

我国北方稻区 1991 年稻飞虱大发生虫源形成

封传红¹, 翟保平^{1*}, 张孝羲¹, 汤金仪²

(1. 南京农业大学昆虫学系, 农业部病虫监测与治理重点实验室, 南京 210095; 2. 农业部农业技术推广服务中心测报处, 北京 100026)

摘要:北方稻区在一般年份只有少量稻飞虱(褐飞虱 *Nilaparvata lugens*, 白背飞虱 *Sogatella fercifera*)迁入, 而与虫源区相隔千余公里的沿渤海湾稻区却在 1991 年稻飞虱暴发成灾。通过分析 1991 年各地稻飞虱主要迁入峰期的天气学背景和低空急流的时空分布及我国东部稻作区各地虫源的对应关系, 表明大尺度低空急流的时空动态与南方(江岭区)大发生虫源的迁出期(区)相吻合的程度及维持时间乃北方稻虱大发生虫源得以形成的关键因子和暴发成灾的触发机制。其北上前缘左侧的暴雨区即远迁种群的集中降虫区。是否存在与南方大发生虫源时空同步且贯通南北的大尺度低空急流及其前缘的暴雨区可作为北方稻虱暴发的预警指标。

关键词:北方稻区; 稻飞虱; 大发生虫源; 低空急流; 迁入机制

Immigration of the 1991 Outbreak Populations of Rice Planthopper (*Nilaparvata lugens* and *Sogatella fercifera*) into Northern China

FENG Chuan-Hong¹, ZHAI Bao-Ping¹, ZHANG Xiao-Xi¹, TANG Jin-Yi² (1. Key Laboratory of Pest Monitoring and Management of Chinese Agricultural Ministry, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Pest Forecasting Division, National Agro-Technique Extension and Service Center, Beijing 100026, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1302~1314.

Abstract: During most years, there are only very small immigration of rice planthoppers (*Nilaparvata lugens* and *Sogatella fercifera*) into the rice planting areas in northern China. with and no direct causality between the outbreaks of rice planthoppers in southern and northern China. But in 1991, huge populations of rice planthopper arrived at the coast of Bohai Sea, which is 1500 km from the planthopper source area. What carries such large populations outside their normal areas? Where and how did the outbreak populations develop? Are there any early warning signs of impending large scale invasion of rice planthoppers in northern China?

Several studies have indicated that the maximum sustained flight time of planthoppers is less than 30 hours with no re-emigration. So, the prerequisite for planthoppers flying over 1500 km during 30 hours into northern China should be that there is a sustained high speed (more than 12m/s) southerly air stream (i. e. low level jet, LLJ) across the mainland. If that is true, LLJ will be a useful forewarning indicator for the immigration of outbreak populations of planthoppers into northern China. The authors' recent research confirms that there are LLJs, especially the large scale LLJ, during the planthopper migration seasons in eastern China. Now, the question is whether the LLJ really determines the areas invaded in northern China and if the presence and location of ther LLJ could be used to assist in the prediction of major migrations?

The current study used the digital synoptic data and light trap catch data to analyze the spatio-temporal distribution of low level jet (LLJ) and the migratory trajectories of the major immigrations.

基金项目:国家“973”资助项目(G20000016210); 国家“十五”攻关资助项目(2001BA50PB01-3)

*** 通讯联系人:** Author for correspondence, Email: bpzhai@mail.njau.edu.cn.

收稿日期: 2002-07-24 **万方数据** **日期:** 2001-10-20

作者简介: 封传红(1973~), 男, 湖南衡南人, 硕士。主要从事植物保护工作。现在四川省植保站工作。

There was a coincidence between spatio-temporal dynamics of LLJ and the emigration areas and periods, with the spatial scale and duration of LLJ running south to north, with the storm belt on its leading edge being the key factors and possible trigger of rice planthopper plague in northern China. Emergence of such a LLJ would be a forewarning of a likely northern outbreak of rice planthoppers. The sequence of events leading to the large invasion of rice planthoppers in northern China during 1991 were:

Firstly, a large outbreak of the planthoppers in northern Vietnam migrated into southern China in mid May.

Then, the unusual *Baiu* event came nearly one month ahead of the expected time, and lasted for longer (65 days). This caused an earlier occurrence of the planthoppers (30~40 days ahead) and an extended period of warm, clear weather in Yangtze-Nanling region controlled by subtropical high. The result was that the immigrants into this region developed to a huge source population migrating into northern China eventually.

Meanwhile, a well developed LLJ at 850hPa appeared in mid May, having wind speeds of more than 20m/s, and stretching much further north than usual up to 28°N. The jet was sustained until the 10th of July and arrived at 35°N with speed of up to 36 m/s. It was then weakened by the eastward retreat of the STH and the *Baiu* finished on 13th of July.

There were no further LLJ until a trough developed over the upper reaches of Yellow River on the night of 20th July. Influenced by the trough, an eastward moving surface depression formed and a strong LLJ developed at 850hPa, stretching from the southern coast to 43°N and with a width of 200km. Heavy rainstorms occurred in the coast areas of Bohai Sea, Liaoning and Jilin provinces with the passage of the depression. The depression and storms passed the mainland by the 23rd of July.

In the first week of August, a LLJ developed in eastern China but only reached 34°N, with no further LLJ events during August.

It was quite clear that the outbreak populations were transported by the LLJ of 20~22 July and the rainstorms in this period concentrated the airborne planthoppers into localized plague infestations. A large scale and sustained northward LLJ during the period in mid July to early August will probably be the trigger of the plague of rice planthoppers in northern China, providing there are enough source populations in northern Vietnam and southern China. Of course, more case studies are required to verify this hypothesis so that the LLJ could be a useful and operational indicator to pre-warning the planthopper plague in northern China.

