莫兰蒂尚属于能量较弱的台风,仅侵入我国东部沿海 3 省,历时 3 d,至于对另一些可远伸入内陆的强台风型的影响尺度范围则可能会有不同的,需有待今后结合实例再进行研究分析。

另外,由于台风各层次结构中有不同的涡旋气流和垂直气流方向和速度的迅速变化,因此随着台风中心在短时间内的移动,并和昆虫扑灯行为节律间的吻合情况,其行径所经过的各地点之间的飞虱扑灯数量是很不均匀的。但从本例金华站点台风中心经过时所形成的特大上灯虫峰来看,可以认为台风过境时和过境前后各站点的上灯高峰确与台风结构中复杂的对流层有关,虫群可被卷入台风本体环流中后,空中的褐飞虱虫群可能被台风不断聚集,形成大量虫群,后随雨水和下沉气流迁入台风移动外围区域,造成大量虫群的迁入。或由于强风和暴雨影响,大部分褐飞虱不能起飞而在当地居留,部分尚未交配的个体第 2 天仍会趋灯(陈若篪等,1984),而只有处于台风眼区域内的褐飞虱由于天气晴好在台风过境当天可以趋灯。在国外,用雷达也曾观测到过台风辐合带中形成昆虫的聚集的现象,且台风眼中也常常观察到鸟群的出现(Chapman and Drake,2010)。但由于气象数据和技术有限,还无法对台风的影响进行精细的微尺度分析,台风辐合带中褐飞虱的聚集现象尚需要进一步的模拟和探讨。

参考文献(References)

包云轩,严明良,袁成松,李金建,2008. "海棠"台风对褐飞虱灾变性迁入影响的个例研究. 气象科学,28(4):450—455.

Chapman JW, Drake VA, 2010. Insect migration. *Encyclopedia of Animal Behavior*, 2:161—166.

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—81.

陈若篪,程遐年,1980. 褐飞虱起飞行为与自身生物学节律、环境因素同步关系的初步研究. 南京农学院学报,(2):42—49.

陈若篪,吴家荣,祝树德,张建新,1984. 褐飞虱的飞翔能力. 昆虫学报,27(2):121—127.

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. 106—122.

Furuno A, Chino M, Otuka A, Matsumura TM, Suzuki Y, 2005. Development of a numerical simulation model migration of rice planthoppers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1/4):197—209.

蒋耀培,李军,杨秋珍,汪祖国,龚才根,沈雁君,2006. 2005 年上海地区稻褐飞虱大发生特点及原因. 植物保护,32(4):96—97.

卢冬梅,孙六娣,罗美娟,2006. 2005 年南昌地区稻飞虱暴发流行与气象条件的关系. 江西农业学,18(2):106—107.

Ohkubo N, 1973. Experimental studies on the flight of planthoppers by the tethered flight technique. I: Characteristics of flight of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) and effects of some physical factors. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 17(1):10—18.

彭小梅,2007. 安福县稻飞虱暴发的气候条件分析及防治措施. 农技服务,24(8):48—49.

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 observations of mass return flight in the autumn. *Ecological Entomology*, 16(4):471—489.

Riley JR, Reynolds DR, Smith AD, Rosenberg LJ, Cheng XN, Zhang XX, Xu GM, Cheng J, Bao AD, Zhai BP, Wang HK, 1994. Observation on the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and other pests in east central China. *Bulletin of Entomological Research*, 84:389—402.

吴家展,邱玉秀,2006. 昭平县 2005 年晚稻稻飞虱特大发生. 广西植保,19(3):29—30.

应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1288—1297

安徽江淮地区灰飞虱的春季迁飞与扩散*

王 丽[1**] 韩 超[1] 徐艳博[1] 蔡广成[2] 孙友武[2] 胡学友[2] 张孝羲[1] 翟保平[1***]

(1. 南京农业大学植物保护学院昆虫学系 农作物生物灾害综合治理教育部和农业部重点实验室 南京 210095;
2. 凤台县植保站 凤台 232100)

摘 要 通过2009,2010年春季对江淮地区安徽凤台麦田及灯诱灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) 种群的系统调查和雌虫卵巢的系统解剖,明确了本地越冬后灰飞虱的种群性质,作为灰飞虱能否迁飞的判据;运用美国NOAA网站的HYSPLIT平台对本地的迁入高峰做了数值模拟和虫源分析。结果表明:(1)江淮稻区灰飞虱麦田种群的迁移动态为远距离迁飞与本地扩散相结合;(2)在本地范围内,灰飞虱的本地繁殖型长翅成虫于麦收前可从麦田向秧田迁移扩散,在不利于长翅成虫起飞进行远距离迁飞的天气条件,如降雨、大风等的影响下,麦田迁飞型种群可向附近的秧田扩散;(3)灯诱与田间长翅雌虫卵巢解剖表明本地2010年6月5日和12日出现迁入虫群;虫源轨迹分析显示2010年6月5日迁入虫峰来自苏中的扬州地区,6月12日迁入虫源来自鲁南济宁地区。

关键词 灰飞虱,春季迁飞,本地扩散,轨迹分析

Migration and dispersal of the small brown planthopper *Laodelphax striatellus* (Fallén) in the Jianghuai region: Case studies in Fengtai, Anhui Province in spring of 2009 and 2010

WANG Li[1**] HAN Chao[1] XU Yan-Bo[1] CAI Guang-Cheng[2] SUN You-Wu[2]
HU Xue-You[2] ZHANG Xiao-Xi[1] ZHAI Bao-Ping[1***]

(1. Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Insect Pests, Ministry of Education, Ministry of Agriculture of China, Nanjing 210095, China;
2. Fengtai Plant Protection Station, Fengtai 232100, China)

Abstract In order to clarify whether the 1st generation of the small brown planthopper (SBPH), *Laodeolphax striatellus* (Fallén) could undertake long distance migration in eastern China, the spring population properties of the 1st generation of this pest was studied in the Jianghuai region of Anhui Province through field surveys in wheat and rice seedling fields, light-trap catches and ovarian dissection of macropterous females. The migration pathways of SBPH were simulated and analyzed by HYSPLIT, a NOAA trajectory analysis platform. The results were as follows: (1) The population displacement of SBPH in wheat fields during the end of spring included long distance migration between different regions and local dispersal within Jianghuai District. (2) SBPH dispersed to rice seedling plots from wheat fields just before wheat harvest, or when the aerial migration of macropterous individuals was prevented by weather conditions such as precipitation and strong winds. (3) There were two migratory peaks in the spring of 2010, 5th June and 12th June, respectively. Trajectory analysis showed that the population source areas of the former migration event were in Yangzhou, central Jiangsu Province, and the latter in Jining, in southern Shandong Province.

