

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

灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) (SBPH) 属于同翅目, 飞虱科。灰飞虱除了能刺吸水稻、小麦、大麦等多种禾本科作物外, 还能传播水稻黑条矮缩病、南方黑条矮缩病、条纹叶枯病、小麦丛矮病和玉米粗缩病等(丁锦华和苏建亚, 2002)。2004、2005年由灰飞虱传播的水稻条纹叶枯病在江淮稻区连续暴发成灾, 造成严重减产甚至绝收(张景飞等, 2005)。2008年山东邹城市灰飞虱大暴发, 邹城市 2.97 万 hm^2 玉米普遍遭受灰飞虱的危害(惠祥海等, 2008)。关于灰飞虱的虫源, 国内一直认为是本地虫源(李济宸等, 1998), 但国外早有关于其远距离迁飞的报道: 最早 1968 年日本的 Asahina 和 Tsuruoka 报道在中国东海的气象观测船上捕到灰飞虱。后来, 岸本良一(1981)又报道了 1969、1977、1978 和 1979 年在中国东海气象观测船上分别捕到灰飞虱 96、734、367 和 1 025 头; 福建省农科院植保所在 1978、1979 年在东海也捕到了灰飞虱的数量分别为 50 和 516 头(刘浩官等, 1983); Otuka (2010) 更是论证了日本西部带病毒的灰飞虱是从我国的江苏省跨海迁飞过去的。明确灰飞虱的迁飞特性, 对灰飞虱监测预警和源头治理及减少其对粮食作物的危害具有至关重要的意义。为了探索我国北方稻区灰飞虱的虫源地及可能的迁入区, 作者于 2009 年和 2010 年的 5 月中下旬至 6 月底在山东济宁连续观察灰飞虱的田间和灯下种群动态, 以探索山东灰飞虱春季的迁飞特性, 为其预测预报提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验田块与调查方法

在山东济宁市任城区南阳湖农场选一块麦田作为系统调查田, 小麦的品种为济麦 22, 系统田面积为 120 m × 80 m, 2009 年的调查时间为 5 月 17 日至 6 月 10 日, 2010 年的调查时间为 5 月 27 日至 6 月 14 日, 每 3 d 调查 1 次。采用随机取样法, 用标准白瓷盘拍虫取样, 以瓷盘的长度为标准每次拍相应长度的小麦株数, 每盘的面积为 0.4 m × 0.1 m, 每次拍 10 盘, 每次取样后即时记录每样点上的灰飞虱各虫态的数量, 并折算成灰飞虱的亩虫量, 以观察灰飞虱种群消长的动态变化。同时记录小麦的生育期。计数后将虫拍回原样点附近, 以减少对其田间自然分布的影响。

在麦田的附近选取一块秧田, 作为系统调查田, 和上述时间一致, 每 3 d 调查 1 次, 2009 年的调查时间为 5 月 26 日至 6 月 10 日, 2010 年的调查时间为 6 月 2 日至 6 月 20 日。用白瓷盘从秧苗上扫虫, 每次扫虫的面积是以瓷盘的面积为准, 即 0.4 m × 0.3 m, 每次扫 10 盘, 记录灰飞虱各虫态数量, 并折算出秧田的亩虫量。调查结束后从麦田和秧田用吸虫器分别吸取 30 头左右的灰飞虱雌虫用于解剖, 并记录其卵巢发育级别, 以观察麦田和秧田灰飞虱种群的发育动态, 卵巢分级参考徐秀媛和丁锦华(1990)的分级标准。

1.2 灯诱

在系统调查田附近选另一块麦田, 生育期和小麦品种与系统调查田的一致, 在麦田中间设一诱虫装置, 诱虫灯为 200 W 的白炽灯, 为了确定灰飞虱在夜间上灯高峰期的具体时间段, 每晚 19:00 开灯, 20:00 开始取虫, 每小时取虫 1 次辨别雌雄, 记录数量, 若遇虫量较多则通宵取虫, 直到次日 6:00。同时每小时从上灯的灰飞虱中取 30 头雌虫做解剖, 记录卵巢发育情况。

1.3 轨迹分析

运用美国 NOAA 的 HYSPLIT 轨迹分析平台计算灰飞虱的迁飞轨迹。轨迹计算时的参数设置: (1) 顺风迁移。(2) 以高峰日高峰时刻为回推或顺推轨迹起点, 回推轨迹终点时刻以虫源地日落后 1 h 为准, 即灰飞虱在虫源地日落后 1 h 内起飞(王瑞等, 2008), 一般以 19:00 为准; 顺推轨迹终点时刻以日出前 1 h 为准, 即灰飞虱迁出后, 在降落地日出前 1 h 内降落, 一般以 6:00 为准。(3) 迁飞高度的设定: 褐飞虱和白背飞虱夏季适合迁飞的高度在 1 000 ~ 2 000 m, 秋季的高度一般在 500 ~ 1 000 m(邓望喜, 1981), 这里将灰飞虱的飞行高度定为距地面 800、1 000、1 500 m。(4) 每个迁飞过程为 1 次性飞行, 采用逐时灯诱确定灰飞虱上灯的高峰时段, 故顺推和回推轨迹的起始时刻都是以灯诱最高虫峰时刻为准。若迁飞过程中遇雨, 则在降雨最大时刻开始回推至起飞时刻。(5) 有效轨迹的判定: 无论回推或顺推轨迹的起始点或终止点, 其具体时刻必须符合灰飞虱的起飞或降落的生物学节律, 回推轨迹终端地小麦应处于生长后期或收割期且存在大量长翅型灰飞虱, 顺推轨迹的终端地应该有适合其生存的作物。

且有导致其降落的天气背景条件。

1.4 气象资料

风场和流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, $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 26 个高度层, GRIB 格式)。降水资料为中国国家气象局提供的 MICAPS 处理的数据。部分虫源地资料由全国农技推广中心提供。

1.5 灯下和田间灰飞虱种群性质的确定

参照陈若箴等 (1979) 褐飞虱的判断标准: 灯下以 I 级为主或 I 级比 II 级多, 则为迁出, 以 II 级为主或 II 级比 I 级多, 则为迁入; 田间以 I 级为主, 则为迁出, 以 II 级或 II 级以上为主, 则为迁入。