Key words: rice cropping area in northern China; *Nilaparvata lugens* and *Sogatella fercifera*; outbreak populations; low level jet; immigration

文章编号:1000-0933(2002)08-1302-13 中图分类号:S435.112.3 文献标识码:A

1991 年,我国稻飞虱(褐飞虱 *Nilaparvata lugens*, 白背飞虱 *Sogatella fercifera*)又一次出现全国性猖獗,全国受害总面积为 23.24 百万 km²^[1]。而在北方稻区稻飞虱的暴发成灾更使沿渤海湾的天津、冀东、辽南等稻区的损失空前惨烈。其中冀东稻区 13.3 万 hm² 水稻均有不同程度发生,受害严重的达 6.7 万 hm²。天津沿海地区 1.2 万 hm² 水稻,虫口密度高达百穴 5~10 万头,绝收地块占 42%,产量损失 58.8%^[2]。

北方稻区(华北单季稻作区和东北早熟单季稻作区)地处稻飞虱北迁的波及区和边缘区,一般年份只有少量飞虱迁入。而在 1991 年,是什么因素使得如此大量的飞虱迁入了北方稻区呢?北方稻区与迁出区(江岭稻区,26~30°N)相隔 10~15 个纬距(1000~1600km),而稻飞虱基本不具再迁能力,且其飞行能力不超过 30 万 km² 陆上^[3]。显然,要在 30h 内飞越这么远的距离,其运行高度上必须持续存在跨越南北的 12m/s 以上的高速气流,即大尺度低空急流。邓望喜的空捕结果表明,空中北迁飞虱种群的绝大部分

个体在 1500~2000m 高度集群飞行^[4],这正是 850hPa 等压面上天气尺度低空急流所在的高度。国内外的雷达昆虫学研究也已证实,迁飞种群的大多数个体集聚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^[5]。最著名的如北美落基山东侧的大平原低空急流,被称之为北迁种群的“传送带”^[6]。我国夏季在青藏高原东侧、副高的西侧或北侧常有西南低空急流形成并随副高的进退而移动,大多数情况下,在其左前方都伴有暴雨发生。其强风轴平均风速 12m/s 以上,南起南海,经湖广,6 月份北移到 30°N 以南,从长江中下游直达日本列岛。到 7 月份,这支低空急流可达黄河以北直至辽东半岛^[7]。冀东稻区飞虱的暴发很有可能与这支急流有关。为此,本文分析了 1991 年各地稻飞虱主要迁入峰期的天气学背景及低空急流的时空分布,运用轨迹分析法研究了我国东部稻作区各地虫源的对应关系,以阐明北方稻区稻飞虱大发生虫源的形成机制,找出监测北方稻区稻飞虱大规模迁入的先期预警指标。

1 材料与方法

1.1 虫情及气象资料 我国各区域站的逐日稻飞虱灯诱资料从农业部农业技术推广服务中心病虫害测报处获取。气象资料取自国家气象局《中国高空气象记录月报》(1986~1995 CD 版)850hPa 等压面 0:00 时和 12:00 时(GMT)全国 130 个站点的记录及相应时段的历史天气图。

1.2 迁入迁出峰日的确定 普查各站点每日灯诱虫情,选取虫量突增日作为迁入或迁出日期。

1.3 低空急流的划分 考虑稻飞虱的迁飞行为和资料的可得性,规定(1)850hPa 等压面(相当于 1500m 高度)上的风速达 12m/s 以上的偏南风;(2)范围至少应连续两站(3 纬度以内)以上作为一次西南风低空急流(以下简称低空急流或 LLJ)过程。

1.4 轨迹分析 采用作者开发的轨迹分析程序^①推算稻飞虱在 850hPa 等压面上的迁飞轨迹,并生成接口文档导入 Arcview 3.0(含空间分析模块),分析低空急流的时空动态及各稻区的水稻飞虱迁飞动态。其中,以顺推表迁出,逆推表迁入;起降时间分别取 19:00 和 9:00,起飞日期即灯诱高峰日;迁入迁出地点以相关区域站的地理坐标(经纬度)示之;轨迹分析时间长度一般为 24h,在某些情况下轨迹分析时间作了适当的延长或缩短。

2 结果与分析

2.1 迁入始见期及位置

1991 年我国稻飞虱的始见期早于常年(表 1)。除龙州与秀山站外,各站点的迁入始见期比历年平均要早 12.7d。稻飞虱最早迁入我国华南南部地区的日期为 2 月 28 日,4 月中旬华南大部分地区有稻飞虱迁入,始见地区位置偏北 3~4 纬度。江南地区在 5 月上旬已有稻飞虱上灯。苏皖地区稻飞虱的迁入始见期为 6 月上旬初,比平常年份提前约 1 旬。至 6 月中旬,迁入种群已达 32°N(常年要到 7 月上旬),迁入北界要比常年偏北 4~5 纬度(图 1)。

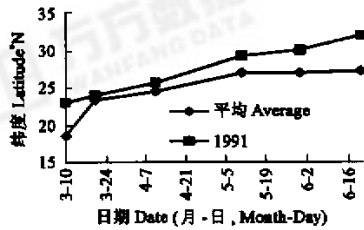


图 1 稻飞虱始见期迁入北界的纬度变化

1983~1994 年始见虫源为白背飞虱的站点平均为 84.5%(187 站次平均),而 1991 年为 61.5%,经 u 测验表明两者有显著差异($u=2.1304$)。故 1991 年始见稻

飞虱中褐飞虱所占的比例大于常年,且其迁入期集中在 5 月份(95.7%),而白背飞虱的迁入期则集中于 5、6 月份(98.2%,表 2)。

2.2 境外虫源与迁入虫量

越南等东南亚国家作为稻飞虱的虫源地,其发生情况与我国稻飞虱的发生程度密切相关。1991 年,越

① 封传红.我国北方稻区稻飞虱大发生种群的形成机制.南京农业大学硕士论文,2000

南北方褐飞虱的发生面积是仅次于 1987 年的第二个较大的年份,而在越南南方的发生面积比上年增加了近 4 倍(图 2a)。与之相应,位于我国南方稻飞虱迁入前哨的广西龙州测报站(22°10'N, 106°30'E)的迁入量也逐年上升(图 2b),1991 年迁入峰日的单灯诱虫量达 101300 头褐飞虱(图 2c)。境外虫源的连年重发为我国早稻和中稻稻飞虱的大发生奠定了虫源基础。如四川涪陵 7 月上旬田间褐飞虱百穴虫量 1339 头,是历年同期平均虫量的 43.2 倍;白背飞虱田间虫量为百穴 4292 头,是历年同期平均虫量的 10.3 倍。而湖北枣阳 7 月中旬到 9 月中旬单灯累计诱虫 134360 头,其中白背飞虱 86550 头,褐飞虱 48010 头,日诱虫千头以上的有 24d;迁入峰日(8 月 13 日)上灯虫量白背飞虱 26765 头,占诱到白背飞虱总量的 31%,褐飞虱 17843 头,占诱到褐飞虱总量的 37%。

表 1 1991 年我国稻飞虱的迁飞始见期
Table 1 The first immigration days of rice planthoppers in 1991