Key words *Laodelphax striatellus*, spring migration, local dispersal, trajectory analysis

灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) (SBPH)广泛分布于东亚、东南亚、欧洲和北非等地,在我国的主要发生地为长江中下游及华北地区。它能取食为害水稻、小麦、大麦、玉米、高粱、

* 资助项目:国家973项目(2010CB126201)、公益性行业(农业)科研专项(200903051)、国家水稻产业技术体系建设专项(nycytx-001)。
** E-mail: 2009102126@njau.edu.cn
*** 通讯作者,E-mail: bpzhai@njau.edu.cn
收稿日期:2011-08-12,接受日期:2011-09-05

甘蔗、看麦娘、稗草、李氏禾和双穗雀稗等多种禾本科植物,并能传播多种病毒病,其传毒为害造成的损失远大于直接刺吸为害(刘向东等,2006)。近年来由灰飞虱传播的病毒病在各地日益流行,且这类病害目前大多难以防治,造成作物减产甚至绝收(张景飞等,2005)。由于该虫直接刺吸作物(如小麦、水稻)和产卵造成的为害并不那么显著,刺吸传毒造成的作物损失虽然严重,但其迁移扩散的规模、尺度及社会影响远不及褐飞虱、白背飞虱,致使其迁移扩散性质没有得到国内研究者的足够关注。已知灰飞虱在国内绝大部分地区可以 3 龄和 4 龄若虫在杂草、枯枝烂叶下、土缝内以及稻茬墩内越冬,春季迁移到秧田内产卵,再通过成、若虫 2 个途径进入本田(蔡邦华等,1964)。灰飞虱在这个过程中具有一次迁飞传毒高峰(阮义理等,1981),那么无论夏秋季能不能迁飞,都将会给大田水稻带来挥之不去的后患甚至灭顶之灾。

一直以来,国内普遍认为灰飞虱食性广、耐寒、具有休眠性,江淮地区的冬季低温不影响其越冬等(刘向东等,2007),故将其归类为本地害虫。然而在国外偶有关于灰飞虱迁飞的报道(Hirao and Ito, 1980; Noda, 1986; Riley *et al.*, 1991; Hoshizaki, 1997; Syobu *et al.*, 2011),近年来更通过对日本本土及亚洲地区灰飞虱抗药性差异的比较推测该虫的远距离迁移(Otuka *et al.*, 2010; Sanada-Morimura *et al.*, 2011),在中国东部海上网捕、飞机航捕和大陆高山网捕等也都曾有过灰飞虱入网的记录(岸本良一, 1972; 刘浩官等,1980; 邓望喜,1981),表明灰飞虱存在迁飞迹象。近年来有调查显示,灰飞虱田间发生动态难以用本地虫源的繁衍解释(林志伟等,2004; 白雪峰等,2010)。不过无论国内还是国外都缺乏其迁移扩散的系统研究,故其迁飞与否一直没有定论。灰飞虱的迁飞习性不明了,由其传播的病毒病的流行规律也就难以缕清。为此,作者采用田间系统调查、诱虫灯系统监测和雌虫卵巢系统解剖的方法研究了春季灰飞虱的迁移扩散及迁飞特性,以期为灰飞虱发生及其所传病毒病流行的监测预警提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　虫情数据

于 2009,2010 年春季在安徽省淮南市凤台县(32.425°N,116.428°E)开展田间系统调查、灯诱监测和长翅雌虫卵巢的系统解剖,记录田间和灯下灰飞虱的数量动态及卵巢发育状况。

1.1.1　系统田设置　在当地选取一块麦田和麦田附近一块直播秧田(10 m × 10 m)。小麦品种为烟农 19,2009 年 5 月 29 日收割,2010 年生育期稍晚,于 6 月 13 日收割;秧田为凤台县农科所的品种试验田,调查开始时秧苗都处于三叶期,调查结束仍未移栽,均按当地麦、稻田管理措施进行水肥药管理。

1.1.2　系统调查与系统解剖　调查田间种群数量与结构,每次调查在麦田内用标准白瓷盘(40 cm × 30 cm)沿麦株基部拍虫,每盘面积 40 cm × 10 cm。采用随机多点取样调查法,每块田拍 10 盘;秧田内用相同白瓷盘在 40 cm × 10 cm 面积的秧苗上重复扫虫,直至所选区域扫虫为零,记录累积虫量。所有调查虫量折算为每平方米虫量。

麦田与秧田调查各吸取 20 ~ 30 头长翅雌虫,进行卵巢解剖,记录卵巢发育级别。

2009 年系统调查与解剖每 3 d 1 次,2010 年为每天 1 次。

灰飞虱卵巢解剖与发育级别判别方法依照徐秀媛和丁锦华(1990)的标准,卵巢发育级别与虫源性质的划分参照陈若篪等(1979)的褐飞虱划分标准。

1.1.3　灯诱与逐时卵巢解剖　在系统田附近设置佳多灯诱虫。每晚日落后(约 19:20)自动开启,日出时(约 05:00)熄灭。每晚系统解剖 20 ~ 30 头雌虫,在虫峰来临时逐时收虫并解剖,记录各时段虫量及卵巢发育级别。

1.2　气象资料

风场资料来自美国环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)的全球再分析数据(全球 6 h 1 次,1°×1°,26 个高度层,GRIB 格式),用 GrADS 显示。降水资料为中国国家气象局提供的 MICAPS 数据,在 ArcGIS 中显示。

1.3　轨迹分析

运用美国 NOAA(美国国家大气海洋局)网站的 HYSPLIT (hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory)平台对本地田间迁入高峰和具有迁入或迁出性质的灯诱高峰进行数值模拟和虫源分析。轨迹计算时参数设置:(1)灰飞虱顺风

迁移(Furuno *et al.*, 2005);(2)灰飞虱起飞类型为晨暮双峰型,起飞时刻为日出日落前后 1 h 内;(3)迁飞高度为距地面 1 000 m 左右,回推轨迹以设灯地为起点,以灰飞虱逐时扑灯时刻为起始时间,直至凌晨 5:00,回推至虫源地起飞时刻日出前约 1 h 的 05:00 为终点,顺推轨迹以虫源地为起点,以灰飞虱起飞时间为起始时间,顺推至本地;(4)回推轨迹终点处可有大量长翅型灰飞虱存在才能作为有效轨迹;(5)飞行高度层最低温度为 16.5℃(Ohkubo, 1973)。

2 结果与分析

2.1 灯诱虫量动态及虫源性质

2.1.1 灯诱虫量动态 2009,2010 年调查显示本地都出现 2 个灯诱虫峰,2009 年的最大虫峰出现在 6 月 5 日,2010 年则在 6 月 12 日有诱虫最大峰(图 1)。灯诱飞虱中还出现数量可观的伪褐飞虱,必须注意仔细区分。2009 年呈现 5 个伪褐飞虱上灯峰,其中后 2 个峰与灰飞虱上灯峰同期出现;2010 年有 2 个上灯峰,并在灯诱灰飞虱虫峰时同样可见少量伪褐飞虱,其虫量较多的时段在 20:00—21:00。

根据逐时灯诱灰飞虱虫量的统计(图 2),虫峰日的灯诱高峰时刻大多落在 21:00—23:00 之间,有的峰日甚至在后半夜 01:00—02:00 出现虫峰。午夜及凌晨所诱的大量虫群基本不可能来自本地种群起飞上灯,揭示灰飞虱可能存在远距离迁飞的特性,越趋于后半夜诱集的虫群可能来自离本地越远的麦区。

2.1.2 灯诱雌虫卵巢发育结构 系统解剖显示,2009 年调查期内灯诱雌虫卵巢发育级别都较低,Ⅰ级比例平均占 63.69%,Ⅱ级占 22.91%,Ⅲ级占 13.4%,可以认为整个调查期间均以迁出为主。2010 年 5 月下旬到 6 月中旬比较复杂,迁出型和