2 结果与分析

2.1 2009、2010 年济宁第 1 代灰飞虱种群动态与虫源性质分析

2.1.1 第 1 代灰飞虱灯诱种群动态 2009, 2010

年灯诱结果见图 1 2009 年调查从 5 月 23 日开始, 小麦处于灌浆期 6 月 10 日调查结束, 小麦处于黄熟期 6 月 14 小麦收割, 2010 年 5 月 27 日开始调查, 小麦处于乳熟期, 6 月 16 日小麦开始收割, 2009 年 5 月 23 日—6 月 10 日共出现 3 个峰期: 5 月 29 日、6 月 2—4 日、6 月 7—9 日。2010 年 6 月初峰期较少, 仅在 6 月 8 日出现 1 756 头的虫峰, 在小麦接近收割时出现 6 月 15 日、16 日 2 d 过万头的虫峰。

2.1.2 灰飞虱灯诱种群虫源性质分析 2009 年 6 月 1 日—10 日共解剖灯下灰飞虱长翅型雌虫 687 头, 由解剖结果可知 6 月 2—4 日为迁出峰, 6 月 7—8 日为迁入峰, 6 月 9 日又成迁出峰。2010 年 6 月 3 日—7 日解剖灯诱灰飞虱 109 头, I 级平均比例为 29.0%, II 级平均比例为 66.4%, 以迁入为主, 6 月 8 日—18 日解剖 1 386 头, I 级平均比例为 71.9%, II 级平均比例为 23.5%, 表明以迁出为主 (表 1)。

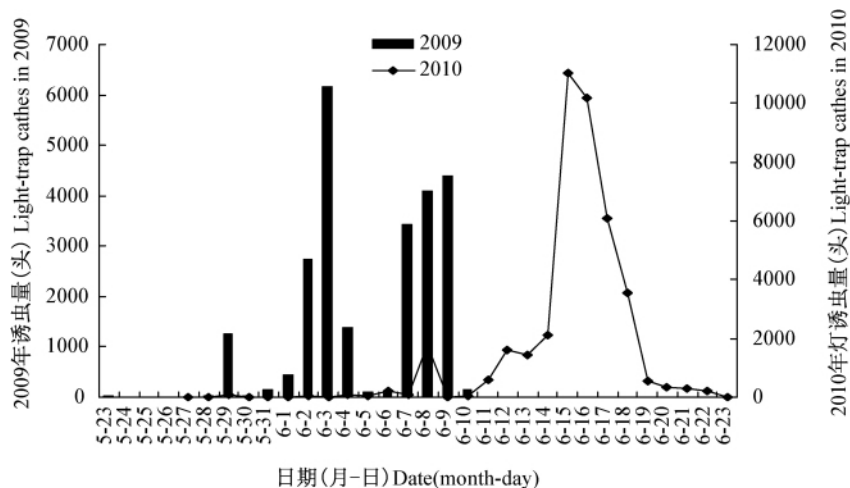


图 1 2009 年 5 月 23 日—6 月 10 日 2010 年 5 月 27 日—6 月 23 日济宁灰飞虱灯诱虫量

Fig. 1 Light-trap catches of SBPH in Jining in 2009 (from 23 May to 10 June) and 2010 (from 27 May to 22 June)

逐时灯诱结果表明: 一般而言, 每夜灰飞虱上灯最多时段多以 20:00—21:00 为主。但虫峰期每夜各时段都有灰飞虱上灯, 尤其是后半夜, 会有大批远道而来的灰飞虱扑灯 (图 2 3)。如 2009 年的 6 月 8 日高峰时刻出现在下半夜的 01:00—02:00, 6 月 4 日后半夜 01:00—02:00、04:00—05:00 也出现了虫峰。而 2010 年的灰飞虱的上灯峰持续了十数天, 整个 6 月中旬每天后半夜仍有大批

上灯者。稻飞虱的起飞时间是日落后和日出前的半小时内, 晨昏朦影之后就不再有起飞者了; 那么午夜时分所见上灯者应是飞行了至少 4 h 的个体, 同理, 凌晨 4:00 所见灯下虫, 则应是已远距离飞行了 8 h 的强飞者。如 2010 年 6 月 15 日夜间共有 11 031 头灰飞虱上灯, 其中 20:00 到 21:00 1 h 内上灯 6 307 头, 但此后逐时上灯虫量持续稳定在数百头之多, 仅 16 日 00:00 到 05:00 的上灯个体

多达 3 213 头 ,平均每小时 600 余头 ,而仅 03: 00 到 04: 00 1 h 内就有 844 头灰飞虱上灯。看灯下虫的解剖结果 ,I 级卵巢占 51% ,II 级 38. 5% ,III 级以上 10. 5% ,还是以迁出种群为主 ,但也有相当比例的迁入种群。从这些逐时上灯数据可以看出 ,灰飞虱确实是一种远距离迁飞性害虫。

表 1 2009—2010 年济宁灯诱灰飞虱虫源性质及卵巢发育程度
Table 1 The population characteristics and the ovarian development status of the light-trap cathes of SBPH in Jining 2009—2010

年份 Years	发生日期(月/日) Date (month/day)	解剖数 Females dissected	卵巢发育程度 Ovarian development grades(%)			虫源性质 Population characteristics
			I	II	III - V	
2009	6/2 - 6/4	265	55. 5	39. 4	5. 1	大部分迁出 Mostly emigration
	6/7 - 6/8	216	42. 1	55. 8	2. 1	大部分迁入 Mostly immigration
	6/9	240	54. 8	44. 4	0. 8	部分迁出 Partly emigration
2010	6/3 - 6/7	109	29. 0	66. 4	4. 6	大部分迁入 Mostly immigration
	6/8 - 6/18	1386	71. 9	23. 5	4. 6	基本迁出 Mainly emigration

