自  $27^{\circ}$ N 以南地区;巫国瑞等<sup>[12]</sup>认为中国大陆的虫源主要来自中南半岛的湄公河三角洲的冬春稻上,每年随西南季风首先降落在两广地区,然后随着早稻的成熟及收割渐渐由南向北迁飞。封传红等<sup>[13]</sup>和娄伟平等<sup>[14]</sup>采用计算机对褐飞虱的迁飞轨迹进行分析,即用风速、风向确定空气粒子的移动来模拟褐飞虱的迁飞,对初夏雨季迁入日本和秋季回迁到热带地区的褐飞虱的迁飞路径进行了模拟。李儒海<sup>[15]</sup>应用中国东部 80 个探空台站 850 hPa 等压面的气象资料及褐飞虱灯诱及田间观测资料对长江中游稻区,进行了轨迹分析,首次得出了长江中游稻区夏季稻飞虱迁入的中尺度虫源地及迁飞路径。

近年来气象部门开展了以统计方法为主的稻飞虱发生气象条件预报,主要是考虑迁入地气象条件对稻飞虱生长繁殖的影响,建立了相应统计模型<sup>[16-21]</sup>。但尚未对稻飞虱迁移轨迹作过研究,对稻飞虱迁移路径气象预报的工作更鲜有人做。本文采用高空气象场资料、植保站稻飞虱灯下监测资料,利用供质点轨迹、扩散及沉降模式 HYSPLIT-4,模拟

稻飞虱迁飞高峰日后向轨迹,分析湖北省稻飞虱迁飞路径和虫源地,建立湖北省稻飞虱迁飞路径气象预报方法,并在业务服务中应用检验,目的是提升稻飞虱气象预报服务能力。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料及来源

气象场采用美国国家环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)的 2003—2009 年的全球再分析资料,每天 4 个时次:00、06、12 和 18 UTC。水平分辨率  $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$  的经纬网格,垂直方向共 17 层,从地面到 10 hPa。要素包括:风、温、湿、位势高度以及地面降水等。

稻飞虱迁入数据:湖北省武穴、通城、监利、枝江、宣恩、夷陵区、郧西、宜城、曾都和孝感 10 个病虫害测报站 2003—2008 年 4—10 月逐候灯下稻飞虱虫量资料,由湖北省植保总站提供。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 迁飞高峰日的确定

本文根据稻飞虱迁入高峰日用植保站监测的灯下褐飞虱和白背飞虱虫量合计值作为选取依据进行确定。定义当灯下合计虫量 2000 头以上并且比上候增加 1000 头以上,对应的日期确定为稻飞虱迁入高峰日。

#### 1.2.2 模拟模式选择

由于稻飞虱体型小、重量轻、自身飞行速度慢,所以,当它在适宜的气象条件下升入高空后,可假设其在高空气流的作用下,像空气质点一样做被动的顺风迁移。因此分析稻飞虱飞行轨迹,可参照大气污染物

长距离输送的轨迹模式来模拟稻飞虱的迁飞(全国褐飞虱科研协作组,1981)。本文选用供质点轨迹、扩散及沉降分析综合模式系统 HYSPLIT-4。

1.2.3 后向轨迹模拟方法

模拟时段:从高峰日向过去后推 5 天,即 120 小时。

模拟高度:1000、1500、2000 m 三个高度。

模拟地点:湖北省 10 个稻飞虱监测站,分别代表鄂东南(武穴和通城)、江汉平原(监利和枝江)、鄂西南(宣恩和夷陵)、鄂西北(郧西和宜城)、鄂东北(曾都和孝感)5 个区。

分春夏季(4—8 月上旬)、秋季(8 月中旬至 10 月上旬)两个季节,对鄂东南、江汉平原、鄂西南、鄂西北和鄂东北 5 个区域,用 HYSPLIT-4 系统,共分析了 2003—2008 年稻飞虱迁入高峰日 244 个,三个高度上迁飞轨迹 742 条。