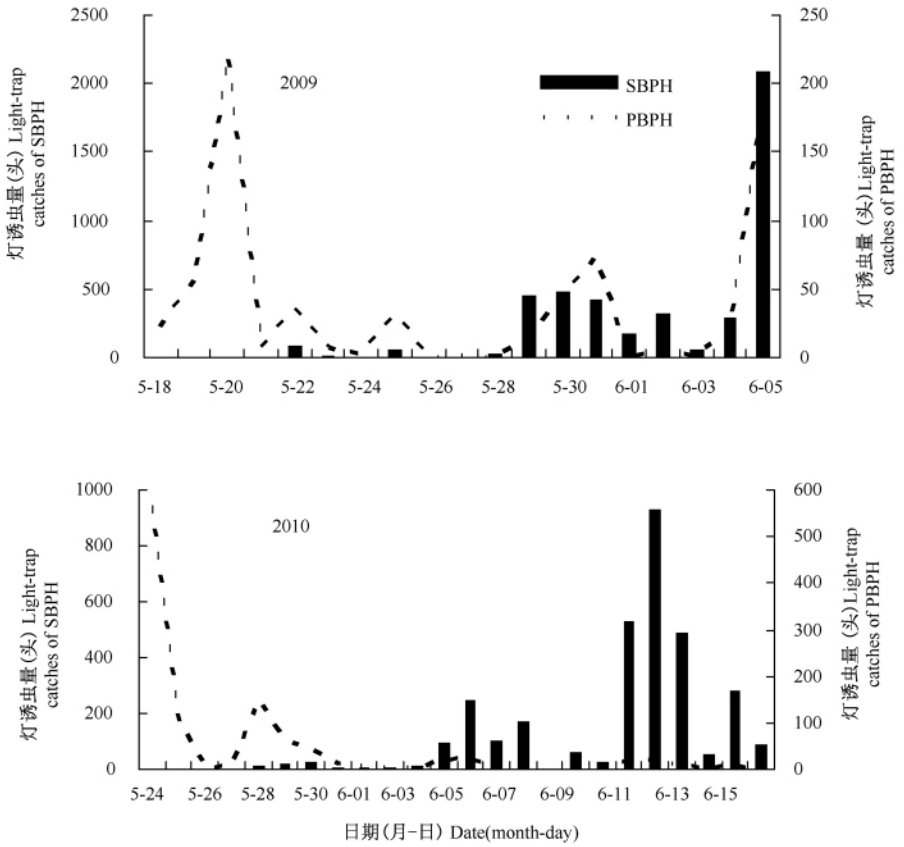

图 1 凤台 2009、2010 年春季灰飞虱灯诱虫量

Fig. 1 Light-trap catches in of SBPH spring of 2009 and 2010, Fengtai

PBPH 表示伪褐飞虱 *Nilaparvata muiri*

PBPH represents the pseudo brown planthopper *Nilaparvata muiri* China

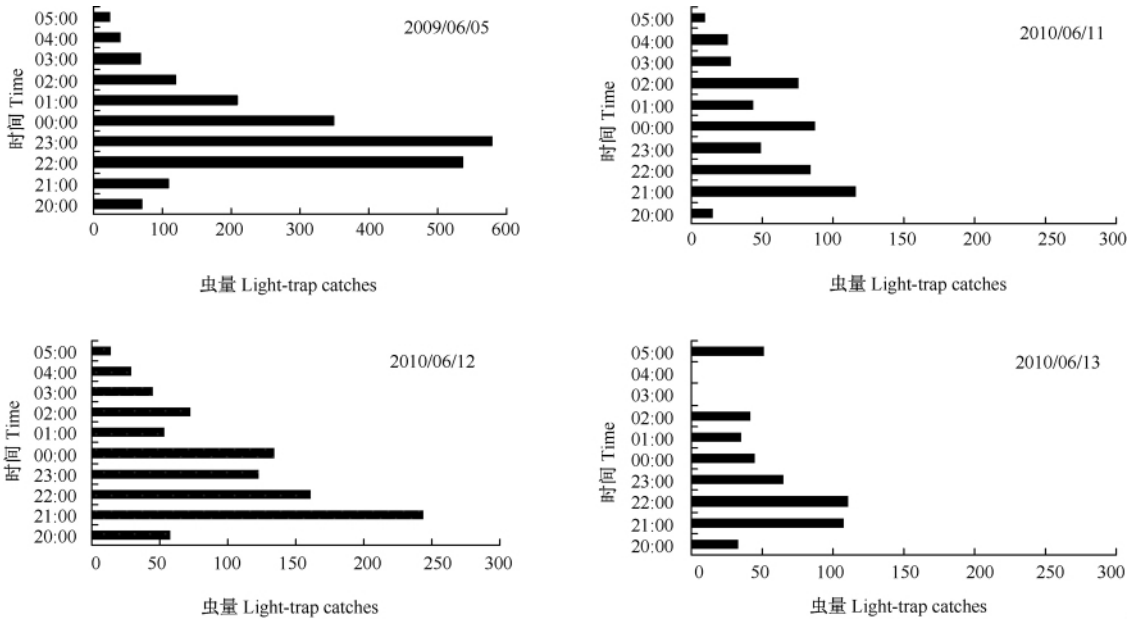

图 2　凤台春季灰飞虱灯诱峰日逐时虫量

Fig. 2　Hourly light-trap catches of SBPH on peak days of spring, Fengtai

图中黑柱示灯下逐时收虫量

Each bar represents light-trap catches collected during each hour

迁入型不断交替混杂发生,可分为 4 个阶段(表 1):6 月 4 日Ⅰ级比例平均占 76.2%,为迁出型卵巢发育结构;5—6 日以Ⅱ级为主,占到 63.5%,并含有 6.3% 的Ⅲ级以上个体,显示为迁入型卵巢发育结构;9—11 日Ⅰ级占绝大多数,达 64.6%,显示灯下种群为迁出型;12—17 日Ⅱ级占 51.8%,Ⅲ级占 20.1%,灯诱种群显示为迁入型。其中最高虫峰日 12 日雌虫卵巢发育至Ⅱ级个体占 57.3%,此时本地麦田业已收割,秧田自身无法提供低级别虫群上灯,显然是外地迁飞而来扑灯的个体。

表 1　2010 年春季凤台灯诱灰飞虱卵巢发育结构与种群性质

Table 1　Ovarian development and population properties of SBPH based on light-trap catches in Fengtai in spring, 2010

时段 Periods	卵巢发育分级 Ovarian development grades(%)			种群性质 Population properties
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ - Ⅴ	
6/4	76.2	23.8	0	迁出型
6/5 - 6	30.2	63.5	6.3	迁入型
6/9 - 11	64.6	32.1	3.3	迁出型
6/12 - 17	28.1	51.8	20.1	迁入型

2.2　田间虫量动态及虫源性质

2.2.1　麦田种群动态、虫源性质与翅型分化

2009 和 2010 年春季对凤台灰飞虱田间虫量的调查发现,随着小麦生育期的推进,麦田营养条件越来越差,种群数量渐次减少直至麦子收割,由平均 365 头/m^2 减至最低 61 头/m^2。其中伴随着短翅型成虫从零星被查到至不再出现,长翅型成虫所占比例逐渐上升(图 3)。麦田第 1 代灰飞虱的长翅型比率平均为 94.7%,短翅型占 5.3%。

