

北方水稻和小麦种植区麦田灰飞虱种群 发生动态及其带毒率研究*

徐艳博¹ 王孟伦² 朱金生¹ 韩兰芝³ 陈法军^{1**}

(1. 南京农业大学植物保护学院昆虫系 南京 210095; 2. 南京农业大学食品科技学院 南京 210095;

3. 中国农业科学院植物保护研究所 北京 100193)

摘要 灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) 是农业生产上的重要害虫之一, 尤其是其传毒造成的危害更为严重。本文通过对山东省水稻种植区(包括稻麦轮作区与非轮作区)和小麦种植区灰飞虱田间种群发生量的系统调查、灯诱观测及其带毒率检测等得到如下研究结果: (1) 与小麦种植区及水稻种植区非轮作麦田相比, 稻麦轮作区麦田灰飞虱虫口密度高, 可见稻麦轮作有利于灰飞虱种群发生危害; (2) 山东省小麦种植区麦田灰飞虱仅发现携带黑条矮缩病毒, 水稻种植区稻麦轮作田灰飞虱种群还检测到携带水稻条纹叶枯病毒; (3) 灯诱高峰期灰飞虱带毒率与当地灰飞虱带毒率存在差异, 说明有外来种群的迁入; (4) 在检测的 1 268 头灯诱灰飞虱中只有 1 头体内同时检测到携带黑条矮缩病毒和水稻条纹叶枯病毒, 可见灰飞虱可同时携带两种病毒, 但概率极低。

关键词 灰飞虱, 种群动态, 带毒率, 黑条矮缩病毒, 条纹叶枯病毒

Population dynamics and virus-carrying rate of small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* in northern paddyfields

XU Yan-Bo¹ WANG Meng-Lun² ZHU Jin-Sheng¹ HAN Lan-Zhi³ CHEN Fa-Jun^{1**}

(1. Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract The small brown planthopper (SBPH) *Laodelphax striatellus* (Fallén) is a very important agricultural pest which can cause major harm to rice crops by acting as a vector of the rice stripe virus (RSV) and rice black streaked dwarf virus (RBSDV). In this study, the population dynamics of SBPH and its virus-carrying rate were systematically investigated and measured in rice-wheat fields (rotation treatment vs. non-rotation treatment) in Shandong Province. The results indicate that (1) a higher SBPH density was found in the rice-wheat rotation regions than in the non-rotation treatment, so it is presumed that SBPH favor the rice-wheat rotation regions; (2) only RBSDV was detected in the SBPH from wheat fields, whereas both RBSDV and RSV were detected in SBPH from rice fields; (3) different virus-carrying rates were found between light-trapped SBPH and the local SBPH population in Ningjin County; and, (4) from a total of 1 268 individuals tested, only one SBPH simultaneously carried both RBSDV and RSV, which indicates that SBPH can simultaneously carry both viruses but that such individuals are relatively rare.

Key words *Laodelphax striatellus*, population dynamics, virus-carrying rate, rice black streaked dwarf virus, rice stripe virus

灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) (SBPH) 一带的亚洲稻区和欧洲的温带地区 (Kisimoto, 1989), 除了以成虫、若虫刺吸危害水稻、小麦、玉

* 资助项目: 国家重点基础发展规划“973 项目”(2010CB126200); 国家公益性行业(农业)科研专项项目(200903051); 国家自然科学基金(31272051); 教育部霍英东基金应用课题(122033)和中央高校基本科研业务费项目(KYZ201140)。