1.2.4 后向轨迹空间模糊聚类

HYSPLIT-4 系统自带有空间聚类分析功能。空间模糊聚类分析(也称为簇分析)是按照轨迹路径最接近的原则对许多条轨迹分组的分析方法。假设有  $N$  条轨迹,定义每个簇的空间方差为簇内每条轨迹与簇平均轨迹对应点的距离平方和。每条轨迹在聚类起始时刻各自独立为一个簇,空间方差为零。计算出所有可能组合的两个簇的空间方差,选择两个簇合并为一个新簇,使得合并后所有簇的空间方差之和(TSV)比合并前增加最小。最初几步 TSV 迅速增加,然后 TSV 增加缓慢,但到分成一定数量的簇后,再进一步合并,则 TSV 又迅速增大,说明此时将要合并的两个簇已经很不近似。把 TSV 再次迅速增大的点作为分簇过程的结束点,此前分出的

几个簇即为所得到的最终簇,算出每个簇的平均轨迹,表示该类相似轨迹的平均状态。文中采用的分为三个簇,即三类路径。

利用 HYSPLIT-4 系统自带的空间聚类分析功能,对 5 个区域,分春夏季(4—8 月上旬)、秋季(8 月中旬至 10 月上旬)两个时段,分别进行空间模糊聚类分析,得出每个区域在春夏季、秋季稻飞虱的主要迁入路径。

2 后向轨迹模拟分析

2.1 春夏季迁飞高峰日后向轨迹模拟分析

2.1.1 个例分析

2004 年 6 月 30 日武穴站灯下稻飞虱达 6249 头,比上一候最多的一天 26 日多了 5700 头,是一个典型的稻飞虱迁入高峰日。对其进行后向轨迹模拟(图 1a),这次稻飞虱主要受亚洲季风中西南气流影响,稻飞虱随空气团沿偏南路径经过广东、湖南、江西,于 6 月 30 日到达湖北的武穴。6 月 21 日、26 日广东雷州、阳春、合浦,湖南双峰,江西的宁都和安远等地监测到大量稻飞虱。

2007 年 7 月 19 日宣恩站灯下稻飞虱达 13528 头,比上一候最多的一天 13 日多了 10108 头,是一个典型的稻飞虱迁入高峰日。后向轨迹模拟(图 1b)显示,稻飞虱受亚洲季风中的西南气流的影响,经东南亚缅甸、老挝、越南进入我国,再经广西、贵州到达湖北省的鄂西南地区。7 月上中旬广西、贵州监测到大量稻飞虱。

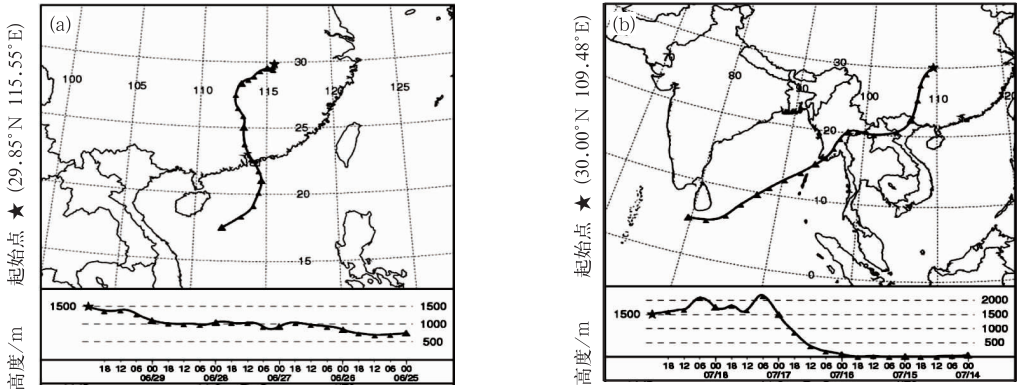


图 1 武穴站 2004 年 6 月 30 日(a)及宣恩站 2007 年 7 月 19 日(b)稻飞虱高峰日后向轨迹 (★为轨迹的起始点位置,下同)

Fig. 1 Backward trajectories of planthoppers on peak days  
(a) 30 June 2004 at Wuxue Station, (b) 19 July 2007 at Xuan'en Station  
(★denotes the starting point of the trajectory)