2009 年调查期间麦田灰飞虱种群卵巢发育级别低,分析基本为迁出型。2010 年对灰飞虱长翅雌成虫的系统解剖显示(表 1),麦田灰飞虱雌虫卵巢发育结构从 5 月 31 日麦田长翅型雌虫解剖开始至 6 月 11 日麦收前,Ⅰ级比例平均占 62.4%,Ⅱ级占 20.2%,Ⅲ级以上比例占 17.4%,田间种群符合大部迁出、少量本地滞留型;尤其在 2—5 日麦田长翅型发生高峰时,Ⅰ级比例都超过 66%,为迁出高峰;6 月 10 日Ⅰ级比例又达 84%,估计乃由 8—10 日的连续降雨致使麦田中长翅型成虫不能起飞而被阻滞在本地,逐日羽化出的低

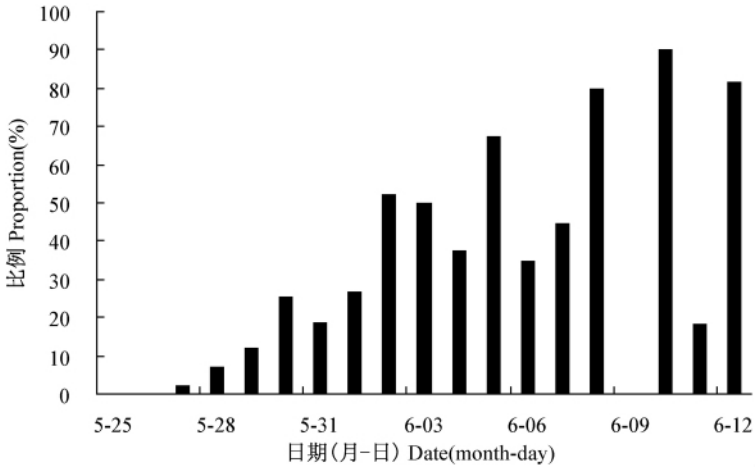

图 3 2010 年凤台麦田灰飞虱长翅型成虫比例

Fig. 3 Proportion of macropterous adults of SBPH in wheat fields in 2010, Fengtai

级别待飞成虫累积,致使麦田低级别比例增大;但在收割前的 6 月 12 日则以Ⅱ级为主,占 36.9%,其他级别比例基本相近各为 15%,呈现出本地繁殖型,或有部分迁入的种群性质。分析认为,随着麦田若虫发育已达末期,长翅型灰飞虱已羽化很少,羽化后又随即不断迁出,大部分选择转移的个体也都已飞走,田间仅留下少量本地繁殖个体(也就是麦田种群中的居留型个体),直至麦收而被淘汰,这部分小众群体在迁飞分析中可以忽略。

2.2.2 秧田虫量动态及虫源性质 秧田的虫情调查始于秧苗三叶期,2010 年初始虫量为零,至 5 月 27 日始见灰飞虱成虫 2.5 头/m^2,随后 28 日秧田虫量在短期内剧增至 35.8 头/m^2(图 4),此时灯下灰飞虱虫量极少,麦田虫量开始持续减少,可见秧田初始成虫来自麦田长翅型居留型成虫的迁移扩散。育苗期内灰飞虱在秧田内的种群数量动态共呈现 2 个虫峰,稍小虫峰出现在 6 月 6 日,达 314.2 头/m^2;另一个迁入峰出现在 6 月 12 日,达到 756.7 头/m^2,与灯诱峰期相吻合(图 1,图 5),也证实秧田的虫源除来自麦田外,也有部分来自外地的远距离迁入,特别在麦收以后的秧田后期。

秧田种群的卵巢解剖结果显示,从 5 月 25 日到 6 月 16 日,秧田灰飞虱种群卵巢发育Ⅰ、Ⅱ级和Ⅲ级以上的比例平均分别占 11.9%、20.1% 和 68.1%(图 5)。可见秧田的卵巢结构显示为以Ⅲ级及以上的成熟个体比例占多数,与麦田的以Ⅰ、Ⅱ级为主的迁出型结构不同,为迁入型种群的卵巢发育结构。值得指出的是,其中 6 月 10 日前后低级别虫的比例突增,尤其是 6 月 10 日Ⅰ级比例高达 66.6%,Ⅰ、Ⅱ级所占比例高达 75%,并与麦田当时的卵巢发育结构相近似,这是由于 6 月 8—10 日的连续降雨,而影响到麦田原来应该逐日迁出的低级别成虫滞留不起飞,因此也可能同时扩散到秧田的缘故。

综上所述,凤台 2009、2010 年灯诱虫群都有 2~3 个高峰,从雌虫卵巢发育结构分析都是由Ⅰ、Ⅱ级卵巢发育未成熟的个体组成为主,其中又以Ⅰ级为主的迁出型为主,但在 2010 年整个期间又都夹杂有 1 个或 2 个时段为以Ⅱ级卵巢级别为主的外地迁入高峰,尤其是在当地小麦收割后都为迁入型。从灯诱数量上看则都以迁入峰的数量远远大于迁出峰。

从 5 月下旬到 6 月初麦田长翅型成虫开始迁出后,凤台麦田的灰飞虱种群数量随之显著下降,从麦田种群卵巢发育结构来分析其种群性质,可见与灯诱种群相对应,基本为迁出种群,迁出时大多以Ⅰ级比例占多数,所不同的是麦田还有相当比例的Ⅱ级和Ⅲ级以上的本地繁殖型个体。

凤台的秧田虫量调查都为上升型,其虫源性质从卵巢发育结构分析既不同于灯诱种群,也不同于麦田种群,始终显示以Ⅲ级以上本地繁殖型成虫为主组成的迁入型,与麦田后期的本地繁殖型结构相似,也证实了其虫源主要是由麦田的居留型成虫扩散转移为主,但在 2010 年 6 月 5 日左右和麦收后也可有部分外地迁入。