** 通讯作者, E-mail: fajunchen@njau.edu.cn

收稿日期: 2012-05-04, 接受日期 2012-11-30

米外,还传播病毒病,如水稻条纹叶枯病毒(rice stripe virus, RSV)、黑条矮缩病毒(rice black streaked dwarf virus, RBSDV)和玉米粗缩病毒(maize rough dwarf virus, MRDV)等,其传毒为害造成的损失巨大(朱龙粉等,2003)。水稻条纹叶枯病毒隶属呼肠孤病毒科(Reoviridae)、纤细病毒属(*Tenuivirus*),通过灰飞虱以持久方式传播,并且病毒可通过寄主经卵传递给下一代;水稻黑条矮缩病毒隶属呼肠孤病毒科(Reoviridae)、斐济病毒属(*Fijivirus*),主要由灰飞虱以持久性方式传播但不经卵传递给下一代,且已经证实我国北方的玉米粗缩病毒就是水稻黑条矮缩病毒(张恒木等,2001)。由于灰飞虱的环境适应性和抗药性等能力较强,再加之近年来耕作制度粗放、轻简栽培技术大面积应用,以及品种“多、乱、杂”等,形成了适宜灰飞虱种群发生的农田生态环境,导致灰飞虱种群的持续暴发危害,特别是循环不断的寄主植物链是灰飞虱及其传播的病毒病发生发展的主要促进因素(孙广仲等,2006)。以山东省为例,据不完全统计,2007年山东省灰飞虱危害面积近63.6万 hm^2 ;其中,玉米受害面积近62万 hm^2 ,水稻秧田受害面积1.33多万公顷,济宁、菏泽、泰安、枣庄、临沂和郯城等市县受害较重,发生面积均在4~12.5万 hm^2 ,虫口密度每平方米高达200~300头,重发田甚至达2 000~3 000头,最高达10 000头。

目前,对于灰飞虱危害导致的病毒病还没有有效的防治方法,最好的防治措施就是控制灰飞虱种群发生量并降低其带毒率等。准确及时地检测出灰飞虱带毒率是预报病毒病流行的重要参数(谢晓慧等,1992)。病毒病的检测方法有很多种,目前对传毒介体灰飞虱的室内快速带毒检测方法主要有免疫检测和分子检测两大类,其中免疫检测方法主要包括多孔板间接酶联免疫法(ELISA)、斑点免疫结合试验(DIBA)和蛋白免疫印迹(western blotting);分子检测方法有RT-PCR、免疫捕捉RT-PCR以及直接捕获RT-PCR技术(张开玉等,2008)等。本文主要以北方稻区——山东省为例,选择水稻种植区(包括稻麦轮作区和非轮作区)和非水稻种植区,并结合当地灰飞虱种群和远距离迁入种群(结合上灯诱数据),调查灰飞虱田间种群发生动态及其带毒率差异,以指导当地灰飞虱治理和病毒病发生监测和预警。

1 材料与方法

1.1 调查地点

灰飞虱主要危害小麦、玉米和水稻。本试验选择山东省济宁市和郯城县两个水稻主产区,并选择当地稻麦轮作区和非轮作区调查灰飞虱种群发生动态及其带毒率等。此外,以本课题组位于山东省宁津县的转基因水稻野外试验基地(37°38'30.7"N, 116°51'11.0"E)为依托,重点调查该基地旱作稻田,以及宁津及其周边县市(包括陵县、商河县、乐陵县和河北省东光县)小麦主栽区,系统调查灰飞虱发生动态及其种群带毒率等。

1.2 灰飞虱种群发生动态调查及供试样品保存

于3—6月份,每个试验点每月进行一次田间调查和虫源采集,且每个试验点采取五点取样法布点,每样点随机多点取样,稻株基部拍虫50盘(标准白瓷盘30 cm×20 cm),每盘盆拍水稻面积0.06 m^2 ,所有调查点虫量折算为每平米虫量。其中,宁津县及其周边4个县市5月份采集的灰飞虱大都处于1~2龄,由于ELISA检测灵敏度不高,故无法进行单头病毒检测(秦文胜等,1994; Farinelli and Oliveira,1996);6月份济宁市和郯城县灰飞虱采自于水稻秧田,3—5月份均采自麦田;此外,3月份的灰飞虱田间种群为越冬代虫源,宁津县转基因水稻野外试验基地常年设有灯诱装置,5月30日—6月21日期间采集灯诱高峰期的灰飞虱,记录其上灯数量并检测其带毒率。田间和宁津县灯诱采集的灰飞虱分别放入2 mL离心管内用分析纯酒精保存在4℃冰箱内(离心管上标明采集时间和地点),待检测带毒率使用。