2.1.2 迁飞轨迹分析

根据 1.2.4 节研究方法,2003—2008 年春夏季(4—8 月上旬)5 个区域 10 个测报站共选出稻飞虱迁入高峰日 157 个,一个区域内的 2 个测报站出现相同的高峰日,合并记为 1 个高峰日,合并后共 154 个高峰日。利用 HYSPLIT-4 系统模拟得出 154 个高峰日 1000、1500、2000 m 3 个高度后向轨迹 462 条。对 5 个区域的后向模拟轨迹分别进行空间模糊聚类分析,得出春夏季 5 个区域迁入轨迹聚类分析

结果(见图 2 和表 1)。如鄂西南春夏季 42 个稻飞虱高峰日 126 条迁入轨迹经聚类分为三个簇(图 2a),即鄂西南春夏季稻飞虱迁入的三条主要路径;其中第一簇为西南方向,是春夏季迁入最多的路径,占 50%(图 2b);第二簇为东北方向,是春夏季迁入最少的路径,仅占 11%(图 2c);第三簇为正南方向,是春夏季迁入第三条主要路径,占 39%(图 2d)。其他 4 个区域轨迹聚类分析结果见表 1(图略)。

表 1 列出了 5 个区春夏季轨迹聚类分析结果。

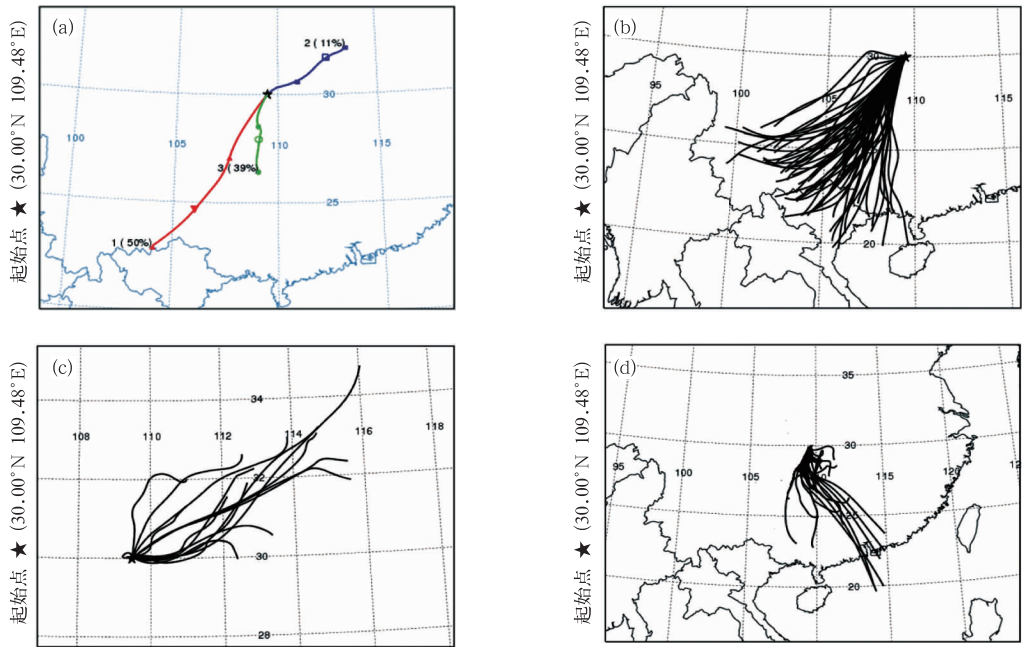


图 2 鄂西南春夏季稻飞虱迁入高峰日后向轨迹聚类分析结果

(a) 聚类得出的三个路径及百分比, (b) 西南路径轨迹, (c) 东北路径轨迹, (d) 南路路径轨迹

Fig. 2 The cluster analyses of planthopper backward trajectories moving into the the southwest of Hubei Province in spring and summer on peak days (a) cluster 1, 2 and 3, (b) cluster 1, (c) cluster 2, and (d) cluster 3