2.3 灰飞虱迁入峰日气象背景及虫源分析

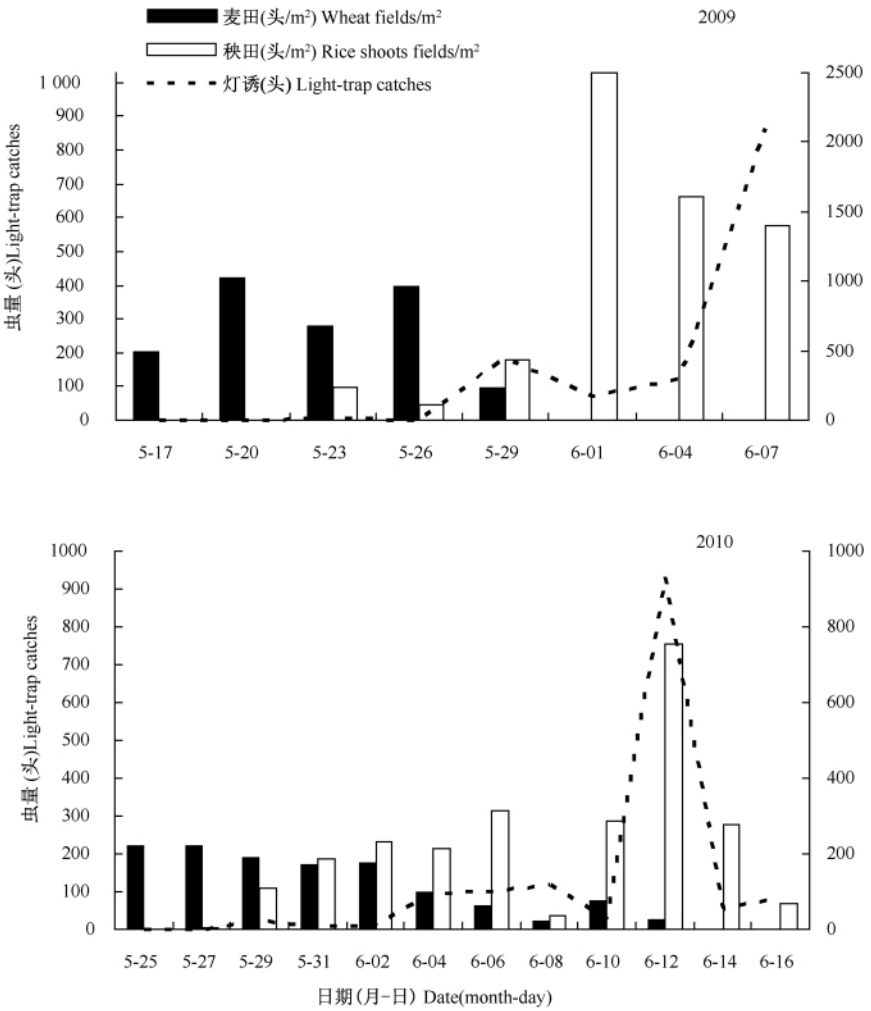

图 4　2009,2010 年凤台春季灰飞虱田间及灯诱虫量

Fig. 4　Dynamics of SBPH in different fields and light-trap catches in spring of 2009 and 2010, Fengtai

2.3.1　2010 年 6 月 5 日迁入峰　2010 年 6 月 5 日灯下出现小虫峰,随后秧田种群动态也显示有部分外地迁入虫群。当日苏中南地区上空盛行偏东风,至安徽上空时转为东南风,可运载江苏的虫源至凤台上空(图 6: a, b),而 6 月 5 日 20:00—6 月 6 日 02:00 凤台上空有 0.2 Pa/s 的下沉气流(图 6: c),形成其降落的有利条件。运用 HYSPLIT 平台回推轨迹,结果表明,6 月 5 日虫源来自江苏中南部,根据逐时灯诱虫量的调查,灰飞虱在日落时分起飞的虫量明显多于日出时刻,因此主要虫源地位于江苏中部扬州附近(图 6: d)。受春季低温影响,此时扬州地区小麦尚未收割,可以提供长翅型成虫迁入本地。

2.3.2　2010 年 6 月 12 日迁入峰　灯诱虫峰时刻为 20:00—21:00。11 日至 12 日鲁西南地区 925 hPa 高空盛行偏北风(图 7: a),随着大陆暖高压的南压,12 日 20:00 925 hPa 高空偏北风受西北和西南风的扰动(图 7: b),风速明显减小,无明显下沉气流;受西北暖性气团影响,气温由西北向东南呈递减趋势。虫源地轨迹分析表明,此次迁入峰来自山东西南部济宁地区(图 7: c)。虫群自北向南迁飞至本地上空时,风向受西北和西南风的扰动、风速也突然降低,均有利于其降落。而 11 日济宁地区的田间调查显示,本地麦田尚未收割,有大量长翅型成虫外迁,灯诱亦显示迁出迹象,再次验证轨迹回推结果。

3　结论与讨论

3.1　灯诱虫情可以代表本地灰飞虱种群迁入迁出动态

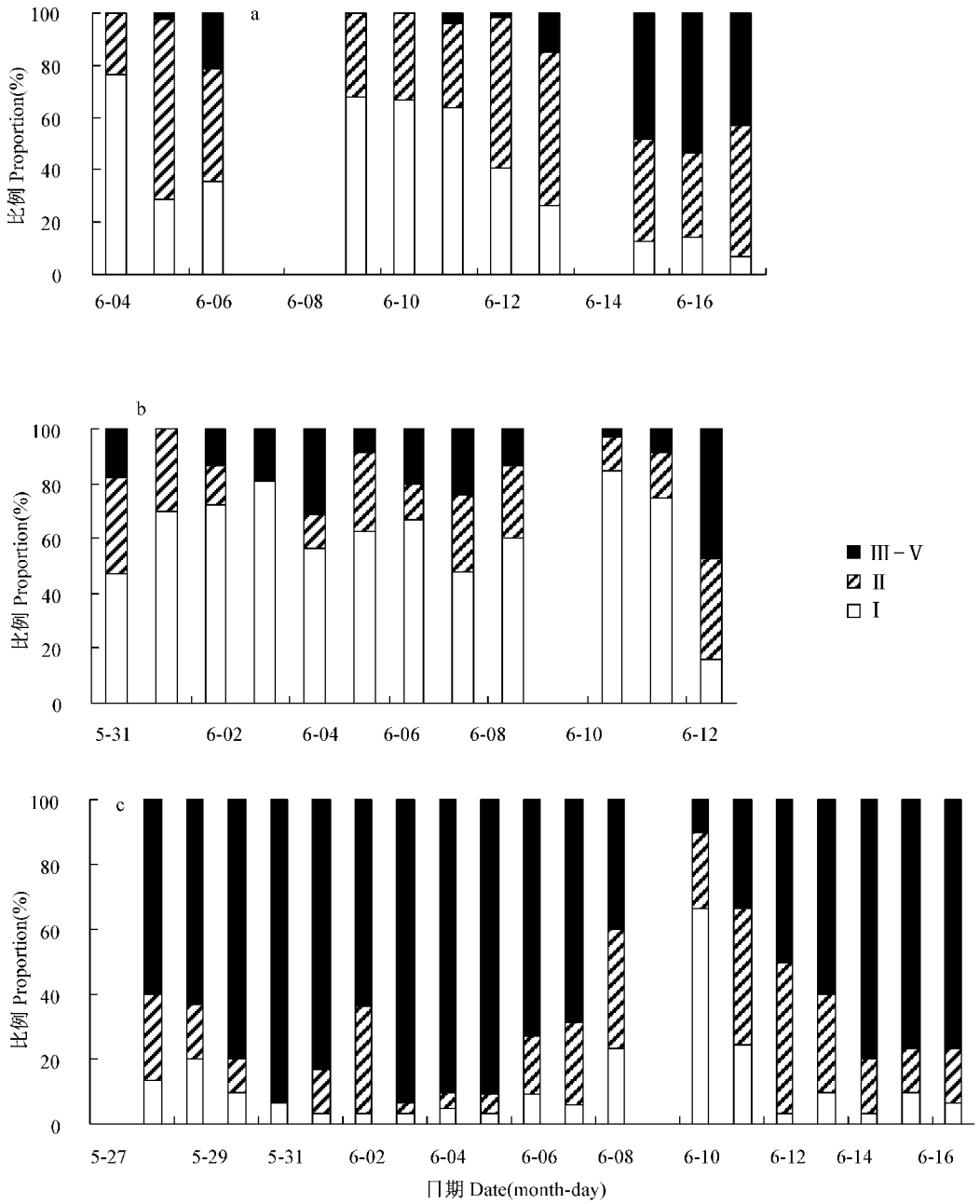

图 5　2010 年凤台春季灯诱与田间灰飞虱卵巢发育结构(a 灯诱，b 麦田，c 秧田)