1.3 灰飞虱病毒检测方法

本试验灰飞虱带毒率检测采用免疫检测中的多孔板间接ELISA检测水稻条纹叶枯病(RSV)和黑条矮缩病(RBSDV)(陈光育,1984)。各试验地(样点)采集的灰飞虱均随机检测100头,灯诱灰飞虱检测数量随灯诱虫量而变化,灯诱虫量大于等于100头时随机检测100头,小于100头时全部检测。检测时每头灰飞虱重复2次。ELISA检测所需相关试剂主要包括包被液、磷酸盐贮液、洗涤缓冲液、封闭液、抗体稀释液、底物缓冲液和底物,具体配置等详见表1;多孔板间接ELISA检测方法具体操作步骤包括点板、封闭、加抗体、加酶标二

抗和加底物等,除封闭液用 200 μL/孔外,其余步骤均为 100 μL /孔,每步后用 PBS-T 洗板 3 次,每

次 3 min(表 2)。

表 1 ELISA 检测中所用试剂的配置

Table 1 The reagent configuration of ELISA detection

试剂类型	规格要求	配制方法
Reagent types	Specifications	Preparation methods
包被液	0.05 mol/L 碳酸盐缓冲液、pH9.6	2.93 g NaHCO ₃ ,1.5 g Na ₂ CO ₃ ,溶于 800 mL 蒸馏水,定容至 1 000 mL
磷酸盐贮液	10 倍 PBS 母液、pH7.4	80 g NaCl,2 g KCl,2.4 g KH ₂ PO ₄ ,1.44 g Na ₂ HPO ₄ ,溶于 800 mL 蒸馏水中,定容至 1 000 mL
洗涤缓冲液	PBS、0.05% Tween 20	取 100 mL 10 × PBS,加 0.5 mL Tween-20,定容至 1 000 mL
封闭液	50 g/L	称取 5 g 脱脂奶粉溶于 100 mL PBS-T
抗体稀释液	脱脂奶粉 PBS-Tween 溶液	称取 1 g 脱脂奶粉,2 g PVP(polyvinyl-pyrrolidone,分子量 40 000, sigma)溶于 100 mL PBS-T
底物缓冲液	10% 二乙醇胺、用 HCL 将 pH 标定为 9.8	97 mL 二乙醇胺,0.1 g MgCl ₂ ,溶于 800 mL 去离子水,用 HCl 调 pH9.8,然后定容至 1 000 mL
底物	P-NPP(P-nitrophenyl phosphate)	1 mg P-NPP 溶于 1 mL 底物缓冲液

表 2 多孔板间接 ELISA 检测方法操作步骤

Table 2 The detection steps of porous plate indirect ELISA detection

操作步骤	具体操作过程
Detection steps	Detection process in details
步骤 1-点板	把灰飞虱包被研磨液分别加入 96 孔板中,每个样品重复 2 次,4℃放置 12 h
步骤 2-封闭	加封闭液,37℃孵育 1 h
步骤 3-加抗体	加稀释一定倍数(1:3 000)的抗体,37℃孵育 2 h
步骤 4-加酶标二抗	加按 1:15 000 稀释的羊抗兔 IgG-碱性磷酸酶(sigma,溶于 ELISA 缓冲液),37℃孵育 2 h
步骤 5-加底物	加 1 mg/mL 的 P-NPP(sigma,溶于二乙醇胺,pH9.8),37℃避光反应,注意观察呈色情况,30 min 后测定 OD405 值

注:除封闭液用 200 μL/孔外,其余步骤均为 100 μL/孔,每步后用 PBS-T 洗板 3 次,每次 3 min。

In addition to closed with 200 μL/hole liquid outside,the rest steps were 100 μL/hole,after each step with PBS-T washed board three times,each time of 3 min.