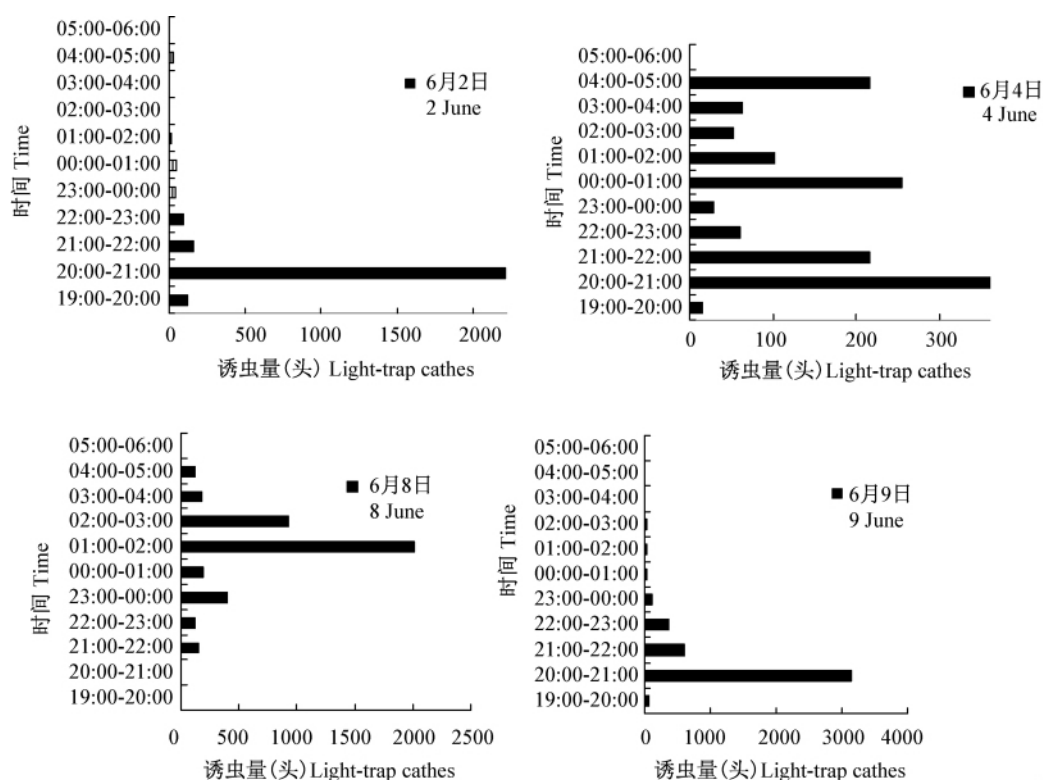


图 2 2009 年灰飞虱逐时灯诱虫量
Fig. 2 Hourly light-trap catches of SBPH in Jining , 2009

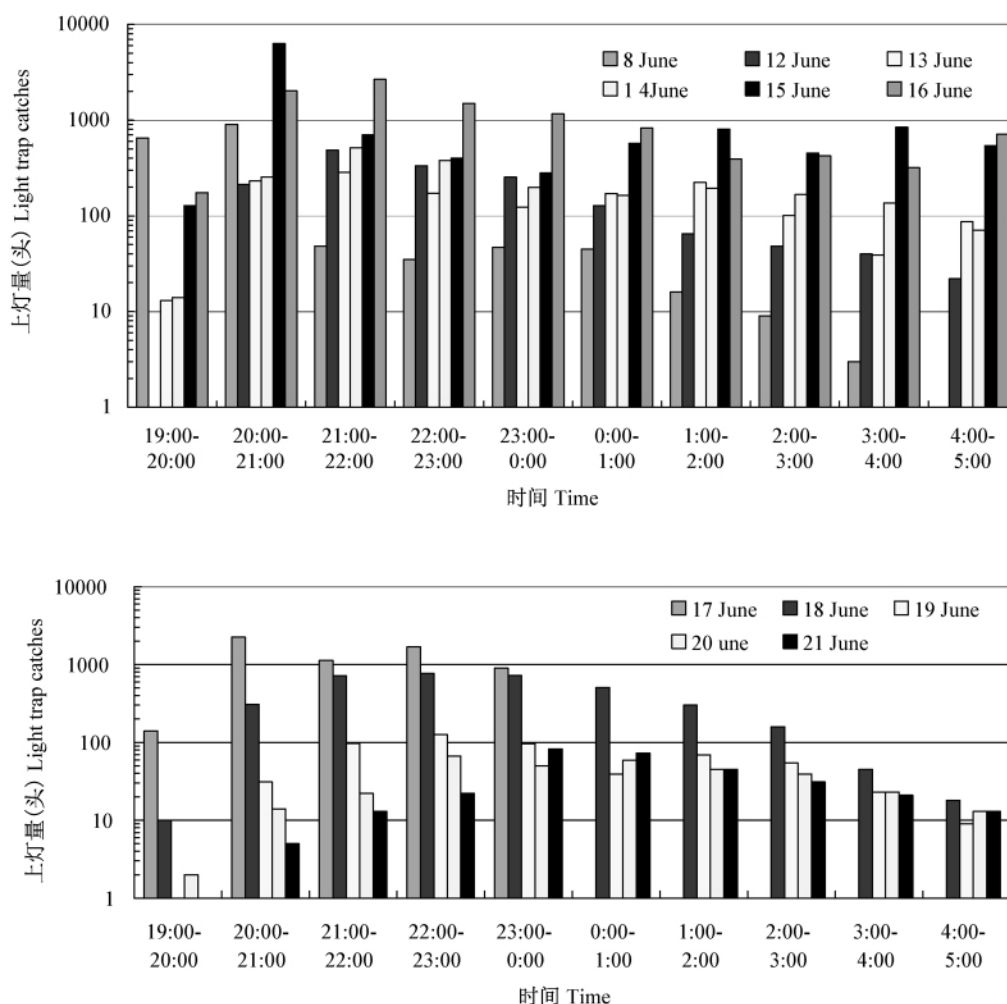


图3 2010年灰飞虱逐时灯诱虫量

Fig. 3 Hourly light-trap catches of SBPH in Jinjing, 2010

2.2 田间灰飞虱种群动态和虫源性质分析

2.2.1 麦田灰飞虱种群动态和种群性质分析

2009年麦田灰飞虱虫量较多,5月17日调查虫量最高,达2490头/m²(图4),济宁麦田主要是稻茬麦,初期麦田灰飞虱的主要来源是稻茬麦或杂草上越冬若虫,4月中下旬越冬代成虫产卵,4月下旬至5月上旬为1代卵盛期,5月中下旬为1代若虫盛期,5月下旬至6月上旬为1代成虫盛期,6月10日调查虫量仅90头/m²,麦田灰飞虱虫量整体呈下降趋势,这与小麦成熟后,1代灰飞虱大量外迁一致。