Fig. 5　Ovarian development of SBPH in light-trap catches, wheat field and rice seedling field in spring of 2010, Fengtai (a: Light-trap catches; b: Wheat fields; c: Rice seeding fields)

长期以来，灯诱记录已广泛应用于学术研究与两迁害虫预测预报中。对于迁飞型害虫而言，田间调查结合长翅型雌虫卵巢解剖(以下简称解剖)是研究两迁害虫虫源性质的主要方法。但是，较为常用的是田间解剖，有关灯下虫群解剖的研究较少，而且对于如何用卵巢发育结构来区分灯下迁入或迁出虫源性质，尚没有定论。陈若篪等(1979)对江淮、江南和华南部分地区的褐飞虱田间、灯下及高空捕虫网内的长翅型雌虫进行了系统解剖，提出了褐飞虱发育与迁飞过程关系的模式图。但是，在同一迁飞期，灯下与田间解剖的代表意义显著不同，田间解剖的标准不一定适用于灯诱虫解剖，田间种群夹杂有高级别的本地繁殖型的结构。本文田间虫源性质的判断虽然依然参

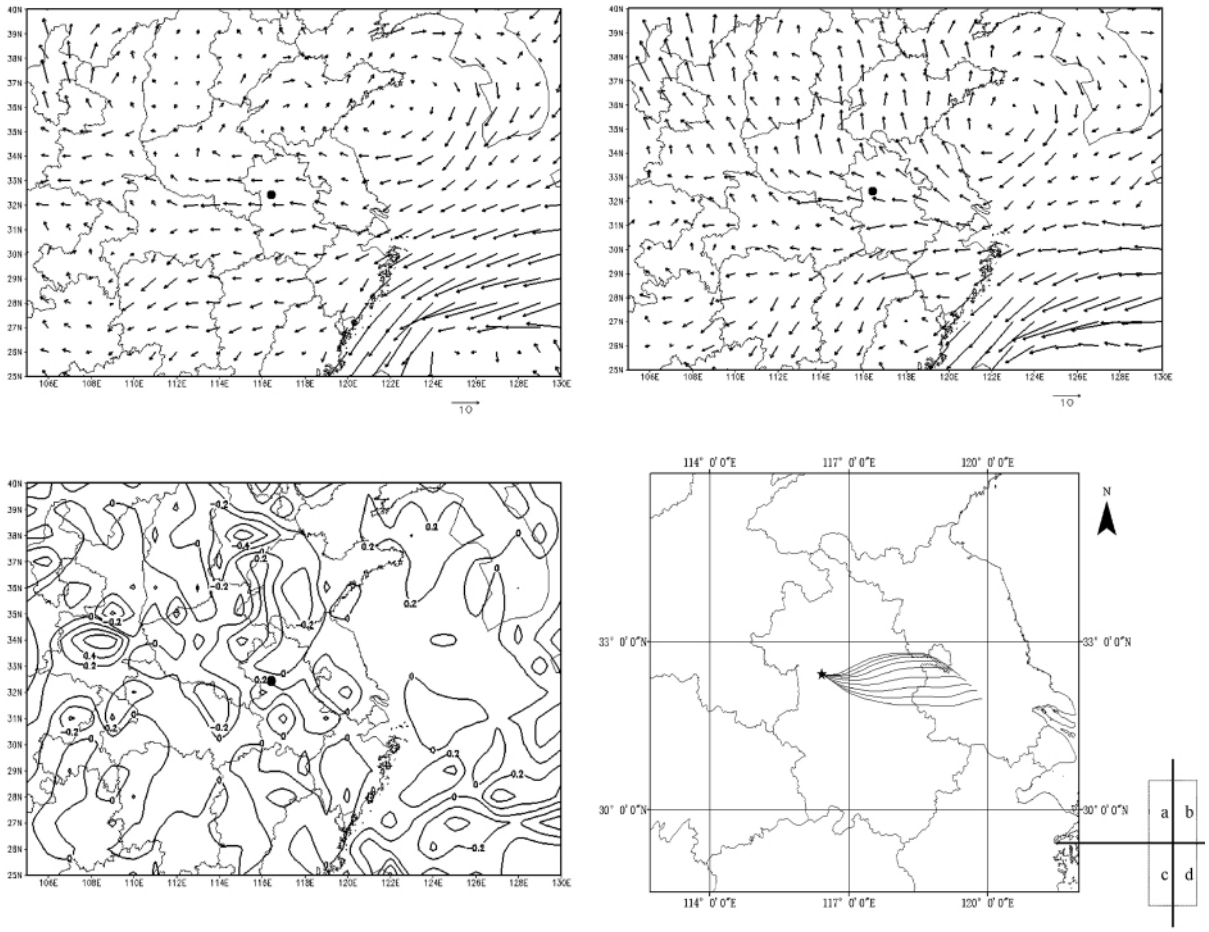

图 6　2010 年 6 月 5 日凤台 925 hPa 水平风场(m/s)(a 00:00,b 20:00)、垂直流场(Pa/s)(c 20:00)及回推轨迹(d)

Fig. 6　Horizontal wind field (m/s) (a 00:00, b 20:00), vertical velocity/(Pa/s) (c 20:00) on 925 hPa and the backward trajectories(d) of SBPH by HYSPLIT on 5 June, 2010

考褐飞虱田间解剖的标准,认为灯诱虫卵巢解剖低级别较多时,可代表田间或灯下的迁飞种群,其中Ⅰ级所占比例较高表示灰飞虱正在迁出,卵巢发育停留在Ⅰ级后、Ⅱ级前的幼嫩阶段;Ⅱ级所占比例较高则表示迁入,包括刚迁入扑灯或迁入田间后再次扩散扑灯。灰飞虱迁入扑灯种群中出现卵巢发育至Ⅲ级,甚至个别Ⅳ~Ⅴ级的个体,显示出其与褐飞虱不同,但与白背飞虱相似,甚至比白背飞虱更频繁地出现Ⅲ级或以上的个体。通过本研究结果,可见应用卵巢解剖方法来判断和区别不同迁飞性质或行为的标准有一定的共性,但无论灯诱和田间种群或不同的迁飞型昆虫之间仍应有更具体的判别标准。因此,迫切需要提出一个灰飞虱卵巢发育过程及其与迁飞关系的确切标准。

3.2　灰飞虱迁飞的判定

灰飞虱在世界范围内被普遍认为是本地越冬的本源性害虫。本文从对灰飞虱生物学特性的调查和解剖数据的分析上来看,灰飞虱存在明显的生殖滞育现象,灯诱结果验证,绝大部分迁出种群灰飞虱雌虫卵巢发育程度都处于低级别阶段;从遗传角度看,其具有作为质量性状的翅型分化特性,本地田间的长翅型分化特点再次验证这一点,并且这种雌雄性都出现的翅型分化类型并不是由春季低温诱导(张爱民等,2008),这为灰飞虱迁飞提供了重要前提;从行为学层面看,灰飞虱的主动起飞现象已被田间试验(王瑞等,2008)验证;加之本文调查结果中灯诱结合田间调查发现的迁入虫峰,都表明灰飞虱除本地近距离迁移扩散外,还存在远距离迁飞现象。因此,灰飞虱既是能当地越