站点 Location	东经 °E	北纬 °N	始见期 First immigration day		提前天数 Departure	初始虫源 Species
			1991	Mean		
龙州 Longzhou	106.75	22.37	04/11	04/11 (10)	0	WBPH
肇庆 Zhaoqing	112.47	23.05	02/28	03/23 (9)	23	WBPH
曲江 Qujiang	113.60	24.68	03/21	03/30 (11)	9	WBPH
惠水 Huishui	106.65	26.17	04/15	04/21 (5)	6	WBPH
通城 Tongcheng	113.75	29.25	05/06	05/23 (10)	17	BPH
吉安 Ji'an	114.70	25.68	04/10	04/27 (10)	17	BPH
福清 Fuqing	119.00	25.00	05/20	05/28 (7)	8	WBPH
黄岩 Huangyan	121.40	28.62	05/22	05/23 (12)	1	WBPH
汕头 Shantou	116.68	23.40	03/25	04/05 (10)	11	BPH
秀山 Xiushan	108.95	28.45	05/19	04/28 (12)	-22	WBPH
贺县 Hexian	111.52	24.42	04/07	04/19 (10)	12	WBPH
太仓 Taicang	121.10	31.47	05/30	06/14 (11)	14	BPH

* 括号内的数字为统计的年数 The figures in brackets are years counted

表 2 1991 年我国稻飞虱迁入虫量分布(12 站平均)
Table 2 Monthly immigration of rice planthoppers in 1991(average of 12 stations)

月份 Month	上灯量 Light trap catches			
	1983~1994 平均 Means		1991	
	褐飞虱 BPH	白背飞虱 WBPH	褐飞虱 BPH	白背飞虱 WBPH
3	4	44	8	38
4	34	92	16	124
5	1151	3658	8563	3399
6	1124	5824	364	5200
合计 Total	2313	9618	8951	8761

2.3 北迁过程及北方稻区虫源分析

根据虫源迁入迁出地点与时间上的连续性,结合相应的天气背景,将 1991 年稻飞虱北迁过程分为 9 段(不考虑未出现灯诱高峰的时段)做迁入峰次和虫源分析。

(1)3 月 20 至 22 日 广东曲江首次诱到白背飞虱,稻飞虱零星迁入我国华南南部。3 月 21 日 8:00 时 850 hPa 高度上,12~15m/s 的西南气流覆盖着广东中西部、湖南南部,降虫区位于雨区南缘。对曲江初始迁入虫源的轨迹分析表明,其虫源来自越南中部地区 (106.47°E, 18.13°N) (图 3)。

(2)4 月 9 至 19 日 副高脊线一直维持在 18~20°N,9 日始江南上空 700hPa 高度上一直维持着一支 14~24m/s 的西南气流,相应 850hPa 等压面上的低空急流也一直出现在华南、华东 27°N 以南,在长江中下游地区形成切变线;16 日 850hPa 上先后有两个低涡沿长江东移,江南地区于 9~10 日、11~14 日、15~19 日出现了三次暴雨,位于雨区南缘、急流轴东南侧的肇庆出现一个小降虫峰,吉安和惠水首次出现稻飞虱迁入。24h 回推轨迹结果表明,虫源来自越南北部红河三角洲(图 4)。

(3)5月13至16日 副高强盛西伸,华南地区长时间受高压控制,前汛期不明显,进入持续少雨干旱天气,850hPa等压面上华南地区只有3~9m/s的西南风。华南地区的这种干旱天气及气流条件不利于稻飞虱远迁,使境外虫源大规模迁入我国华南稻区,位于副高北缘的肇庆、龙州出现特大降虫高峰:龙州站上灯量14日70360头,15日101360头;肇庆16日上灯量1368头。24h轨迹回推表明,此次迁入的稻飞虱的虫源地仍是红河三角洲稻区。

(4)5月19至27日 850hPa风场上的西南低空急流十分活跃且强劲,急流轴从南海伸入我国大陆,其前端北达长沙、衡县一带,最大风速超过20m/s,这在历年同期是不多见的;110°E以东强降水带于5月18日后稳定在30°N处,江淮地区进入早黄梅阶段,极强的低空急流出现在华南沿海、江南及江淮30~33°N以南并一直持续到26日,秀山、曲江、惠水、吉安均出现降虫峰,以白背飞虱占多数。这一阶段的降虫峰均为低空急流所覆盖,而低空急流轴的左前方正是雨带分布区(图5)。5月25日副高脊线北移并稳定在20°N以北,副高北界抬至27°N附近。到27日,急流北缘回撤至两广的北部。24~32h回推轨迹分析表明,海南、红河三角洲稻区为此期我国迁入种群的虫源地(图5)。

(5)6月2至7日 江淮地区进入典型梅雨期。受北方冷空气南压的影响,副高东撤南落,从5月27日到6月上旬中期出现一次明显的弱风期。850hPa等压面上,低空急流只是零星地出现在华南沿海地区。此阶段迁入区偏南,曲江(3日,6日)、惠水(5日)、贺县(5日)出现迁入峰。24h回推轨迹分析表明,惠水虫源来自越南北部,其它站点来自华南沿海(图6)。

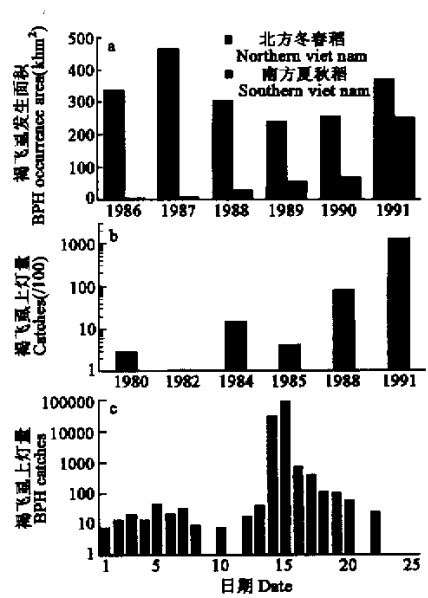


图2 褐飞虱境外虫源与初始迁入量
Fig.2 Population dynamics of the abroad resources of brown planthoppers (BPH) and the initial amount of immigration

a. 越南南北稻区的褐飞虱发生面积;b. 广西龙州5月份褐飞虱的累计上灯量;c. 广西龙州1991年5月份褐飞虱的逐日上灯量

a. BPH occurrences on summer-autumn rice and winter-spring rice in Viet Nam; b. Accumulated light-trap catches of BPH during May in Longzhou, Guangxi Province; c. Daily light-trap catches of BPH during May of 1991 in Longzhou, Guangxi Province

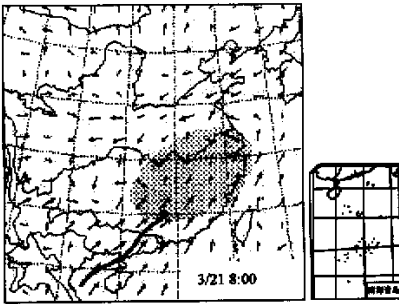


图3 1991-03-21 8:00 850hPa上的低空急流(LLJ)、雨区(阴影)和回推轨迹

Fig.3 LLJ (dashed line) and rain area (shaded area) and backward trajectory on 850hPa, 8:00 of 21 March, 1991