1.4 统计分析

用 SAS 6.12 统计软件(SAS Institute, USA, 1996)进行试验数据的统计分析。调查期间,小麦种植区各月份 5 个调查点之间,以及同一调查点不同调查时间之间灰飞虱种群动态的差异比较采用双因子方差分析。此外,济宁和郯城两个水稻种植区不同调查时间及稻麦轮作和非轮作区稻飞虱种群发生的差异比较也采用三因子方差分析。处理间差异显著性比较采用 LSD 检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 小麦种植区灰飞虱种群动态分析

调查数据显示(表 3),灰飞虱田间种群动态基本呈现逐月增加趋势,且 3 月份越冬基数越大,后期灰飞虱发生量越重。其中,5 月份乐陵麦田虫量最高,达 214.27 头/㎡,3 月份东光麦田虫量最低,仅为 0.80 头/㎡,不足每平米一头。统计分析表明,不同调查地点($F_4 = 4.95, P = 0.0013 < 0.01$)、调查时间($F_3 = 6.94, P = 0.0003 < 0.001$)

以及两者之间的交互作用 ($F_{12} = 1.97, P = 0.038 < 0.05$) 都达到显著水平。其中, 6 月份宁津、陵县和商河稻田灰飞虱发生量显著高于本地 3、4、5 月份虫量 ($P < 0.05$), 乐陵 5 月份和东光 6 月份虫量都显著大于 3、4 月份虫量 ($P < 0.05$); 此外, 4、6 月份五市县麦田灰飞虱虫量差异不显著 ($P > 0.05$; 表 3), 而 3、5 月份五市县麦田灰飞虱虫量差异显著。其中, 3 月份陵县越冬种群基数最低, 而乐陵越冬种群基数最大; 5 月份乐陵麦田灰飞虱发生量最大。但是, 时间、地点、时间和地点三者对灰飞虱田间虫量均存在显著性差异影响。

2.2 水稻种植区灰飞虱种群动态分析

表 3 小麦种植区麦田灰飞虱种群动态 (头/m²)
Table 3 The populations dynamics of mall brown planthopper, *Laodephax striatellu* occurring in wheat crop fields (head / m²)

调查地点 Sampling sites	灰飞虱数量 Numbe of <i>L. striatellu</i>			
	3 月 March	4 月 April	5 月 May	6 月 June
宁津 Ningjin	7.07 ± 3.36 B, ab	13.47 ± 8.34 B, a	5.33 ± 2.80 B, b	42.8 ± 12.12 A, a
陵县 Lingxian	1.07 ± 0.62 B, b	1.47 ± 0.68 B, a	13.47 ± 5.38 AB, b	49.40 ± 12.24 A, a
商河 Shanghe	8.13 ± 3.26 B, ab	2.13 ± 0.77 B, a	11.47 ± 2.90 B, ab	76.27 ± 22.05 Aa
乐陵 Leling	14.93 ± 7.04 B, a	6.67 ± 4.52 B, a	214.27 ± 63.53 A, a	172.87 ± 61.33 AB, a
东光 Dongguang	0.80 ± 0.39 B, b	4.00 ± 1.48 B, a	32.93 ± 9.69 AB, b	61.33 ± 16.53 Aa

注: 不同大写字母和小写字母分别表示同一地点不同时间以及同一时间不同地点之间的差异显著 (LSD 检验, $P < 0.05$)。Different uppercase and lowercase letters show significant differences between different months for same sampling site, and between different sites at same sampling time by LSD test at 0.05 level, respectively.

2.3 灰飞虱种群带毒率状况

各试验点 3—6 月份麦田灰飞虱种群带毒率检测结果显示 (表 4), 6 月份前, 宁津县及其周边 4 个县市麦田灰飞虱均不携带水稻条纹叶枯病 (RSV) 和黑条矮缩病 (RBSDV), 且只在 6 月份检测到商河和东光两地麦田灰飞虱携带 RBSDV, 带毒率分别为 2.0% 和 12.0%; 此外, 3—6 月份济宁麦田灰飞虱均检测到 RBSDV (带毒率分别为 10.0%、52.0%、8.0% 和 32.0%), 而郯城仅在 3、6 月份检测到 RBSDV (带毒率分别为 3.0% 和 2.0%); 3—5 月份济宁和郯城两地均未检测到 RSV, 而仅在 6 月份两地秧田灰飞虱中检测到 RSV, 带毒率都为 2.0%。