表 1 湖北省春夏季稻飞虱迁飞轨迹聚类分析

Table 1 The planthopper migration trajectory cluster analyses in spring and summer over Hubei Province							
区域	高峰日/d	样本/条	西南路	南路	东南路	东路	东北路
江汉平原	32	96	34%	—	59%	—	6%
鄂东南	30	90	38%	48%	—	13%	—
鄂东北	31	93	55%	—	—	35%	10%
鄂西南	42	126	50%	39%	—	—	11%
鄂西北	19	57	56%	—	23%	—	14%
合计(平均)	154	462	47%	17%	16%	10%	8%

可以看出,湖北省春夏季稻飞虱迁入路径有西南路、南路、东南路、东路和东北路 5 种路径。其中西南路径比例最大,平均为 47%;其次为南路、东南路径,分别为 17%和 16%;东路和东北路径为 10%,东北路径最少,为 8%。偏南方向(西南路、南路和东南路)三种路径之和平均为 80%,是稻飞虱的主要来

向,其中以西南路径最多。

2.2 秋季迁飞高峰日后向轨迹模拟

2.2.1 个例分析

2003 年 9 月 22 日监利站灯下观测稻飞虱达 23052 头,比前一候高峰日增加 20303 头。是一个典



型的稻飞虱迁入高峰日。后向轨迹模拟(图 3a)显示,秋季环流形势开始由夏季型向冬季型转换,受西北气流影响,该股气流从蒙古国境内,向偏东南方向输送,在进入山东前,气流高度 2500 m 以上,基本不会有稻

飞虱,稻飞虱从华北、山东、安徽等地上升到 1500 m 高空,借助这股气流向南方回迁,影响到湖北的晚稻。9 月中旬安徽等地监测到大量稻飞虱。

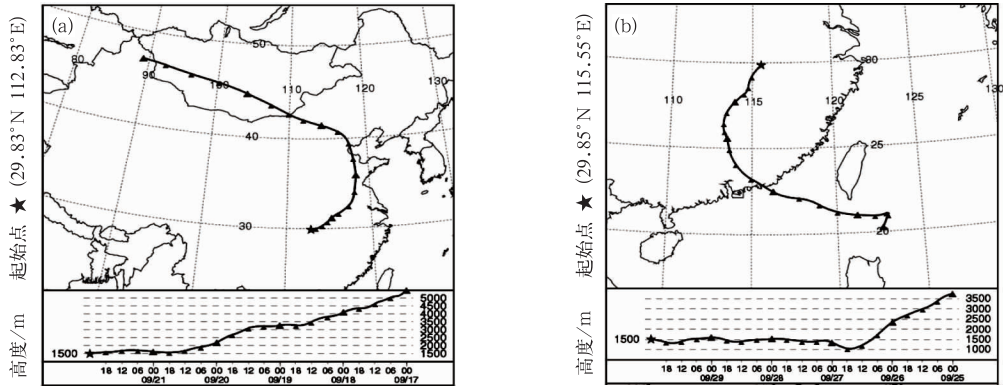


图 3 监利站 2003 年 9 月 22 日(a)、武穴站 2005 年 9 月 30 日(b)稻飞虱迁入高峰日后向轨迹  
Fig. 3 Same as Fig. 1, but for (a) 22 September 2003, at Jianli Station, and (b) 30 September 2005, at Wuxue Station

2005 年 9 月 30 日武穴站灯下监测到稻飞虱 403436 头,其后向轨迹显示(图 3b),受东南气流的影响,该股气流 9 月 27 日路径广东,经湖南、江西等地,9 月 30 日影响到湖北。9 月 21、26 日广东、湖南、江西等地监测到大量稻飞虱。

2. 2. 2 迁飞轨迹分析

与 2. 1. 2 节同样方法,2003—2008 年秋季(8 月

中旬至 10 月上旬)5 个区域共选出稻飞虱迁入高峰日 90 个。用 HYSPLIT-4 系统模拟得出后向轨迹 270 条。对 5 个区域的后向模拟轨迹分别进行空间模糊聚类分析,得出秋季 5 个区域迁入轨迹聚类分析结果(图 4 和表 2)。如鄂东南秋季 32 个稻飞虱高峰日 96 条迁入轨迹经聚类分为三个簇(图 4a):其中第一簇为东北方向,是秋季迁入最多的路径,占