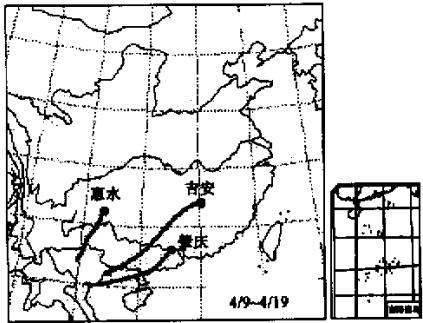


图4 1991-04-09~19 迁入种群的回推轨迹

Fig.4 The backward trajectories of rice plant-hoppers during 9 to 19 April, 1991

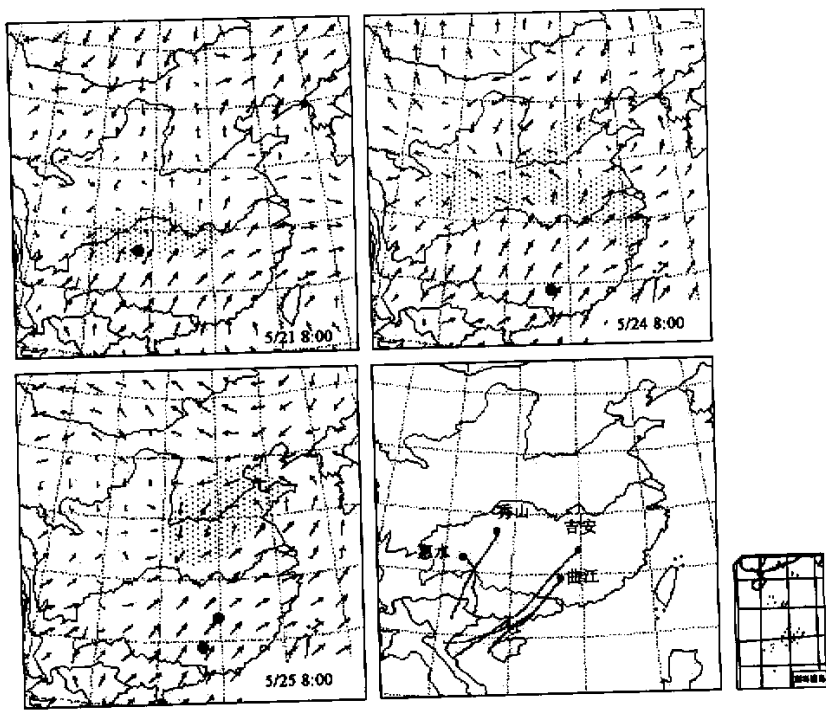
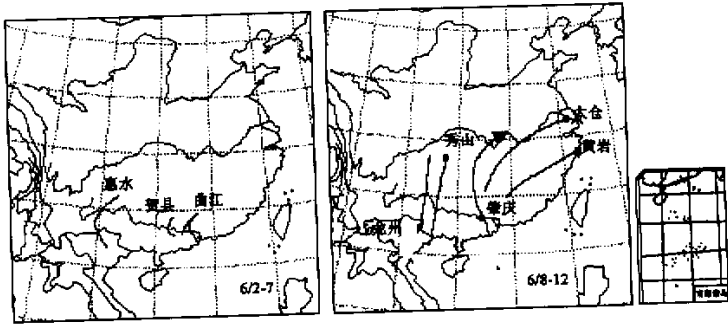


图 5 5 月下旬低空急流、雨区(阴影部分)与降水区(●)位置及 5 月 19~27 日迁入种群的回推轨迹
Fig. 5 LLJ, rainfall belt (shaped area), immigration areas (●) and backward trajectory on 850hPa during 21 to 31 May

(6)6 月 8 至 16 日 副高脊线 8 日位于 18°N 左右, 9 日北抬, 10 日 8:00 达到 24°N 附近。随着副高加强北抬, 西南低空急流也随之加强, 10 日 8:00, 850hPa 上南昌、芜湖的风速分别为 20m/s 和 22m/s, 11 日 8:00, 南昌、芜湖、南京分别为 20 m/s、22 m/s 和 28m/s, 对应的 700hPa 上分别为 22 m/s、26 m/s 和 29m/s。14 日 8:00, 一支强度为 12~18m/s 的低空急流从华南经江西西部直抵淮河和长江下游地区(图 7)。8~



万方数据 图 6 1991-06-02~16 各灯诱高峰站点 24h 回推轨迹
Fig. 6 The 24h backward trajectories of rice planthoppers during 2 to 12 June, 1991

15 日整个江淮地区和太湖流域出现强暴雨过程,每日都有暴雨或大暴雨,降虫高峰站点位于雨区附近(图 7)。13 日、14 日湖南相继出现灯诱高峰。15 日江苏太仓、16 日浙江黄岩迁入大量的白背飞虱。24h 回推轨迹表明,6 月中旬迁入江淮、江南稻区的稻飞虱来自湘粤交接处;四川东部的迁入虫源来自越南北部的红河三角洲;太仓、黄岩、秀山的虫源则来自肇庆和龙州(图 6)。

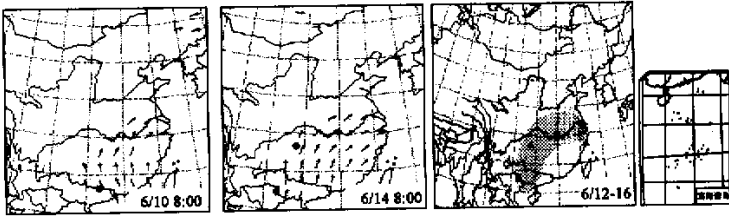


图 7 1991 年典型梅雨期第一阶段的低空急流、雨区(阴影部分)与降虫站点(·, s)位置

Fig. 7 The LLJ, rainfall belt (shaped area), immigration areas (·, s) during the first stage of Baiu in 1991

(7)6 月 18 至 27 日 强冷空气再次南下,副高脊线南落至 $11\sim13^{\circ}\text{N}$,后又跳到 18°N 附近,雨带主要维持在华南及东南沿海一带,形成 10d 左右的梅雨间歇期。850 hPa 等压面只有 $3\sim8\text{m/s}$ 的偏南风,局部地区出现短时的低空急流。此间先后出现 11 站次灯诱高峰,但均集中在 $23\sim27^{\circ}\text{N}$ 之间的岭南岭北稻区。24h 轨迹分析表明,华南南部稻区为虫源区。