2.4 灯诱灰飞虱虫量及其带毒率检测

研究表明, 栽培方式、调查地点和调查时间这 3 个因子及其交互作用都显著影响灰飞虱种群发生 ($F \geq 8.39, P < 0.001$)。图 1 显示, 济宁市 5 月份稻麦轮作区麦田灰飞虱虫量最高达 506.67 头/m², 最低虫量为 3 月份非轮作区麦田虫量仅为 3.2 头/m²; 郯城县也以 5 月份稻麦轮作区麦田虫量最高达 1 643.93 头/m², 最低虫量为 4 月份非轮作区麦田, 仅为 6.00 头/m²。统计分析表明, 稻麦轮作区麦田灰飞虱虫量都显著高于非轮作区麦田虫量, 且轮作区与非轮作区麦田均以 5 月份虫量最高, 且显著高于其他月份 ($P < 0.05$; 图 1)。

6 月份, 宁津转基因水稻野外试验基地灯诱数据显示 (图 2), 连续多次出现上灯高峰, 600、500、400、300 和 200 头以上上灯高峰依次为 2 次、1 次、3 次、1 次和 4 次。灯诱灰飞虱带毒率检测结果显示, 灯诱高峰期有 5 批次检测到 RBSDV (带毒率在 1.0% 和 6.0% 之间)、6 批次检测到 RSV (带毒率在 1.0% 和 4.0% 之间)。

2.5 灰飞虱同时携带 RBSDV 和 RSV 的概率

图 3 和图 4 (5、6 和 7 分别为阴性对照、空白对照和阳性对照; A、C、E、G 行为样品处理, B、D、F、H 行为样品重复) 显示, RBSDV 和 RSV 的显色反应中第 2 个样品的两个重复均呈现黄色, 与第 7 个处理 (阳性对照) 一致, 表明灰飞虱可同时携带 RBSDV 和 RSV 两种病毒。本次实验共检测 3 568