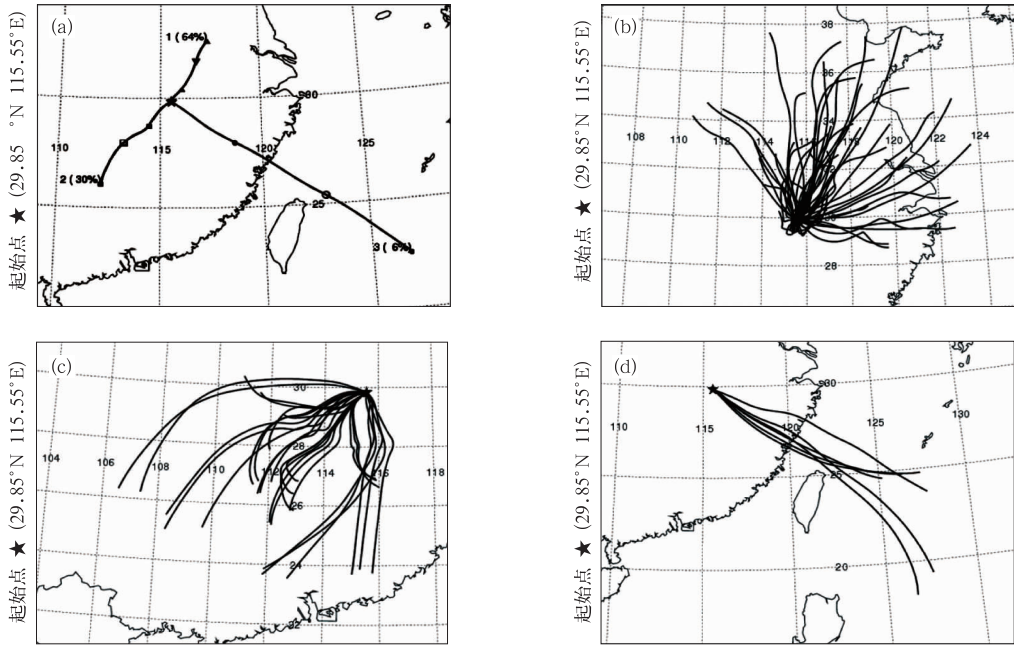


图 4 鄂东南秋季稻飞虱迁入高峰日后向轨迹聚类分析结果  
(a)聚类得出的三个路径及百分比,(b)东北路径轨迹,  
(c)西南路径轨迹,(d)东南路径轨迹

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for the southeast of Hubei Province in autumn

表 2 湖北省秋季稻飞虱迁飞路径分析

Table 2 The planthopper migration trajectory cluster analyses over Hubei Province in autumn							
区域	高峰日/d	样本/条	西南路	南路	东南路	东路	东北路
江汉平原	25	75	—	35%	31%	—	35%
鄂东南	32	96	30%	—	6%	—	64%
鄂东北	12	36	25%	—	25%	—	50%
鄂西南	11	33	18%	—	27%	55%	—
鄂西北	10	30	20%	43%	—	37%	—
合计(平均)	90	270	23%	17%	15%	18%	30%

64%(图 4b);第二簇为西南方向,是秋季迁入第二条主要路径,占 30%(图 4c);第三簇为东南方向,占 6%(图 4d)。其他 4 个区域轨迹聚类分析结果见表 2。

如表 2 所示,湖北省秋季稻飞虱迁入路径主要有东北路、西南路、东路、南路和东南路 5 种路径。其中东北路径比例最大,比例为 30%;其次为西南路径,比例为 23%;南路、东南路和东路三种路径分别为 17%、15%和 18%。与春夏季相比,西南路径比例下降了 24%,东北路径增加了 22%,东路路径增加了 8%,南路和东南路变化不大。偏南路径(西南路、南路和东南路三种路径之和)为 55%,比春夏季减少了 25%。东北路和西南路是秋季稻飞虱的主要来向。

2.3 迁入路径、季节特点和虫源

2.3.1 迁入路径

根据 2003—2008 年 6 年稻飞虱迁飞高峰日后向轨迹模拟、典型个案分析、空间聚类分析,湖北省稻飞虱迁入路径主要有 5 条,分别为:

西南路径:稻飞虱由缅甸北部、越南北部、老挝北部等地随西南气流迁入中国后,5—6 月进一步向北迁飞,经云南、贵州、广西、湖南到达湖北省。这条路径是湖北省稻飞虱迁入的主路径,全省各地均可受其影响,春夏季明显多于秋季。

南路路径:从海南岛中北部、中南半岛同纬度地区迁到我国两广南部和南岭地区,经广西、湖南到达湖北省。这条路径也是稻飞虱迁入湖北省的主要路径,对江汉平原、鄂东南、鄂西南影响最大。

东南路径:7—8 月从台湾、菲律宾随台风迁至东南沿海,经福建、广东、江西等地到达湖北省,这条路径迁入的稻飞虱对江汉平原、鄂东南影响较大。

东路路径:在季风开始转为东北气流时,稻飞虱由苏、皖等稻区自北向南回迁,经安徽、江苏、江西到达湖北省。这条路径迁入的稻飞虱首先到达鄂东南

或鄂东北,对湖北省东部地区影响较大。

东北路径:8 月下旬至 9 月初东北地区中稻成熟,开始往南回迁,经华北地区到达湖北省。这条路径迁入的稻飞虱首先到达鄂西北或鄂东北,对湖北省北部地区影响较大。

2.3.2 迁入路径的季节特点

根据 2003—2008 年 6 年春夏季、秋季稻飞虱迁飞高峰日后向轨迹空间聚类分析,湖北省稻飞虱迁入路径季节特点为:

(1)春夏季稻飞虱迁入以偏南路径为主,其中西南路径最多,偏南路径(包括西南路径、南路、东南路径之和)占总轨迹数的 80%;其次为东路,占总轨迹数的 10%;东北路径仅 8%,主要发生在盛夏 8 月上旬,此时北方稻区稻飞虱开始南迁,而春季到初夏,北部地区无稻飞虱可迁入。因此春季开展稻飞虱预报,重点要考虑西南路径,其次是南路和东南路,东北路则在进入盛夏后才需要考虑。

(2)秋季稻飞虱迁入路径比较复杂,以东北路径为主,其次是西南路径,再其次为东路、南路和东南路。偏南路径(包括西南路径、南路和东南路径之和)占 50%,但其比例比春夏季下降了 25%。因此秋季开展稻飞虱的预报,重点要考虑东北路径和西南路径,其次是东路和南路。这主要是因为 8 月中旬后,中国季风转向,北方稻区稻飞虱在东北气流运载下大量向南回迁,同时南方稻飞虱在偏南气流带动下,仍然可以迁入。

2.3.3 稻飞虱虫源地分析

原始虫源:经过对 742 条轨迹的综合分析,理论上虫源区基本上在 19°~25°N、90°~120°E 之间,以东西向为长轴,南北向为短轴,面积约为 3300 km×660 km 的矩形区域内。迁入湖北省的稻飞虱虫源主要在东南亚如越南、泰国、缅甸、老挝、柬埔寨、菲律宾等国家,其中越南是我国稻飞虱的主要初始虫源地。

二次虫源:实际上稻飞虱远距离迁入的很少,大

部分是从越南、泰国、老挝、缅甸、柬埔寨和菲律宾北部迁入到我国的云南、贵州、两广和福建等地区,经过第二次或第三次北迁到湖北省,因此云南、贵州、两广、福建、湖南、江西和江淮等地区为湖北省稻飞虱的二次或三次虫源。

南迁虫源:8月中旬后,中国季风转向,华北和东北、东部稻区成为湖北省秋季稻飞虱虫源地,在东北气流运载下向南回迁。

进一步分析春夏季、秋季不同路径与虫源地及与影响地区有一定对应关系(表 3)。在春夏季、秋季,西南路径对全省各地均有影响,一般先到达南部地区,对南部地区影响大于北部地区;偏北路径在秋季对江汉平原、鄂东北、鄂东南影响最大,而在夏季影响很小,仅在 8 月上旬影响鄂北;南部和东南路径稻飞虱对江汉平原影响最大;东路路径稻飞虱春夏季主要影响鄂东地区、秋季主要影响鄂西地区。

表 3 湖北省稻飞虱迁飞路径与虫源地及影响区域对应关系  
Table 3 Correspondence between planthopper migratory path, insect source, and the affected area over Hubei Province