(8)6 月 29 至 7 月 12 日 6 月下旬后期,副高再次加强北抬,7 月上旬的低空急流强度和降雨强度均比第一阶段梅雨期间更大。大于 16m/s 的风速轴达到河南、山东一带,最大风速达 36m/s 。6 月 30 至 7 月 12 日,江淮地区出现持续 13d 的大暴雨,其 ENE-WSW 向的狭长雨带在我国陆上部分长约 1800 km,雨带轴的横向摆动范围在 100 km 左右;江浦、太仓、黄岩、通城和秀山多次出现迁入峰,降虫区即位于雨带轴及切变线附近(图 8)。轨迹分析表明,各降虫峰虫源均来自华南稻区(图略)。期间,7 月 6 日出现的一次低压气旋东移过程使 850hPa 等压面上自华南、东南沿海直抵胶东半岛和渤海湾上空的低空急流稳定存在达 24h(图 9),故岭北稻区的飞虱可以籍此迁入山东中南部及胶东半岛。

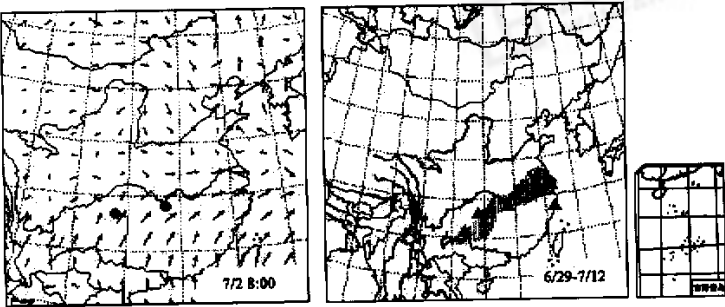


图 8 1991 年典型梅雨期第二阶段的低空急流、雨区(阴影部分)与降虫站点(·, s)位置

Fig. 8 The LLJ, rainfall belt (shaped area), immigration areas (·, s) during the second stage of Baiu in 1991

(9)出梅之后 7 月 13 日 9106 号台风登陆海南而使副高进一步东退北抬,梅雨期于 14 日结束。14 日 8:00,宽约 500~700 km 的低空急流从南海起(华南风速 $17.0\sim27.5\text{m/s}$)沿经向直达河南、山东($13.7\sim14.5\text{m/s}$),天津地区的风速为 $8.0\sim10.0\text{m/s}$,江浦、芜湖出现降虫峰;15 日 8:00,急流自湖北始沿 $33\sim35^{\circ}\text{N}$ 东折入海。从江岭稻区 32h 前推轨迹分析表明,迁出种群能到达胶东半岛。从天津回推轨迹,32h 时落于

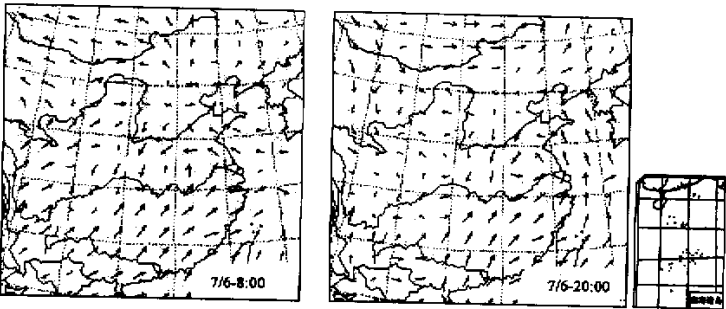


图 9 1991 年将南方虫源运载到北方稻区(胶东半岛)的第一次低空急流过程

Fig. 9 The first LLJ process of transporting the emigration populations into northern China (Shandong) in 1991 鄂北,36h 时到达宜昌附近(图 10)。此后,副高脊线稳定在 30°N 附近,西脊点在 110°E 以西摆动,暖湿气流也北伸到 40~45°N;7 月 15~20 日,冷暖空气多次在华北和黄河下游一带交绥,使北方频频出现降水,但缺少贯通南北的低空急流,降虫区仍在江淮地区。24h 轨迹回推分析表明,江浦、太仓、芜湖、黄岩的稻飞虱来自江西中南部、湖南东部及福建沿海地区,通城虫源来自湖南中部。

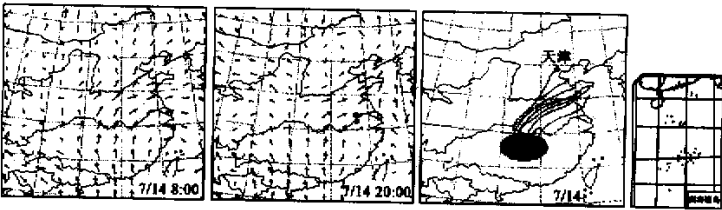


图 10 1991 年将南方虫源运载到北方稻区(河南、山东,少量到天津)的第二次低空急流过程及回推轨迹

Fig. 10 The second LLJ process of transporting the emigration populations into northern China (Henan, Shandong, a few to Tianjin) and the backward trajectories on 14 July, 1991 9107 号台风于 7 月 19 日在华南沿海登陆,受其影响,20 日 8:00 其东侧出现的偏南低空急流(宽约 550~650 km,轴线与 117°E 经线重合)从两广直达皖南、鄂北并向北发展,降虫点位于其中(图 11);自 7 月 20 日夜间始,整支急流的极值风速区北移到湖南中部并北进郑州后折向山东及渤海湾地区,急流左前方的京津唐、辽宁和吉林出现了大到暴雨(图 12);21 日 8:00,850hPa 上宽约 200km 的低空急流从南海一直伸展到 42°N,天津周围出现了 13.7~17.1 m/s 的风速区;21 日 20:00,急流以山东为中心,覆盖了江淮地区、华北平原和辽宁;22 日 8:00,受北方气旋东移的影响,起自湘南、桂北(25°N)的急流在德州附近东折入辽东半岛,位于低压后部的京津唐地区风向转为 NW(图 11)。7 月 23 日气旋移出,此次低空急流和降水过程结束。7 月 28~31 日,华北和东北地区又有一次类似的强降水过程,但黄河以南的西南气流很弱,不可能构成江南虫源北上的运载气流。此后低空急流的北缘止于汉口、南京、蚌埠一带,8 月中旬已无偏南风。由以上分析可见,梅雨期的低空急流只能将南方虫源载至黄河以南,7 月末至 8 月上旬的低空急流已减弱、消失,能构成 1991 年冀东与辽东等北方稻区大发生虫源的运载气流的唯有出现在 7 月 20 日到 22 日晨的大尺度低空急流。此次急流维持了约 48h,南北跨越 20 个纬距,成为 1991 年北方稻区稻飞虱大发生虫源的主要运载气流;而其左前方出现的强降雨过程,则使得空中虫群集中降落。7 月 14 日的急流也可为冀东稻区提供南方数据源。