2010年麦田灰飞虱调查从5月27日开始,虫量整体上呈现先上升后下降趋势,6月2日左右出现羽化高峰,虫量有所增加,最高达675头/m²(图4),之后总虫量逐渐下降,转移到周边秧田或是迁

走。

2009年5月17日—5月20日,麦田灰飞虱卵巢解剖Ⅱ级比例在60%以上(图5),属于前期从周边稻茬麦或其他稻区迁入,此期间未进行灯诱捕虫,5月23日—5月29日麦田灰飞虱Ⅰ级比例在70%以上,属于迁出型,这与5月29日灯下灰飞虱虫峰吻合,6月1—4日,麦田灰飞虱Ⅰ级比例在40%左右,呈现出部分迁出,部分本地滞留繁殖的状况,到6月7日麦田调查小麦已处于黄熟期,接近收割,此时灰飞虱已大部分迁出,虫量已大减(图4),卵巢大多发育到Ⅱ、Ⅲ级及以上,很少查到新羽化的Ⅰ级的灰飞虱雌虫。

2010年5月27日—6月5日,麦田灰飞虱以Ⅰ级为主(图5),属于迁出种群,麦田在5日后已进入黄熟期,6月8—14日,仍有一定比例的Ⅰ级,

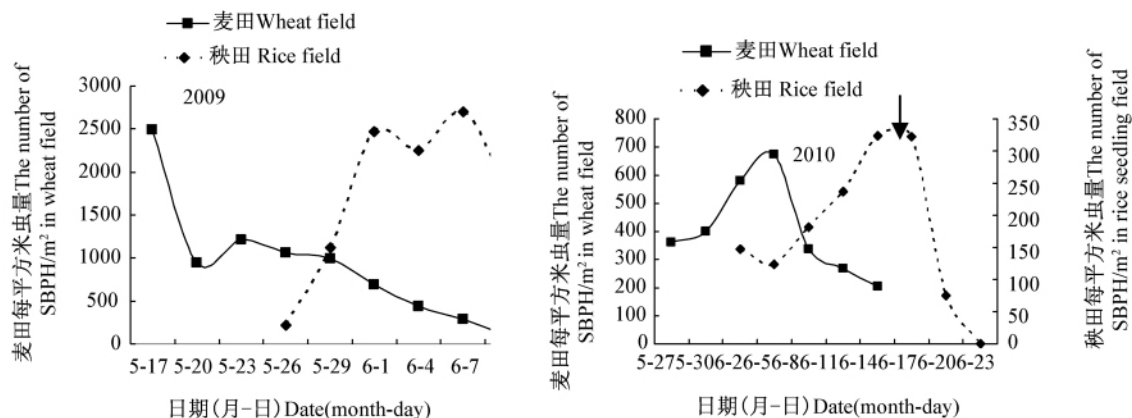


图 4 2009、2010 年济宁麦田与秧田灰飞虱消长动态

Fig. 4 The population dynamics of SBPH in the wheat and rice seedling field in Jinan 2009 and 2010

2010 年 6 月 17 日箭头表示秧田打药,且在打药后秧苗开始陆续移栽入大田。

The symbol ↓ represents spray in the seedling, and transplanting seedlings started after application.

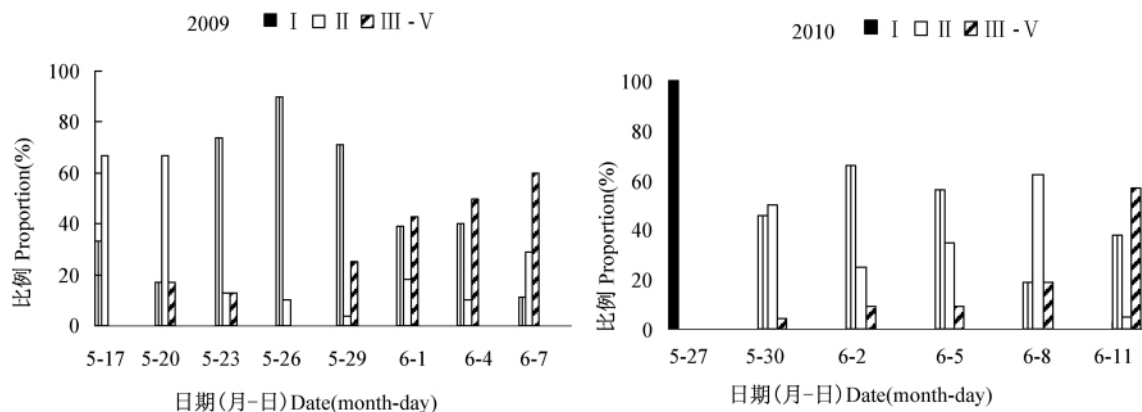


图 5 2009 2010 年济宁麦田灰飞虱卵巢发育状况

Fig. 5 The ovarian development status of SBPH in the wheat field in Jinan 2009 and 2010

部分迁出,总虫量已大减,仍有 50% 左右的成熟雌虫是滞留本地繁殖的种群。6 月 17 日系统田小麦收割。

2.2.2 秧田灰飞虱种群动态和种群性质分析

2009 年秧田灰飞虱是在 5 月 26 日首次调查的,秧苗正处于 3—4 叶期,5 月 26 日—6 月 1 日秧田灰飞虱长翅成虫数量激增,5 月 26 日灰飞虱虫量为 15 头/ m^2 ,5 月 29 日出现麦田向秧田转移的转折点,6 月 1 日秧田灰飞虱虫量达 165 头/ m^2 (图 4),6 月 1 日—7 日秧田灰飞虱数量急剧增加,可能是 6 月 2—4 日期间麦田的迁出峰有部分转移到秧田,6 月 10 日秧田灰飞虱虫量呈现下降趋势。