季节	迁飞路径	百分比/%	可能虫源	影响地区	气候特征
春夏季	西南路径	47	缅甸北部、越南北部、老挝北部、中南半岛;云南、贵州、广西、湖南	全省各地,南部大于北部	低空急流、西南低涡、低槽
	南路路径	17	海南岛中北部、中南半岛、菲律宾广东和广西的南部、湖南等地	江汉平原,鄂东南、鄂西南	西南低涡、副高外围西南气流、低槽
	东南路径	16	东南沿海、福建、两广、江西等	江汉平原、鄂东北	副高外围东南气流、南海台风
	东路路径	10	安徽、江苏、江西	鄂东北、鄂东南	入海高压后部
	东北路径	8	很少	鄂北	盛夏槽后偏北气流
秋季	东北路径	30	东北、华北地区	江汉平原鄂东北、鄂东南	槽后的偏北气流
	西南路径	23	云南、贵州、广西、湖南	全省各地,南部大于北部	西南低涡、低槽、副高外围西南气流
	东路路径	18	安徽、江苏、江西	鄂西南、鄂西北	副高南部东风气流
	南路路径	17	广东和广西的南部、湖南等地	江汉平原、鄂西北	副高外围西南气流、低槽
	东南路径	15	东南沿海、福建、两广、江西等	江汉平原、鄂东北、鄂西南、鄂东南	台风

3 小 结

根据 2003—2008 年春夏季、秋季稻飞虱迁飞高峰日后向轨迹模拟、典型个例分析和空间聚类分析,所得主要结论有:

- (1)湖北省稻飞虱迁入主要路径有 5 条:西南路径、南路路径、东南路径、东路路径、东北路径。
- (2)湖北省春夏季稻飞虱迁入路径以西南路径比例最大,平均为 47%;其次为南路和东南路径,分别为 17%和 16%;东路和东北路径最少,比例为 10%和 8%。西南路径是春夏季稻飞虱的主要迁入路径。
- (3)湖北省秋季稻飞虱迁入路径以东北路径比例最大,平均为 30%;其次为西南路径,比例为 23%;东路、南路和东南路三条路径分别为 18%、17%和 15%。东北路和西南路是秋季稻飞虱的主

- 要路径。
- (4)秋季与春夏季相比,西南路径比例下降了 24%,东北路径增加了 22%,东路路径增加了 8%,南路和东南路变化不大。偏南方向(西南路、南路和东南路)三条路径之和春夏季为 80%,秋季为 55%,秋季比春夏季减少了 25%。稻飞虱迁入方向有明显的变化。
- (5)无论是春夏季、秋季,西南路径对湖北全省都有较大影响,对南部的影响大于北部;偏北路径秋季对东南部地区影响大,春夏季影响很小;南部和东南路径稻飞虱对江汉平原影响最大;东路路径稻飞虱春夏季主要影响鄂东地区、秋季主要影响鄂西地区。
- (6)理论上虫源区在 19°~25°N、90°~120°E 之间,以东西向为长轴,南北向为短轴,面积约为 3300 km×660 km 的矩形区域内,包括越南、泰国、缅甸、柬埔寨和菲律宾等地,其中越南是稻飞虱的主要初

始虫源地。

(7) 云南、贵州、两广、福建、湖南、江西和江淮等地区为湖北省稻飞虱的二次虫源或三次虫源。稻飞虱从越南、泰国、缅甸、老挝、柬埔寨和菲律宾北部迁入到我国的云南、贵州、两广和福建等地区,经过第二次或第三次北迁到湖北省。

(8)实际业务与服务中,需根据未来数值预报场进行气流前向轨迹模拟,综合分析虫源地是否有大量稻飞虱、是否符合起飞条件,是否有下沉气流配合,开展稻飞虱迁入气象预报。从春季 4 月开始,从植保部门获取当前南方理论虫源地实际稻飞虱发生情况,确定最近时期可能虫源地,即前向轨迹模拟起点(可能有多);分析这些源地是否满足稻飞虱起飞条件;根据未来 3~5 天数值预报场资料,模拟出稻飞虱迁入轨迹(可能有多条),分析这些轨迹是否进入(或经过)湖北省、以及气流到达湖北省的时间和区域、同一时间这些地区是否有下沉气流或较强降水。综合分析后做出稻飞虱迁入气象预报,包括从哪些地方、哪些路径迁入、迁入时间和迁入区域等,进而编写稻飞虱迁入气象预报服务产品。应用轨迹分析开展稻飞虱迁入气象服务还需开展大量预报试验。

参考文献

[1] 全国褐飞虱科研协作组. 我国褐飞虱迁飞规律研究进展[J]. 中国农业科学, 1981, 12(4): 58-64.