(10)北方稻飞虱迁入虫源分析 前推轨迹分析(参数取值如表 3)结果表明,江岭稻区的稻飞虱乘 21

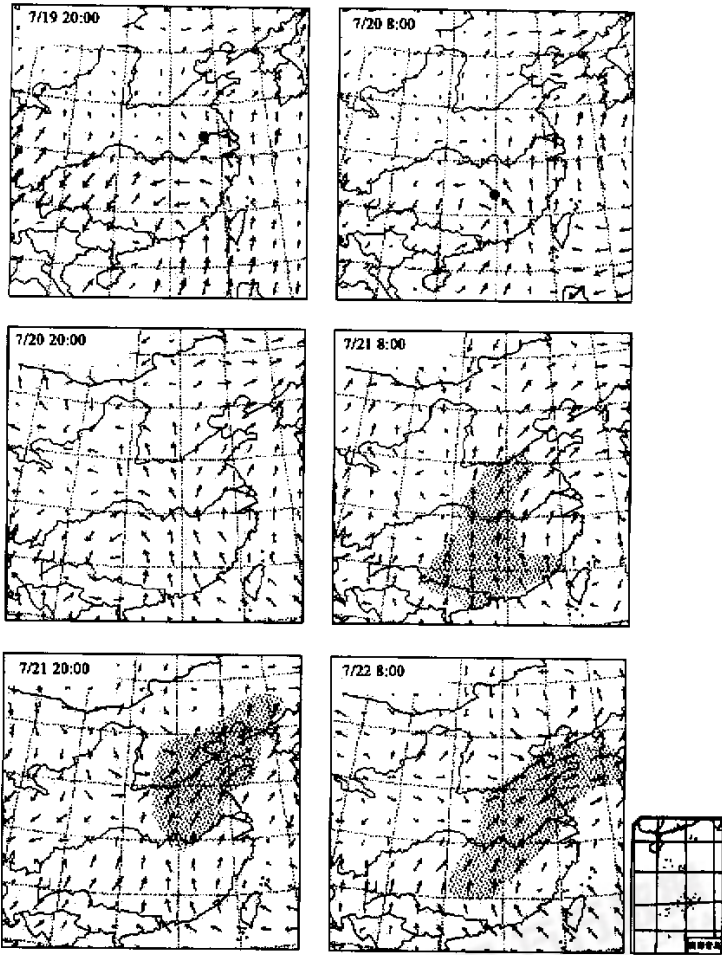


图 11 1991 年将南方虫源运载到京、津、冀东稻区的低空急流过程(阴影部分示急流范围)

Fig. 11 The LLJ process of transporting the emigration populations into Beijing, Tianjin and eastern Hebei in 1991(The shaded parts are the areas of LLJ)

~22 日这次大时空尺度的低空急流迁入到山东半岛和冀东地区(图 13a)。对天津的回推轨迹分析表明,江西中部(吉安附近)为天津稻飞虱大发生种群的虫源区(图 13b);而 19~20 日褐飞虱和白背飞虱在吉安大量上灯,应是北迁的迁出种群。

3 讨论

3.1 北方稻区稻飞虱暴发的虫源基础

1991 年副高的主要特征是持续偏强,脊线位置初夏偏北,盛夏偏南。副高第一次北跳出现在 5 月份第 6 候,比常年提前 1 候;第二次北跳的时间在 7 月份第 4 候,比常年推迟 1~2 候(8 月上旬又南退到 22~23°N 附近)。此间副高脊线位置一直稳定在 19~24°N 之间,致使 1991 年的入梅期比正常年份提前近一

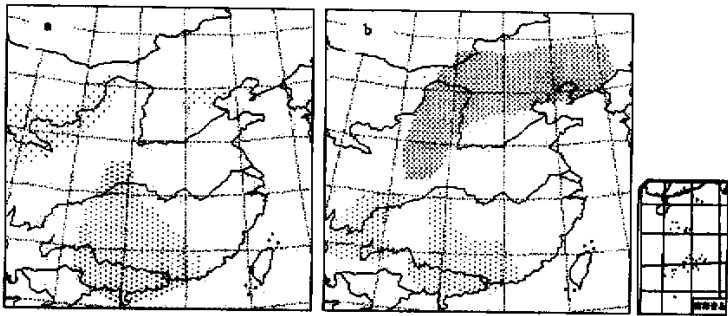


图 12 1991 年南方虫源迁入京、津、冀东稻区的降水过程(阴影部分示雨区)

Fig. 12 The rainfall distribution (shaded areas) during the immigration period

a. 7 月 20 日 8:00 至 7 月 21 日 8:00 8:00 of 20 July to 8:00 of 21 July; b. 7 月 21 日 8:00 至 7 月 22 日 8:00 8:00 of 21 July to 8:00 of 22 July

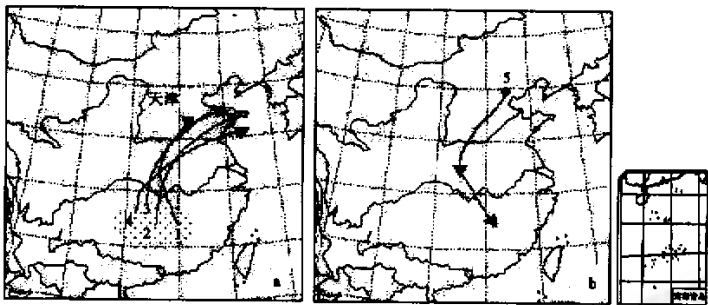


图 13 北方稻区大发生虫源的轨迹分析

Fig. 13 Trajectory analysis of outbreak populations of rice planthopper

a. 7 月 20~21 日 24 h 前推轨迹 24h fore-trajectories of 20~21 July; b. 7 月 21 日 36h 回推轨迹 36h back-trajectories of 21 July. 图中数字为表 3 中相应的虫源地序号,阴影表示虫源地 The numbers in them mean the same series number as in table 3 and shaded area indicate the source area

表 3 北方稻区稻飞虱迁入虫源轨迹分析参数

Table 3 Trajectory analysis parameters for immigration populations of rice planthopper in Northern China						
轨迹起点位置 Starting point of the trajectory			开始日期	开始时间	分析时间	
序号 No.	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	Starting date	Starting time	Duration (h)	
1(吉安 Jian)	114.92	27.05	07/20	18:00	24	
2	113.00	27.00	07/21	09:00	24	
3	112.00	29.00	07/21	09:00	24	
4	111.00	28.00	07/21	18:00	36	
5(天津 Tianjin)	117.20	39.02	07/21	19:00	36/24	