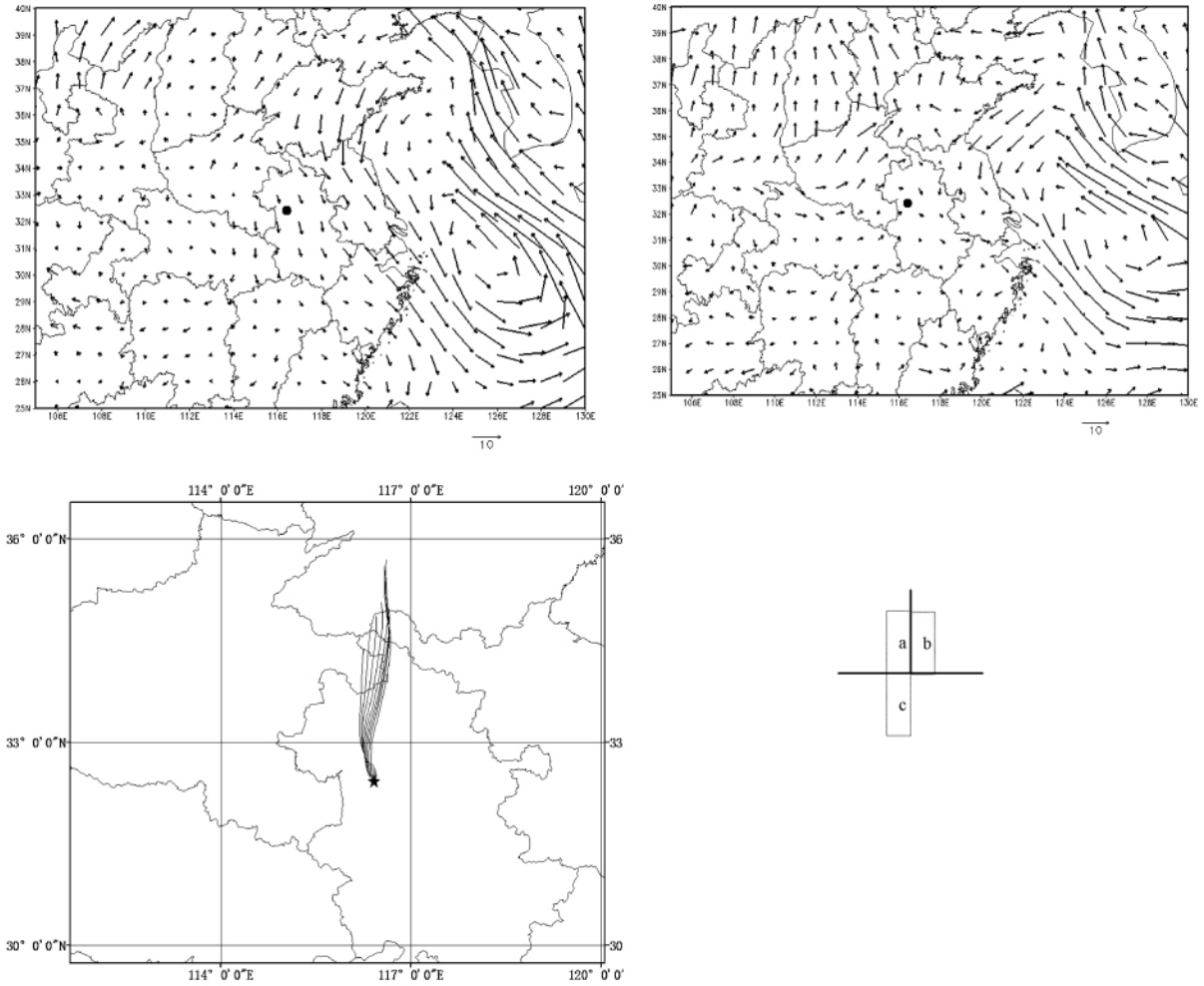

图 7　2010 年 6 月 12 日凤台 925 hPa 水平风场(m/s)(a 00:00, b 20:00)及回推轨迹(c)

Fig. 7　Horizontal wind field (m/s) (a 00:00, b 20:00) on 925 hPa and the backward trajectories (c) of SBPH on 12 June, 2010

冬的本源性害虫,又是具有季节型远距离迁飞的媒介昆虫。

3.3　春季高空气流的多变性决定灰飞虱迁飞规律的不稳定性

本文的虫源地轨迹分析结果表明,春季第 1 代灰飞虱迁入种群的虫源地并没有稳定的方向或地点。如 2010 年 6 月 5 日高峰期迁入种群的虫源地是在凤台东面的苏中南部地区,主要在江苏扬州附近;而 6 月 12 日的高峰期虫源地则分布在其偏北面的鲁西南地区,并以济宁地区为主。这主要是由当时的天气背景(风向、垂直速度和降雨等)所决定的。灰飞虱在江淮地区的第 1 代迁飞发生在 5 月下旬到 6 月中旬,比褐飞虱和白背飞虱的主迁入代要早 1 个月以上。春季因大陆的西伯利亚气团和热带海洋气团两者势均力敌,互有进退,是锋系及气旋活动盛行时期,尤其是江淮地区小麦收割期时,冷暖气团交绥频繁,高空风向每天都变幻莫测,无法为灰飞虱的运载和降落提供固定的盛行季风和高空气流。同时由于春夏之交时高空层的气温也常发生变化不定,1 000 ~ 1 500 m 上空的气温常在飞虱的临界飞行温度附近动荡不定(如 15 ~ 24℃ 之间)。风向的频繁变动造成了灰飞虱迁入种群在这些地区的虫源地的不稳定性,气温的变动则容易使灰飞虱由于遇到低温胁迫而集中降落。而褐飞虱或白背飞虱的主迁入期一般要在 6 月下旬到 7 月下旬,此时的季节性风向常为西南风,高空气温常稳定在 22℃ 以上,故其迁飞的虫源地风向比较稳定,其降落机制也不会

受高空低温的胁迫。(江广恒等,1981)。本文的工作只是试图揭示灰飞虱春季迁飞特性的初步尝试,要阐明其迁飞规律及其行为机制尚待开展更深层次的系统研究。

致谢:南京农业大学程遐年教授对本研究提供了指导性意见,安徽省植保站李静女士参与了部分调查工作,在此一并致谢。

参考文献(References)

岸本良一,1972. ウンカ类の长距离移动. 植物防疫,26(8):10—16.

白雪峰,王延玲,王鹏,李国强,刘书义,2010. 黄淮夏玉米区灰飞虱发生规律的研究. 山东农业科学,(3):70—72.

蔡邦华,黄复生,冯维熊,傅亿荣,董其芬,1964. 华北稻区灰稻虱的研究. 昆虫学报,13(4):552—571.

陈若篪,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(3):280—288.

程遐年,陈若篪,习学,杨联民,朱子龙,吴进才,钱仁贵,杨金生,1979. 褐稻飞虱迁飞规律的研究. 昆虫学报,22(1):1—21.