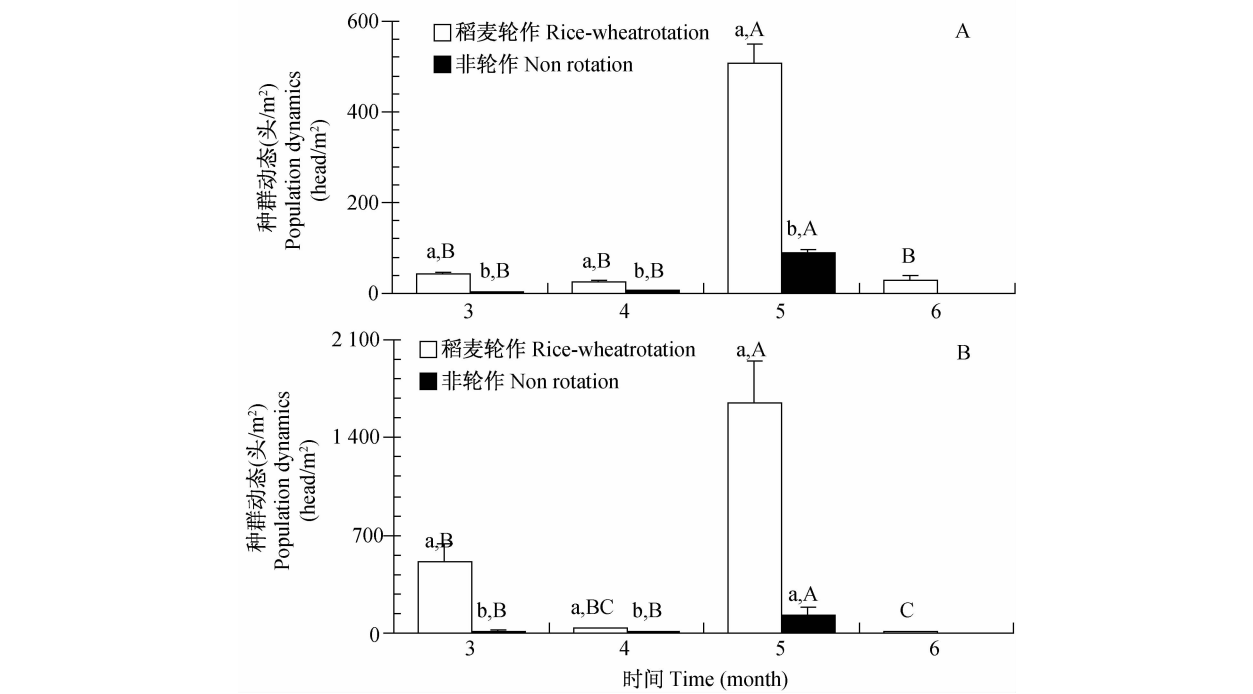


图1 济宁(A)和郯城(B)稻麦轮作区和非轮作区田间灰飞虱种群动态

Fig.1 The population dynamics of small brown planthopper, *Laodephax striatellu* occurring in rice-wheat rotation field and no rotation field of Jinan (A) and Tancheng (B)

不同小写字母和大写字母分别表示同种类型麦田不同月份,以及同一月份不同类型麦田的调查结果差异显著(LSD检验, $P < 0.05$)。图2同。

Different lowercase and uppercase letters show significant difference between different months for same field, and between different types of fields at same sampling time by LSD test at 0.05 level, respectively. The same for Fig. 2.

表4 田间灰飞虱种群带毒率(%)

Table 4 The virus rate of field population of small brown planthopper, *Laodephax striatellu* (%)

调查时间 Sampling time	病毒类型 Virus	种群带毒率(%) The virus rate of <i>L. striatellu</i>						
		宁津	商河	东光	陵县	乐陵	济宁	郯城
		Ningjin	Shanghe	Shouguang	Lingxian	Leling	Jining	Tancheng
3月 March	RBSDV	0	0	0	0	0	10	3
	RSV	0	0	0	0	0	0	0
4月 April	RBSDV	0	0	0	0	0	52	0
	RSV	0	0	0	0	0	0	0
5月 May	RBSDV	—	—	—	—	—	8	0
	RSV	—	—	—	—	—	0	0
6月 June	RBSDV	0	2	12	0	0	32	2
	RSV	0	0	0	0	0	2	2

注:“—”表示当时因虫龄太小未检测 RBSDV 和 RSV,济宁和郯城检测的均为稻麦轮作田灰飞虱种群,非轮作田种群数量级低无法得出准确结果。

“—”represents no detection of RBSDV and RSV due to the small SBPH larvae, the testing SBPM were all from rice-wheat rotation fields of Tancheng and Jining, and SBPM were not collected from rotation fields owing to low density.

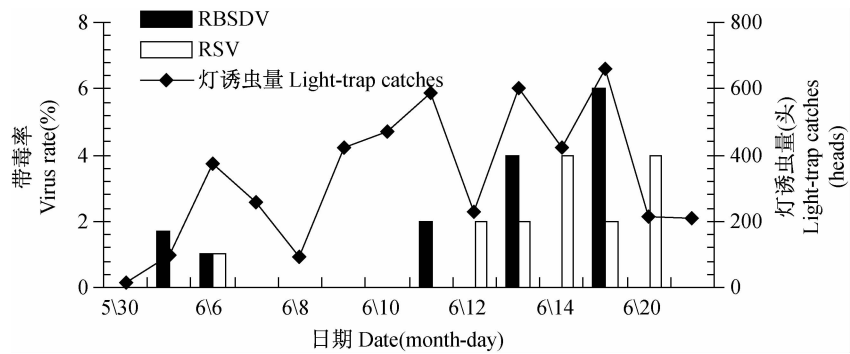


图 2 灯诱灰飞虱虫量动态及其带毒率(%)

Fig.2 The abundances and virus rate of small brown planthopper, *Laodephax striatellu* captured by light trap
RBSDV - 水稻黑条矮缩病毒 rice black streaked dwarf virus; RSV - 水稻条纹叶枯病毒 rice stripe virus.