个月,梅雨期也长达 56d。期间共出现 27 个暴雨日,15 个大暴雨日,暴雨的强度和频繁程度为历史上罕见;尤其在 6 月 12 日和 6 月 30 日到 7 月 14 日两个时段,整个江淮地区和太湖流域几乎天天有暴雨或特大暴雨。当雨带一直徘徊在江淮流域时,江南及华南北部地区则长期处于副高直接控制下的晴好天气,造

成从 5 月开始持续 4 个月的少雨干旱,当地迁入种群为害一代后长翅型成虫转化率高、迁出数量大。这种入梅早、梅雨期长和南旱北涝的气候特征为中南半岛大发生虫源的早期纵深迁入(南方稻区稻飞虱普遍早发 30~40d)和华南虫源长时间、大规模、大范围地迁入江南及长江中下游地区(飞行力较弱者迁入岭南岭北)提供了有利条件,也为其后北方稻区稻飞虱暴发种群的形成奠定了充足的虫源基础。

1991 年长江流域盛夏高温日数明显减少,夏季适宜的气温使得迁入种群繁殖数量大、增殖率高。如江苏 7 月中旬至 8 月上旬日最高气温在 33.5~35℃ 的日数不超过半个月;湖北第四代(7 月上旬)和第五代(8 月上旬)低龄若虫盛期的旬均温比常年分别低 1.9~3.1℃ 和 1.2~4.0℃,非常适合低龄若虫孵化存活;四川沿江地区 7 月份均温 26℃,较常年低 2℃,7 月 1 日至 8 月 15 日稻飞虱主害期高于 30℃ 日均温的日数比常年减少了 46.7%。相反,北方稻区夏秋季气温则比常年偏高,有利于稻飞虱的增殖。如天津 8 月上旬旬均温 26.7~27.4℃,比常年高 1℃,8 月中旬高出 2℃,8 月下旬高出 1~4℃;9 月上旬仍无明显的冷空气影响且雨日较多,使得常年 8 月下旬羽化后理应迁出的成虫因环境适宜转而滞留当地多增殖一代,加上当地民众不熟悉稻飞虱,防治不及时而成灾。天津稻飞虱为害的第一个高峰期在 8 月 5 日至 8 月 15 日,虫量为百穴 0.5~0.8 万头(塘沽区);第二个高峰期在 8 月 30 日至 9 月 10 日,虫量已超过百穴 5 万头。在重灾区 8 月 10 日的调查表明,短翅型成虫剧增,占成虫总数的 80.9%,成为当地第 3 代(迁入种群为第一代)大发生的虫源基数。当地大部分重发区正是在遭受了两个高峰(主要是第二峰)的连续为害后,开始出现冒穿现象的^[2]。河北滦南 9 月 10 日调查,一般每穴有虫 2000~3000 头,严重的每穴 5000 头,虫口数量之大、危害之重空前绝后^[8]。

3.2 北方稻区稻飞虱暴发虫源的运载气流

天津市植保站张宝恕报道,1991 年天津市褐飞虱始见期为 6 月 13 日^[2],冯顺富等认为 6 月 10 日前后副高的北跳,使一代成虫北迁波及到天津地区^[9]。但查 6 月 13 日 8:00、12 日 20:00 和 12 日 8:00 的地面、850hPa 及 700hPa 的风场可知,天津附近(包括山东半岛)各高度上均为偏北风(图 14),而且从 6 月 12~14 日连续 60h 呈东西向的特大暴雨带几乎一直稳定在江淮及其附近地区。在这种条件下,本期从江岭稻区起飞的稻飞虱在低空急流的运载下至长江中下游受雨水作用而降落,即使有极小量的个体能越过暴雨带,雨区外的偏北风也必将江岭稻区的虫源阻于切变线附近而不可能迁入天津及山东。因此,天津 6 月 13 日记录的褐飞虱很可能是当地的灰飞虱或其它褐飞虱近缘种,因为曾经有把伪褐飞虱及拟褐飞虱当成褐飞虱的报道^[10]。如前所述,能将飞虱大发生种群载入天津和冀东的气流条件只有 7 月 21~22 日及 14 日两次低空急流过程。

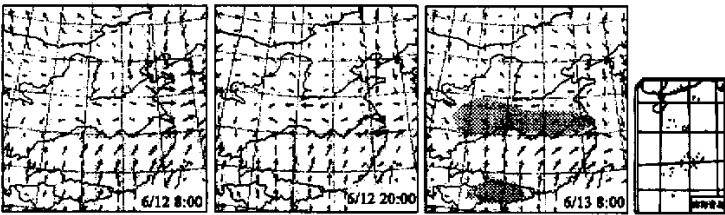


图 14 1991 年 6 月 12 日 8 时至 13 日 8 时的低空急流分布与雨区位置(阴影部分)

Fig. 14 LLJ and rainfall belt (shaded areas) during 8:00, 12 June to 8:00, 13 June, 1991

室内吊飞试验表明,褐飞虱自然种群中再迁飞的个体比率只有 0.84%^[3],但此比率在自然条件下能有多大程度的表达尚需进一步探索。在平常年景,温带飞虱自然种群中比例极低的再迁飞型个体通过 2 次迁飞到达其发生区较北的地方如东北稻区,构成当地的零星虫源;而在大发生年或特大发生年(如 1991 年),特定运载气流的出现与江岭区大发生虫源的时空吻合使得大量飞虱乘风千余公里直达北方稻区,形成大规模的集中降落而致灾。程极益等做了 1991 年冀东稻飞虱暴发的轨迹分析,认为虫源出自江淮稻区^[11],这

个结论显然与其所取的参数不妥有关。实际上,此时江淮稻区也正值迁入期,水稻又正处于适宜为害的生育期(拔节孕穗期),不存在刺激迁入种群再迁出的环境信号,江淮稻区与北方稻区的飞虱迁入种群乃同出一源。因此,从大气背景场分析入手,搞清飞虱北迁期间不同尺度低空急流的发生频率和时空变化以及对迁飞种群的作用,在理论上阐释北方稻虱暴发的成灾机制,可望大大提高对北方稻区迁飞性害虫暴发的预警能力。