秧田雌虫卵巢解剖证明:5 月 26 日—6 月 1 日成熟雌虫较多,占到 90% 以上(图 6),属于前期

麦田居留型成虫扩散迁入,4 日后 II 级以上比例达到 80%~90%,属于外地迁入型,这与 6 月 7—8 日灯下的大量灰飞虱迁入峰相一致(图 1,表 1)。

2010 年秧田 6 月 2 日开始调查时,秧苗处于 4~5 叶期,调查时未拍到若虫,秧田整体虫量呈现先上升后下降趋势(图 4),6 月 5 日左右,秧田灰飞虱开始突增,与当时麦田灰飞虱开始减少相对应,而 6 月 3—7 日灯下出现迁入峰(见上述分析),说明秧田增加的灰飞虱既有来自麦田转移的又有外地迁入的,之后麦田灰飞虱继续向秧田转移,6 月 15 日左右秧田灰飞虱虫量达到最高值,此时周边及本地小麦收割,麦田灰飞虱大量外迁的同时,有部分转移入本地秧田。6 月 17 日秧田打药,同时秧苗开始陆续移栽入大田,秧田灰飞虱转

移到附近杂草上或是直接带在秧苗上转移入大田,秧田灰飞虱从 17 日以后逐渐减少。

2010 年秧田卵巢解剖表明,6 月 11 日前Ⅲ级以上成熟雌虫所占比例较高,在 60% 以上,属于前期麦田居留型成虫扩散迁入,同时 2010 年 6 月

3—7 日灯下有少量灰飞虱迁入峰,迁入秧田后也发育到Ⅱ级以上,6 月 14 日以后秧田灰飞虱以Ⅰ、Ⅱ级为主,部分为麦田灰飞虱迁出时转移发育到Ⅱ级及少量Ⅲ级。

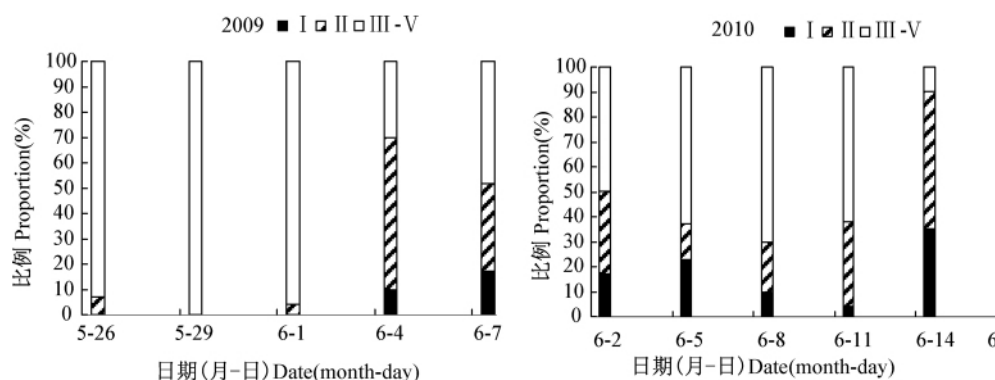


图 6 2009 2010 年济宁秧田灰飞虱卵巢发育状况

Fig. 6 The ovarian development status of SBPH in the rice seedling field in Jinan 2009 and 2010

2.3 2009 2010 年济宁灰飞虱主要迁入迁出峰虫源地和降落地降落机制分析

结合上述虫源性质的分析,大致判定了 2009, 2010 年的迁入、迁出期,对迁入迁出期的高峰日做虫源地或降落地分析。

2.3.1 对 2009 年 6 月 7 日灯下迁入峰做回推轨

迹分析 2009 年 6 月 7 日灯下首次出现 3 414 头的迁入峰,在 23:00 1 h 的灯诱虫量就达到了 1 380 头,6 月 8 日持续迁入了 4 084 头,2009 年 6 月 7 日 20:00 和 6 月 8 日 2:00 济宁 850 hPa 的高空分别有 10 ~ 11 m/s 的强劲东南气流(图 7: a, b),为灰飞虱的远距离迁飞提供了运载气流,6 月 8 日

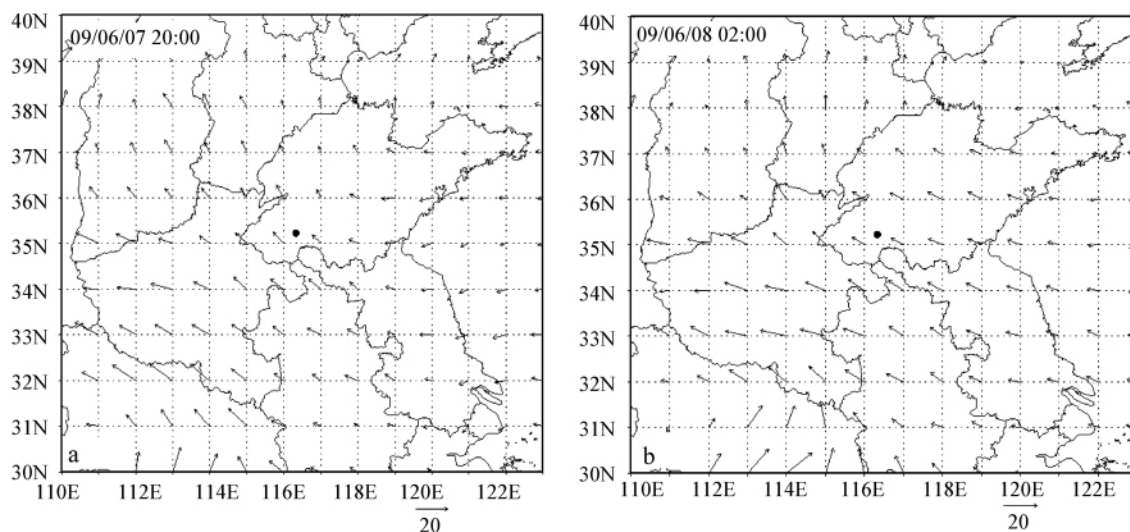


图 7 2009 年 6 月 7 日 20:00 (a) 6 月 8 日 02:00 (b) 850 hPa 水平风场 (m/s)

Fig. 7 Horizontal wind field (m/s) on 850 hPa at 20:00 on 7 June (a) 02:00 on 8 June (b) 2009

● 代表济宁 The symbol ● represent Jinan

02:00—08:00 济宁(东经 116.33°, 北纬 35.23°) 和附近滕州市(东经 117.15°, 北纬 35.08°) 出现了约 24 mm 的降雨量(图 8:b)。降雨中心在滕州市, 济宁在 6 月 8 日 1:00 前出现了雷雨, 灰飞虱在主降水区的边缘济宁市大量降落, 造成了 6 月 7 日晚大量灰飞虱上灯。