[2] 程遐年, 张孝羲, 程极益, 等. 褐飞虱在我国东部秋季回迁的雷达观察[J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(3): 24-32.

[3] 邓望喜. 褐飞虱和白背飞虱空中迁飞规律的研究[J]. 植物保护学报, 1981, 8(2): 73-82.

[4] 华红霞, 邓望喜, 李儒海. 长江中游稻区夏季飞机航捕迁入褐

飞虱的轨迹分析[J]. 昆虫学报, 2002, 45(1): 68-74.

[5] 霍治国, 陈林, 叶彩玲, 等. 气候条件对中国水稻稻飞虱为害规律的影响[J]. 自然灾害学报, 2002, 11: 97-102.

[6] 侯婷婷, 霍治国, 李世奎, 等. 影响稻飞虱迁飞规律的气象环境成因[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 142-147.

[7] 包云轩, 翟保平, 程遐年. 褐飞虱迁飞参数的数值模拟[J]. 生态学报, 2005, 25(5): 1107-1114.

[8] 包云轩, 程极益, 程遐年, 等. 盛夏褐飞虱北迁大发生的气象背景: 个例分析[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(4): 35-40.

[9] 包云轩, 程极益, 程遐年, 等. 中国盛夏褐飞虱北迁过程的动态数值模拟[J]. 昆虫学报, 2000, 43(5): 171-182.

[10] 程极益, 包云轩, 樊多琦, 等. 褐飞虱迁飞轨迹研究[J]. 南京农业大学学报, 1995, 18(3): 60-67.

[11] 胡继超, 程极益, 储长树, 等. 褐飞虱在我国东部地区秋季回迁的三维轨迹研究[J]. 中国农业气象, 1997, 18(5): 1-6.

[12] 巫国瑞, 俞晓平, 陶林勇, 等. 褐飞虱和白背飞虱灾害的长期预测[J]. 中国农业科学, 1997, 30(4): 25-29.

[13] 封传红, 翟保平, 陈庆华, 等. 利用 850 hPa 气流资料分析稻飞虱迁飞路径[J]. 中国农业气象, 2003, 24(3): 31-35.

[14] 姜伟平, 陈先清, 吴利红. 基于投影寻踪理论的稻飞虱发生程度预测模型[J]. 生态学杂志, 2008, 27(8): 1438-1443.

[15] 李儒海. 长江中游稻区夏季迁褐飞虱的轨迹分析[J]. 北京: 中国科技出版社, 1998: 481-492.

[16] 李小珍, 舒畅, 王建国, 等. 江西省稻飞虱发生特点及成灾机制浅析[J]. 植物保护, 2008, 34(6): 121-124.

[17] 谭乾开, 周荣斌, 莫小飞, 等. 普通黑光灯对稻纵卷叶螟和稻飞虱的诱虫量与气象因子的相关分析[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(2): 53-55.

[18] 杜筱玲, 郭瑞鸽. 江西中南部稻飞虱气象等级的监测预警[J]. 中国农业气象, 2008, 29(3): 371-374.

[19] 吕冬红, 王海青, 刘素萍, 等. 水稻褐飞虱发生程度气象预报方法的研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(2): 668-671.

[20] 陈惠, 关瑞锋, 杨凯, 等. 福建省稻飞虱气象条件适宜程度等级预报[J]. 中国农业气象, 2008, 29(4): 496-498.

[21] 江胜国, 杨太明, 程林, 等. 卡尔曼滤波方法在稻飞虱发生等级预测中的应用研究[J]. 气象, 2010, 36(10): 106-109.