3.3 稻飞虱北迁轨迹分析中的高度与时间参数

如前所述,稻飞虱的飞行能力不超过 30h,且基本不具再迁飞能力。本文在用 850hPa 等压面的资料对天津等地的虫源做轨迹分析时,使迹点到达江岭稻区迁出地的时间长达 36h。但实际上,飞机航捕的结果表明,夏季北迁稻飞虱空中虫群的最大密度出现在 1500~2000m 高空^[4]。根据我国南北 11 个站点迁飞季节 16℃(褐飞虱持续飞行的温度阈值)所在的高度分布,稻飞虱北迁时其平均飞行上限高度为 1910m,且随着季节的推进逐渐增高,最高可达 700hPa 等压面附近;同一季节内,越往北其上限高度越低(表 4)。故稻飞虱夏季北迁时的巡航高度应在 850hPa 等压面以上,即 1500~2000m 甚至更高(取决于 16℃所在高度),其成层高度上的风速要大于 850hPa 等压面的风速。因此稻飞虱的最大成层密度完全可能出现在 850hPa 以上的高度。若以 800hPa(2000m)高度的风速风向(低探资料)做轨迹分析,其时间长度应能减至 30h 左右。

表 4 1986~1995 年稻飞虱迁飞季节内我国不同地区 16℃出现的平均上限高度(m)

Table 4 The average flight ceilings (corresponded to 16℃, the temperature threshold for sustained flight) of northward migrating rice planthoppers during 1986~1995

时间(月/日) Duration (Month/day)	平均飞行上限高度 Average flight ceilings (m)										
	崖县 Yaxian	涠洲 Weizhou	梧州 Wuzhou	郴州 Chenzhou	怀化 Huaihua	南昌 Nanchang	安庆 An'qing	阜阳 Fuyang	郑州 Zhengzhou	济南 Ji'nan	北京 Beijing
03/11~20	1683	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
03/21~31	1826	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
04/01~10	1869	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
04/11~20	2064	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
04/21~30	2073	1637	—	—	—	—	—	—	—	—	—
05/01~10	2020	1823	1570	—	—	—	—	—	—	—	—
05/11~20	2119	2133	1709	1525	—	—	—	—	—	—	—
05/21~31	2242	2113	1912	1575	—	—	—	—	—	—	—
06/01~10	2233	2204	1850	1775	1838	1688	1603	1622	1579	—	—
06/11~20	2256	2286	2048	2392	1876	1926	1734	1594	1764	—	—
06/21~30	2232	2353	2220	2380	1958	2053	1830	1941	1925	1514	—
07/01~10	2016	2347	2566	2295	2200	2298	2114	2020	2013	1785	1637
07/11~20	2059	2298	2106	2100	2308	2433	2187	2246	2141	1962	1668
07/21~31	1963	2234	2087	2057	2257	2227	2116	2173	2288	2285	1813

* 各高度值系由 1000hPa、850hPa 和 700hPa 的资料线性内插而得 The ceilings are interpolated from the standard meteorological data of 1000hPa,850hPa and 700hPa

3.4 我国北方稻区稻飞虱成灾的预警指标

20 世纪 60 年代以前,稻飞虱仅在华南局部发生,但冀东 1955 年和 1958 年也曾两度暴发^[8],虽然不象 1991 年这样严重。可见稻飞虱的远距离迁飞是其内在的特性,不管人类是否关注它,它一直在飞。加强对稻飞虱的监测和研究,提高对北方稻区迁飞性害虫暴发的预警能力,是使北方稻区免遭大灾的根本保证。通过 1991 年北方稻虱暴发的个例研究,初步验证了作者提出的关于我国北方稻区稻飞虱成灾的触发机制的假说^[12]:大尺度低空急流的时空动态与南方(江岭区)大发生虫源的迁出期(区)相吻合的程度及维持时间乃北方稻虱大发生虫源形成的关键因子和暴发成灾的触发机制,其北上前缘左侧的暴雨区即远迁种群的集中降虫区。若对全国历年稻飞虱的北迁过程及北方稻虱历次大发生均做类似的分析且均能证实此假说的话,有万寿数据发生虫源时空同步且贯通南北的大尺度低空急流及其前缘的暴雨区可作为北方稻虱暴发的预警指标。

参考文献

[1] Tang J Y (汤金仪), Hu B H (胡伯海), Wang J Q (王建强). Outbreak analysis of rice migratory pests in China and management strategies recommended. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese)(生态学报), 1996, **16**(1): 167~133.

[2] Zhang B S (张宝恕). Outbreaks of rice planthoppers in Tianjin and control. *Tianjin Agric. Sci. Tech.* (in Chinese) (天津农林科技), 1992, (1):15~17.

[3] Feng C H (封传红), Zhai B P (翟保平), Zhang X X (张孝羲). Re-emigration capacity of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Chinese J. Rice Sci.* (in Chinese)(中国水稻科学), 2001, **15**(2):125~130.

[4] Deng W X (邓望喜). A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae). *Acta Phytophylacila Sinica* (in Chinese)(植物保护学报), 1981, **8**(2): 73~81.

[5] Zhai B P (翟保平). Tracking angels: 30 years of radar entomology. *Acta Entomologica Sinica* (in Chinese)(昆虫学报), 1999, **42**(3): 315~326.

[6] Wolf WW, Westbrook JK, Raulston J, *et al.* Recent airborne radar observations of migrant pests in the United States. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1990, **B 328**: 619~630.

[7] Sun S Q (孙淑清). Low level jet and heavy rainfall. In: Anon eds. *Researches on Heavy Rainfall*. (in Chinese). Changchun: Jilin Renmin Press, 1980. 40~46.

[8] Wang H J (王贺军), Guo X D (郭向东), Li H S (李河山). Outbreaks of rice planthoppers in eastern Hebei. *Plant Pest Forecasting* (in Chinese)(病虫测报), 1992, **12**(1): 58.

[9] Feng F S (冯富顺), Wang C S (王春生), Zhang Z T (张志涛), *et al.* Cause analysis of the 1991 outbreak of rice planthoppers in eastern Hebei. *Plant Protection* (in Chinese) (植物保护), 1992, **18**(4): 48~49.

[10] Li R D (李汝铎), Ding J H (丁锦华), Hu G W (胡国文), *et al.* *The Planthopper and Its Population Management* (in Chinese). Shanghai: Fudan University Press, 1996. 83~124.

[11] Cheng J Y (程极益), Fan D Q (樊多奇), Bao Y X (包云轩), *et al.* Trajectory analysis of brown planthopper outbreaks in the eastern Hebei province. *Chinese J. Agric. Met.* (中国农业气象), (in Chinese) 1994, **15**(1): 2~5.

[12] Zhai B P (翟保平). Excitation mechanism of rice planthopper plagues in northern China: a hypothesis. *J. Catastrophology* (in Chinese)(灾害学), 1995, **10**(3): 23~28.