对 2009 年 6 月 7 日 23:00 迁入的灰飞虱进行 1 次回推轨迹, 其中灰飞虱飞行高度为 800 和 1 000 m、飞行时间为 28 h 的两条轨迹属于无效轨

迹。结果表明: 其主要虫源来自江苏省北部宿迁市沭阳县(东经 118.6°~118.7°, 北纬 34.0°~34.1°) 和泗洪县(东经 118.1°, 北纬 33.5°)(飞行 17 h) 和江苏省南部丹阳市(东经 119.6°, 北纬 31.9°)(飞行 28 h)(图 8:a)。查丹阳的虫情可知, 2009 年 6 月 6 日丹阳市出现灯下灰飞虱高峰 164 头, 6 月 7 日 69 头。2009 年 6 月初江苏省南部小麦开始收割, 灰飞虱随气流北迁, 为济宁市提供了大量虫源。

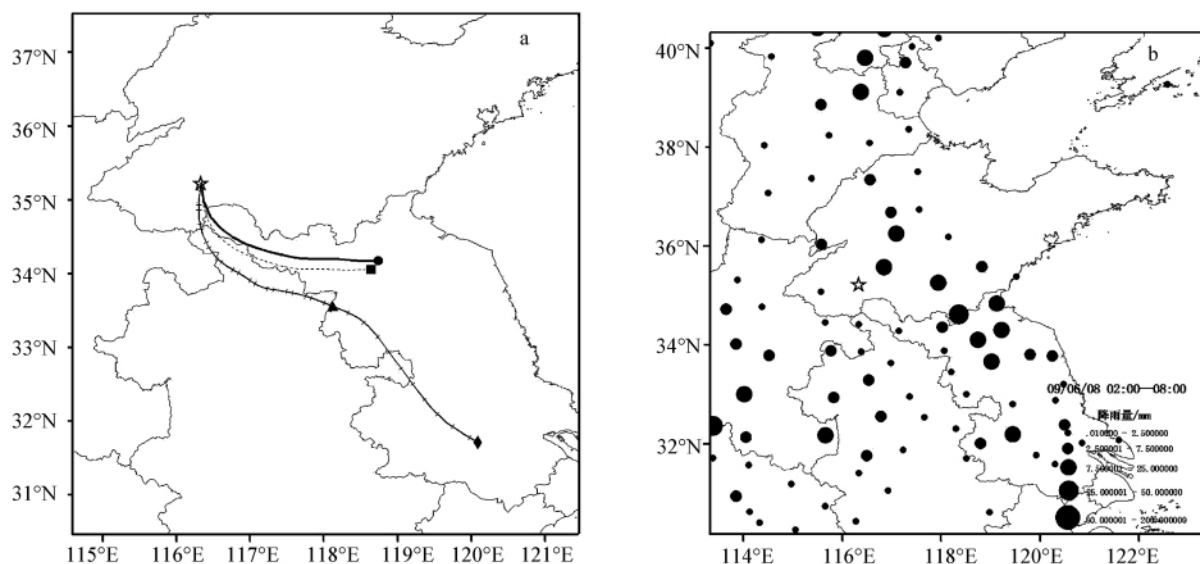


图 8 2009 年 6 月 7 日 23:00 济宁回推轨迹(17 28 h) (a) 6 月 8 日 02:00—08:00 6 h 累计降雨量 (b)

Fig. 8 The backward trajectories of Jining(17 28 h) at 23:00 on 7 June (a) and the 6 h accumulated precipitation (mm) from 02:00 to 08:00 on 8 June (b) 2009

☆代表济宁, ●, ■, ▲分别代表 800、1 000、1 500 m 高度上回推 17 h 的轨迹终点;

◆代表 1 500 m 高度上回推 28 h 的轨迹终点。

The symbol ☆ represents Jining, the symbol ●, ■, ▲ represent the end of backward trajectories about 17 h on 800, 1 000, 1500 m, respectively; the symbol ◆ represent the end of backward trajectory about 28 h on 1 500 m.

2.3.2 2010 年 6 月 15 日济宁迁出峰的顺推轨迹分析 2010 年 6 月 15 日, 济宁小麦接近收割, 15 日灯下出现过万头的迁出峰(图 1), 其中 21:00 1 h 上灯虫量达到 6 307 头(图 3), 6 月 15 日 20:00—6 月 16 日 02:00 850 hPa 高空分别有约 10 m/s 和 15 m/s 左右的西南偏南气流(图 9:a, b), 能为起飞进入高空的灰飞虱提供运载气流。对 15 日 21:00 上灯的灰飞虱做顺推轨迹分析: 顺推 9 h, 800、1 000、1 500 m 3 个高度的轨迹终点均在海中

(16 日 06:00 降落) 顺推 22 h 3 个高度的轨迹终点仍在海中(16 日 19:00 降落), 这两条轨迹为无效轨迹。顺推 33 h 3 个高度的轨迹终点(17 日 06:00 降落) 分别落在辽宁省朝阳市喀喇沁左翼蒙古族自治县(东经 119.8°, 北纬 41.1°)、大连市庄河市与丹东市东港市交界(东经 123.5°, 北纬 39.7°) 以及朝鲜半岛的江原道(东经 127.4°, 北纬 38.4°)(图 10)。