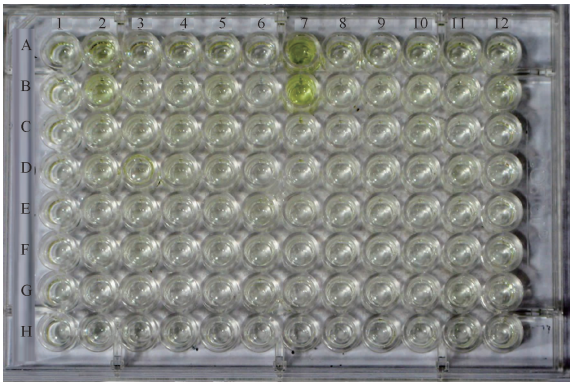


图 3 6 月 6 日灯下灰飞虱水稻黑条矮缩病毒 (RBSDV) 显色反应

Fig.3 The color reaction of the rice black streaked dwarf virus in small brown planthopper, *Laodephax striatellu* captured by light trap on 6 June

注:1~4 和 8~12 为样品处理,5 为阴性对照,6 为空白对照,7 为阳性对照。下图同。
From 1 to 4 and 8 to 12 were sample treatment; 5, 6 and 7 were the negative control, blank control and the positive control, respectively. The same below.

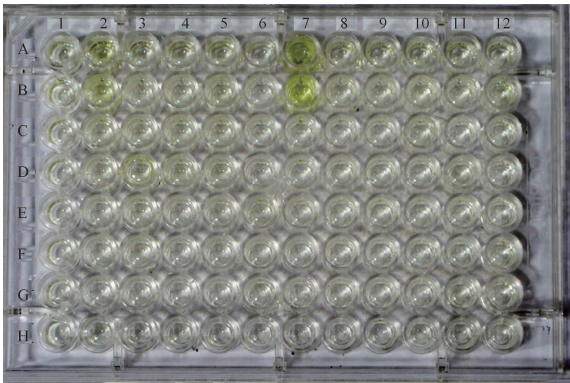


图 4 6 月 6 日灯下灰飞虱水稻条纹叶枯病毒 (RSV) 显色反应照片

Fig.4 The color reaction of the rice stripe virus in small brown planthopper, *Laodephax striatellu* captured by light trap on 6 June

头灰飞虱(包括田间种群的 2 300 头和灯诱的 1 268 头灰飞虱),麦田当地种群未发现同时携带两种病毒,上灯的灰飞虱同时携带两种病毒的概率也极低,仅为 0.079%。

3 讨论

麦田灰飞虱防治指标为:300 ~ 450 头/m²(亩虫量达 20 万 ~ 30 万头),宁津、陵县、商河、东光、乐陵 5 个点的灰飞虱虫量各月份调查结果均未达到防治指标,无需防治,但是在 6 月份东光和商河麦田灰飞虱检测到了 RBSDV 病毒,应重点防控麦收以后由于灰飞虱的迁移危害导致的玉米粗缩病。济宁市和郯城县的调查显示出:稻麦轮作有利于灰飞虱种群繁殖,应重点监测与防治稻麦轮作田的灰飞虱种群,且在济宁市各月份田间灰飞虱中均检测到了 RBSDV 病毒,应密切关注小麦丛矮病的发生及麦收后灰飞虱迁移危害导致的玉米粗缩病和水稻黑条矮缩病。

宁津及其周边地区在 3—6 月份均未在灰飞虱体内检测到 RSV 病毒,而宁津当地 6 月份灯诱灰飞虱体内检测到了 RSV 病毒,且在 6 月份上灯高峰期这段时间内检测到的灰飞虱带毒率情况每天都存在有差异,这些均说明 6 月份灯诱灰飞虱种群高峰期这段时间内的上灯灰飞虱不只是本地及其周边种群而是存在有远距离迁飞的种群,而且很有可能是来自多个地区。