大久保宣雄,1973. 宙吊り飛しょう法によるウンカ類飛しょうの実験的研究:第1報 トビイロウンカの飛しょうの特徴およびそれらに与える物理的環境条件の影響. 日本応用動物昆虫学会誌,17(1):10—18.

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.

Furuno A, Chino M, Otuka A, Watanabe T, Matsumura M, Suzuki Y, 2005. Development of a numerical simulation model migration of rice planthoppers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133: 197—209.

Hoshizaki S, 1997. Allozyme polymorphism and gepgraphic variation in the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Homoptera: Delphacidae). *Biochem. Gen.*, 35(12):283—293.

江广恒,谈涵秋,沈婉贞,1981. 褐飞虱远距离向北迁飞的气象条件. 昆虫学报,24(3):251—261.

林志伟,刘宏毅,刘洋,辛惠普,2004. 寒地灰飞虱田间发生规律的研究. 黑龙江农业科学,(6):24—26.

刘浩官,刘振杰,王乾超,江智才,1980. 东海网捕褐飞虱的研究. 福建农业科技,4:20—22.

刘向东,翟保平,刘慈明,2006. 灰飞虱种群暴发成灾原因剖析. 昆虫知识,43(2):141—146.

刘向东,翟保平,胡自强,2007. 高温及水稻类型对灰飞虱种群的影响. 昆虫知识,44(3):348—352.

Noda H, 1986. Pre-mating flight of rice planthopper migrants (Homoptera: Delphacidae) collected on the East China Sea. *Appl. Entomol. Zool.*, 21(1):175.

Otuka A, Matsumura M, Sanada-Morimura S, Takeuchi H, Watanabe T, Ohtsu R, Inoue H, 2010. The 2008 overseas mass migration of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*, and subsequent outbreak of rice stripe disease in western Japan. *Appl. Entomol. Zool.*, 45(2):259—266.

平尾重太郎,伊藤清光,1980. 1974 年梅雨期東シナ海におけるイネウンカ類の採集記録. 日本応用動物昆虫学会誌,24(2):121—124.

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 observations of mass return flight in the autumn. *Ecol. Entomol.*, 16(4):471—489.

阮义理,蒋文烈,林瑞芬,1981. 稻病毒病介体昆虫灰稻虱的研究. 昆虫学报,24(3):283—290.

Sanada-Morimura S, Sakumoto S, Ohtsu R, Otuka A, Huang SH, Dinh VT, Matsumura M, 2011. Current status of insecticide resistance in the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*, in Japan, Taiwan, and Vietnam. *Appl. Entomol. Zool.*, 46: 65—73.

Syobu S, Otuka A, Matsumura M, 2011. Trap catches of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Fallén) (Hemipera: Delphacidae), in northern Kyushu district, Japan in relation to weather conditions. *Appl. Entomol. Zool.*, 46: 41—50.

王瑞,沈慧梅,胡高,陈晓,翟保平,2008. 灰飞虱的起飞和扩散行为. 昆虫知识,45(1):42—45.

徐秀媛,丁锦华,1990. 灰飞虱雌性生殖系统的构造和卵巢发育分级. 昆虫知识,27(6):365—366.

张爱民,刘向东,翟保平,顾晓莹,2008. 温度对灰飞虱生物学特性的影响. 昆虫学报,51(6):640—645.

张景飞,龚林根,瞿燕,屈惠良,2005. 2004 年常熟市 5、6 代灰飞虱严重为害水稻穗部. 中国植保导刊,25(4):39.

应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(5):1298—1308

山东济宁灰飞虱春季种群动态及迁飞特性*

张海燕** 刁永刚 杨海博 赵 悦 张孝羲 翟保平***

(南京农业大学植物保护学院昆虫学系 农作物生物灾害综合治理教育部和农业部重点实验室 南京 210095)

摘 要 通过灯诱和田间系统调查以及长翅型雌虫卵巢解剖,研究了山东济宁灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén)在灯下、麦田和秧田的种群消长动态及虫源性质。运用 GrADS 和 ArcGIS 分析了 2009 年 6 月 7 日迁入峰和 2010 年 6 月 15 日迁出峰的天气学背景,并运用 HYSPLIT 轨迹分析平台模拟了这 2 个时期灰飞虱的迁飞路径。结果表明:(1) 2009 年 6 月 7 日、8 日,2010 年 6 月 3 日至 7 日为济宁灰飞虱的迁入高峰期;2009 年 6 月 2 日至 4 日、9 日,2010 年 6 月 8 日,6 月 15 日至 18 日为济宁灰飞虱的迁出高峰期。(2) 回推轨迹分析显示 2009 年 6 月 7 日迁入济宁的灰飞虱的虫源地主要为江苏省宿迁市沭阳县和泗洪县及丹阳市,而顺推轨迹分析显示 2010 年 6 月 15 日济宁灰飞虱迁出可能降落于辽宁省朝阳市喀喇沁左翼蒙古族自治县、大连市与丹东市交界及朝鲜江原道。(3) 降雨是导致灰飞虱迁入或迁出降落的最主要因子,灰飞虱降落于降水区的边缘。

关键词 灰飞虱,种群动态,虫源性质,逐时灯诱,轨迹分析

Population dynamics and migration characteristics of the small brown planthopper in spring in Jining, Shandong Province

ZHANG Hai-Yan** DIAO Yong-Gang YANG Hai-Bo ZHAO Yue

ZHANG Xiao-Xi ZHAI Bao-Ping***

(Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Insect Pests, Ministry of Education, Ministry of Agriculture of China, Nanjing 210095, China)

Abstract The population dynamics and generation structure of the small brown planthopper (SBPH) in wheat and rice seedling fields in Jining, southwest Shandong Province, China, were studied through systematic field survey and the dissection of the ovaries of macropterous females. Grads and ArcGIS were used to analyze weather conditions during the immigration peak detected on the 7th of June 2009 and the emigration peak detected on 15th of June 2010. The migration pathways of SBPH were simulated in the above two periods by HYSPLIT, trajectory analysis software for the simulation of migration trajectories. The main results are as follows: (1) Peak immigration of SBPH in Jining was concentrated on the 7th and 8th June 2009, and the 3rd to 7th of June 2010 whereas the emigration peak was concentrated on the 2nd to 4th and 9th of June 2009 and the 8th and 15th to 18th June 2010. (2) Backward trajectory analysis showed that the source regions of the immigrant populations observed on the 7th of June 2009 were mainly in Shuyang and Sihong County, in Suqian, northern Jiangsu, and Danyang in southern Jiangsu, while forward trajectory analysis showed that SBPH may emigrate from Jining to the Mongolian Autonomous County of Harqin Left Wing, Zhaoyang, western Liaoning, the junction of Dalian and Dandong and Gangwon-do in North Korea on the 15th of June, 2010. (3) Heavy precipitation appear to be the main factors affecting SBPH settlement during immigration or emigration; settlement areas were on the edge of the main rainfall zones.

Key words small brown planthopper, population dynamics, population properties, hourly light trap catches, trajectory analysis

---

* 资助项目:国家 973 项目(2010CB126201)、国家自然科学基金项目(30871602)、国家水稻产业技术体系建设专项(nycytx-001)

**E-mail: 2009102129@njau.edu.cn

***通讯作者,E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

稿日期:2011-08-12,接受日期:2011-09-05