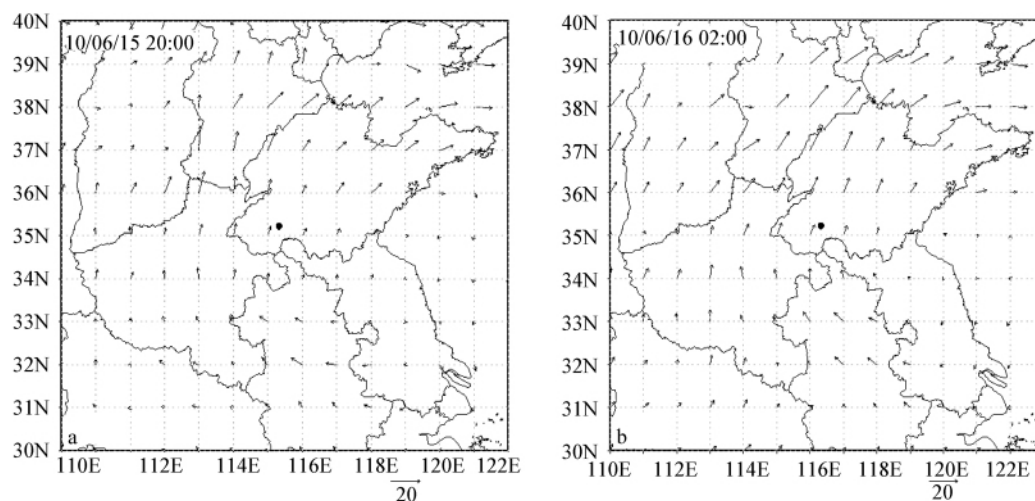


图 9 2010 年 6 月 15 日 20:00 (a) 6 月 16 日 02:00 (b) 850 hPa 水平风场 (m/s)

Fig. 9 Horizontal wind field (m/s) on 850 hPa at 20:00 on 15 June (a) 02:00 on 16 June (b) 2010

● 代表济宁; ● represent Jining

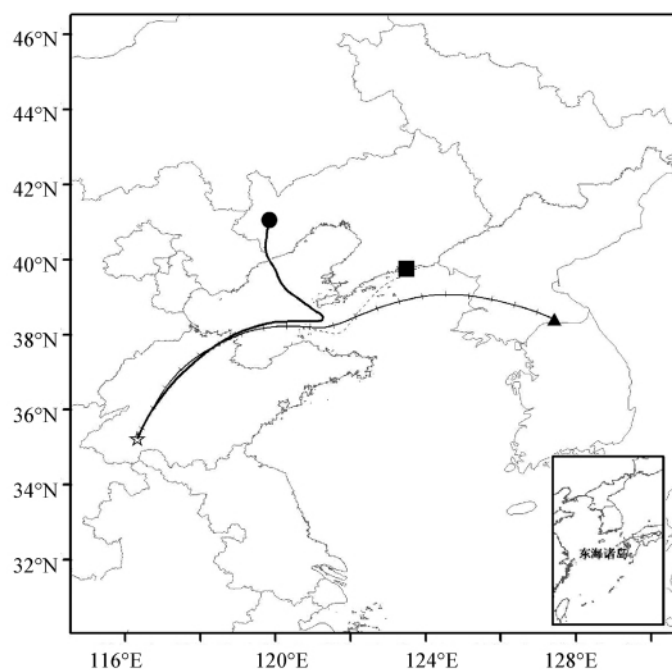


图 10 2010 年 6 月 15 日 21:00 顺推轨迹 (33 h)

Fig. 10 The forward trajectories of Jining (33 h) at 21:00 on 15 June

☆ 济宁, ●, ■, ▲ 分别为 800、1 000、1 500 m 高度上顺推 33 h 的轨迹终点。

☆ Jining, ●, ■, ▲ represent the end of forward trajectories about 33 h on 800, 1 000, 1 500 m respectively.

3 讨论

3.1 灰飞虱的迁飞特性

一直以来,人们都认为灰飞虱是一种本地越冬的内源性昆虫。但本研究揭示出 1 代灰飞虱具有同期突发的典型特征(图 1, 2)。济宁灰飞虱发

生量与江淮地区和周边稻茬麦虫量密切相关, 2009 年济宁稻茬麦上灰飞虱虫量最高达 166 万/667m², 属于发生危害比较严重的年份, 2010 年最高虫量达 45 万/667m², 而同期安徽凤台麦区 2009 年稻茬麦灰飞虱最高虫量达 26 万/667m², 2010 年最高虫量为 15 万/667m² (王丽等 2011)。而 2009 年济宁市周边滕州市灰飞虱虫量为历年最大, 鱼台、金乡、微山等周边稻茬麦虫量也达历史新高 (白雪峰等 2010)。灰飞虱呈现大面积区域性同步发生, 也说明了灰飞虱具有远距离迁飞特性。2009 年 6 月上旬济宁灰飞虱为迁入种群, 2010 年 6 月既有迁出又有迁入, 但迁入峰次与虫量都较少。因此, 虫源地的灰飞虱基数、春季气温的高低可能都和灰飞虱迁飞危害的程度有着一定的关系。

3.2 秧田灰飞虱“本地扩散与外地迁入”的虫源模式

灰飞虱在济宁有 4~5 代, 5 月下旬至 6 月上旬为 1 代成虫盛发期 (胡英华等 2010); 本研究 2009~2010 年调查秧田灰飞虱与麦田成虫数量和灯诱虫量及卵巢发育的关系时, 发现秧田灰飞虱在 5 月下旬已存在部分或大部分卵巢发育成熟的成虫, 这与当时灯下种群的长翅雌虫的卵巢发育结构不相符合, 而与当时麦田后期存在的部分留在本地继续繁殖的成熟雌虫的发育结构正相吻合 (图 5)。因此, 可以认为秧田中最初的虫源是来自麦田的部分本地繁殖的居留型成虫。同时在秧田后期也可有部分由外地远距离迁入的虫源。

3.3 灰飞虱的趋光时刻与虫源性质

蔡邦华等 (1964) 对华北稻区灰飞虱的研究发现, 灰飞虱长翅型成虫在夜间从 19:00 开始趋向光源, 19:30 至 21:30 达高峰, 随后由于温度降低, 成虫趋光数量逐渐下降。由此可知, 本地灰飞虱上灯的時刻多集中在晚上 19:30—21:30, 这与本研究所得结果完全一致。本研究通过逐时收虫, 发现灰飞虱迁飞峰期往往会出现外地虫源多于本地虫源、远迁虫源多于近距离扩散个体的现象。如 2009 年 6 月 7 日 22:00 至 6 月 8 日 00:00 的灯诱灰飞虱虫量 (1 824 头) 多于 19:00—22:00 的总虫量 (1 590 头) (6 月 8 日 00:00 以后下雨, 数据中断), 2009 年 6 月 9 日 01:00—03:00 灯诱的灰飞虱总虫量 (2 937 头) 明显多于 6 月 8 日 19:00—