关于灰飞虱的虫源国外有其远距离迁飞的报道(Kisimoto,1976;Hirao and Ito,1980;Riley *et al.*, 1991;Hoshizaki,1997),但国内当前普遍认为以本地越冬为主,远距离迁飞对种群结构的影响很小(丁锦华和苏建亚,2002;刘向东等,2006),而王丽(2011)、张海燕等(2011)的研究结果表明表明中国内陆灰飞虱是存在远距离迁移的,且对种群结构在一定时期内有着较大影响。今后应进一步研究上灯高峰期的灯诱灰飞虱与本地田间灰飞虱的带毒率差异,以区分两种虫源性质差异。同时,检测结果也表明灰飞虱可同时携带 RBSDV 和 RSV 两种病毒的概率极小,两种病毒在灰飞虱体内是否存在相互抑制作用,它们之间的这种作用能否在病毒病的防治中起到积极作用,有待进一步研究。

参考文献 (References)

- Farinelli L, Oliveira D, 1996. Application of the polymerase chain reaction to the detection of plant viruses. *Agro-Food-Ind. Hi-Tech*, 7:7 – 10.
- Hirao J, Ito K, 1980. Observations on rice planthoppers collected over the East China Sea in June and July, 1974. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 24(2):121 – 124.
- Hoshizaki S, 1997. Allozyme polymorphism and geographic variation in the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Homoptera: Delphacidae). *Biochem. Gen.*, 35(12):283 – 293.
- Kisimoto R, 1976. Synoptic weather conditions inducing long-distance immigration of planthoppers, *Sogatella furcifera* and *Nilaparvata lugens* Stål. *Ecol. Entomol.*, 1:95 – 109.
- Kisimoto R, 1989. Flexible diapause response to photoperiod of a laboratory selected line in the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*. *Appl. Entomol. Zool.*, 24:157 – 159.
- 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.
- 陈光育, 1984. 酶联免疫吸附试验检测水稻条纹叶枯病介体昆虫带毒率. 植物保护学报, 11(2):73 – 78.
- 丁锦华, 苏建亚, 2002. 农业昆虫学南方本. 北京:中国农业出版社. 174 – 176.
- 刘向东, 翟保平, 刘慈明, 2006. 灰飞虱暴发成灾原因剖析. 昆虫知识, 43(2):141 – 146.
- 秦文胜, 高东明, 陈声祥, 1994. 灰稻虱体内水稻条纹叶枯病毒快速检测技术研究. 浙江农业学报, 6:226 – 229.
- 孙广仲, 陈志清, 郁祖良, 张大友, 2006. 灰飞虱传播的病毒病发生流行特点及耕作与栽培措施的调整对策. 上海农业科技, 2:108 – 109.
- 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.
- 谢晓慧, 张云发, 林莉, 邢玉仙, 包绍永, 刘玉彬, 1992. A 蛋白酶联免疫吸附法检测水稻条纹叶枯病毒介体昆虫灰飞虱带毒率的研究. 西南农业学报, 5(3):80 – 84.
- 张海燕, 刁永刚, 杨海博, 赵悦, 张孝羲, 翟保平. 2011. 山东济宁灰飞虱春季种群动态及迁飞特性. 应用昆虫学报, 48(5):1298 – 1308.
- 张恒木, 雷娟丽, 陈剑平, 2001. 浙江和河北发生的一种

- 水稻、小麦、玉米矮缩病是水稻黑条矮缩病毒引起的. 中国病毒学, 16 (3):246 – 251.
- 朱龙粉, 傅华欣, 毛华方, 荆卫锋, 高俊丽, 杨小龙, 2003. 水稻条纹叶枯病发生规律与防治技术研究. 植保技术与推广, 23(5):3 – 6.
- 张开玉, 熊如意, 周益军, 2008. 灰飞虱体内水稻条纹叶枯病毒的检测. 植物保护学报, 35(5):410 – 414.