6 月 9 日 01:00 的总虫量 (851 头) (图 2), 这种午夜或下半夜的扑灯高峰充分证明了灰飞虱的远距离迁飞特性。

前人已多次在高空或海上网捕到灰飞虱, 王瑞等 (2008) 发现灰飞虱表现出一定程度的“卵子发生—飞行共轭”效应, 表明灰飞虱具有迁飞昆虫的一般特性。本研究通过 2 年的探索, 证实了灰飞虱春末夏初从越冬寄主麦类向水稻、玉米等夏寄主进行本地寄主间的扩散转移和季节性的远距离迁飞特性。今后还需要进一步研究其在秋季从夏寄主向越冬寄主间的寄主转移和远距离迁飞行为, 更全面地解析灰飞虱的生活史对策, 为水稻病毒病的治理提供有效的科学依据。

致谢: 山东省水稻研究所杨连群所长、朱其松主任等对本研究提供了试验用地、诱虫灯等试验用具和各种方便, 谨此一并致谢!

参考文献 (References)

- 岸本良一, 1981. ウンカ類の長距離移動. 植物防疫, 26 (8): 10—16.
- Asahina S, Tsuruoka Y, 1968. Record of the insects which visited of a weather ship located at the Ocean Weather Station “Tango” on the Pacific II. *Kontyu*, 36: 190—202.
- 白雪峰, 王延玲, 王鹏, 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.
- 陈若簾, 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.
- 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.
- 丁锦华, 苏建亚, 2002. 农业昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 174—176.
- 胡英华, 左秀峰, 苏加岱, 刘汉舒, 2010. 灰飞虱发育起点温度及有效积温的探讨. 昆虫知识, 47(3): 596—599.
- 惠祥海, 孔德生, 孙明海, 赵艳丽, 2008. 邹城市 2008 年灰飞虱大暴发原因及防治对策. 安徽农学通报, 14(18): 73.
- 李济宸, 李桂珍, 高立起, 李青松, 1998. 灰飞虱发生规律的研究. 北京农业科学, 16(4): 24—27.
- 刘浩官, 刘振杰, 祝为华, 1983. 我国海上网捕褐稻虱的结果. 昆虫学报, 26(1): 109—113.
- 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.
- 王丽 , 韩超 , 徐艳博 , 蔡广成 , 孙友武 , 胡学友 , 张孝羲 , 翟保平 2011. 安徽江淮地区灰飞虱的春季迁飞与扩散 , 应用昆虫学报 48(5) : 1288—1297.
- 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.
- 张景飞 , 龚林根 , 瞿燕 , 瞿惠良 , 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.

低温胁迫对灰飞虱种群生长发育与繁殖的影响^{*}

安志芳 张爱民 刘向东^{**}

(南京农业大学植物保护学院 南京 210095)

摘 要 为了探讨低温在灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) 种群发生发展中的作用,本文以南京冬季的旬平均最低温为依据,设定出 $-6 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 的低温,研究了用该低温处理 3~4 龄若虫不同时间后,灰飞虱的存活、生长与繁殖特性。结果表明,灰飞虱 3~4 龄若虫有较强的耐低温能力, $-6 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 的温度下,其半致迷和半致死时间分别为 1.22 和 20.49 d。低温抑制了若虫的生长发育,发育历期明显延长。低温处理后成虫的性比有所提高,并且短翅率显著增加。3~4 龄若虫低温处理 1~7 d 后羽化的成虫有产卵前期缩短、寿命延长的趋势,但对繁殖力没有显著影响,并且低温处理 2 d 后的产卵量要稍高于没有处理的对照。由此可见, $-6 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 低温的短期胁迫对灰飞虱种群的发生发展不会产生抑制作用。

关键词 灰飞虱,低温胁迫,耐寒力,发育,繁殖,翅型

Effect of low temperature shock on the development and fecundity of *Laodelphax striatellus* (Fallén)

AN Zhi-Fang ZHANG Ai-Min LIU Xiang-Dong^{**}

(College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract In order to explore the effect of low temperature on the development of the small brown planthopper (SBPH), the survival, development and fecundity of SBPH were studied in the laboratory at a temperature similar to the average winter temperature in Nanjing ($-6 \sim 2^{\circ}\text{C}$). The results indicate that 3rd and 4th instar nymphs were relatively cold resistant with median knockdown and lethal times of 1.22 and 20.49 days, respectively. Cold shock inhibited nymphs' development. There was a significant difference in the sex ratio of SBPH exposed to cold temperatures for 4 days and the control group. The rate of adult brachyptery increased significantly with duration of exposure to cold temperatures whereas the preoviposition period tended to decline and adult longevity tended to increase. However, the subsequent fecundity of 3~4th instar nymphs was not affected by duration of exposure to cold. Furthermore, the number of eggs produced by nymphs subject to two days at cold temperature slightly exceeded that of the control group. The results suggest that short-term exposure to cold temperatures do not significantly retard the population development of SBPH.

Key words *Laodelphax striatellus*, cold shock, cold hardiness, development, fecundity, wing form

冬季持续的低温环境对昆虫种群的繁衍是一个威胁。昆虫的耐寒性和越冬存活率对种群的持续发生起着重要作用(Bale, 1989, 1991, 2002)。极端低温影响着昆虫的繁殖、生存等适合度特征(Hoffman *et al.*, 2003)。同时,昆虫为了适应环境胁迫,也进化出了多样的机制和策略,来应对变化的环境(Block, 1982; Zachariassen, 1985; Addo-Bediako *et al.*, 2002; 陈兵和康乐, 2005)。温度胁迫

是种群适应性反应的进化动力,会导致物种分化甚至新物种的形成(Sørensen, 2003)。灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) (SBPH) 种群抗逆性强,具有一定的抗低温能力,能以休眠或滞育状态越冬,但也能以生长发育状态越冬。在日本的大部分地区,灰飞虱主要以 4 龄若虫及少量 3 龄若虫滞育越冬(Kisimoto, 1989)。韩国以 2~5 龄若虫越冬,且越冬若虫在 12—4 月份间体重不断增

^{*} 资助项目:国家“973”计划项目(2010CB126201)。

^{**}通讯作者, E-mail: liuxd@njau.edu.cn

收稿日期:2011-06-12,接受日期:2011-08-18