

毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱致害性和繁殖力的影响

徐广春, 顾中言*, 徐德进, 许小龙

(江苏省农业科学院植物保护研究所, 南京 210014)

摘要: 为科学用药防治灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) 提供理论依据, 采用麦秆浸渍法测定毒死蜱对灰飞虱成虫的室内活性, 并用 Parafilm 小袋法和滤纸漏斗法测定毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱蜜露排泄量、虫体增重、产卵量等指标的影响。Parafilm 小袋法的测定结果表明, 经毒死蜱亚致死剂量 (0.21 mg/L 有效成分) 处理的灰飞虱单雌蜜露分泌量和虫体增重分别比对照增加 10.99% 和 22.22%, 但与对照相比无显著差异 ($P > 0.05$); 单雌产卵量为 79.6 ± 26.4 个, 比对照增加 12.27%, 差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)。滤纸漏斗法的测定结果表明, 处理过的灰飞虱雌成虫蜜露分泌面积为 $119.74 \pm 5.90 \text{ mm}^2$, 比对照增加 13.06%, 差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。毒死蜱亚致死剂量处理后对灰飞虱蜜露分泌量、虫体增重和单雌产卵量均表现不同程度的促进作用, 说明毒死蜱亚致死剂量可能会导致灰飞虱致害性加剧。本研究结果对深入研究杀虫剂对灰飞虱种群的亚致死效应具有重要的参考价值。

关键词: 灰飞虱; 毒死蜱; 亚致死剂量; 亚致死效应; 致害性; 繁殖力

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2011)06-0680-07

Effects of sublethal dose of chlorpyrifos on the virulence and productivity of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Fallén) (Homoptera: Delphacidae)

XU Guang-Chun, GU Zhong-Yan*, XU De-Jin, XU Xiao-Long (Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: To provide the theoretic basis for the scientific application of insecticides controlling the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Fallén), the bioactivity of chlorpyrifos to *L. striatellus* was determined by stem immersion method in the laboratory. Parafilm sachet and filter paper funnel were used to measure the effects of sublethal dose of chlorpyrifos on such indices as honeydew excretion, weight gain and egg production. The results obtained through parafilm sachet showed that honeydew excretion and weight gain of single female *L. striatellus* treated with sublethal dose of chlorpyrifos (0.21 mg/L a. i.) increased by 10.99% and 22.22% compared with the control, respectively, but with no significant difference ($P > 0.05$). The number of eggs laid per female *L. striatellus* was 79.6 ± 26.4 , with a 12.27% increase compared with the control and an extremely significant difference ($P < 0.01$). The result of filter paper funnel method indicated that the honeydew spot area of female *L. striatellus* treated with sublethal dose of chlorpyrifos was $119.74 \pm 5.90 \text{ mm}^2$, with a 13.06% increase compared with the control and a significant difference ($P < 0.05$). According to the test results, sublethal dose of chlorpyrifos may cause the aggravation of the virulence of *L. striatellus* since its honeydew excretion, and weight gain and egg production could be promoted. The findings have scientific value for ascertaining sublethal effects of insecticides on the population of *L. striatellus*.

Key words: *Laodelphax striatellus*; chlorpyrifos; sublethal dose; sublethal effects; virulence; productivity

灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén), 属同翅目 (Homoptera) 飞虱科 (Delphacidae), 国内主要分布在长江流域及北方稻区, 能在水稻、小麦等农作

物上为害 (丁锦华和苏建亚, 2002)。除以成、若虫刺吸为害外, 成虫排泄蜜露极易引起真菌侵染, 形成煤污病, 在植株体内产卵造成植株伤害, 灰飞虱

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划课题 (2006BAD08A03-4); 公益性行业科研专项 (201003031); 江苏省农业自主创新基金 [Cx(09)624]
作者简介: 徐广春, 男, 1982年3月生, 研究实习员, 研究方向为昆虫化学生态学, E-mail: xgc551@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: guzy@jaas.ac.cn

收稿日期 Received: 2010-06-09; 接受日期 Accepted: 2011-04-08

还是多种植物病毒的传毒媒介(Vidano, 1970; 谢联辉等, 2001)。自 20 世纪末开始, 长三角稻区晚稻灌浆后期发现大量灰飞虱集中到穗部取食, 每丛稻达上百头之多。随后, 条纹叶枯病(rice stripe virus, RSV)大流行, 在江苏一些地区水稻植株发病率达 20% 以上, 严重的田块可达 80% 以上(程家安等, 2008)。近年来, 灰飞虱的发生量呈逐年加重的趋势, 给农业生产带来了严重的损失, 由于目前还没有理想的抗病品种以及防治病毒病的药剂, 所以治虫防病是当前减少损失的主要手段。

至今化学防治仍是防治灰飞虱的主要手段。近年来由于部分农药的禁止和限制使用, 毒死蜱跃升为防治灰飞虱的几个主要药剂之一, 而有关毒死蜱对灰飞虱致害性和繁殖力影响的研究报道甚少。由于毒死蜱大规模的使用, 部分地区的灰飞虱种群已经对毒死蜱产生了低到中等水平的抗性(Endo and Tsurumachi, 2000; 王利华等, 2009)。同时也有研究表明小麦开花灌浆初期使用多菌灵、毒死蜱和乐果均能导致灰飞虱虫口密度的显著增加, 其中用毒死蜱和毒死蜱 + 多菌灵处理后, 虫量分别增加 255.2% 和 425.6% (沈燕等, 2007); 室内试验表明用测定毒死蜱对用灰飞虱 3 龄若虫的 LC_{50} , LC_{75} 和 LC_{90} 剂量处理的灰飞虱 3 龄若虫及成虫, 均使其所产的后代若虫数多于对照(徐广春等, 2008)。采用药膜法和稻株喷雾法可以看出毒死蜱对捕食性天敌黑肩绿盲蝽 *Cyrtolabus lividipennis* Reuter 不安全和较不安全(孙定伟等, 2008); 毒死蜱对大腹圆蛛 *Araneus ventricosus* (L. Koch, 1878) 的毒性大于其对灰飞虱毒力, 这种毒力上的差异可导致灰飞虱种群失去天敌的控制(顾中言等, 1999; 徐广春, 2008)。促进繁殖和失去天敌的控制作用, 使得使用毒死蜱能导致灰飞虱种群的增长。

目前关于稻飞虱对水稻的致害性研究的典型例子是褐飞虱 *Nilaparvata lugens*, 通常把雌成虫蜜露排泄量、体重增量和腹部发育情况观察等作为其致害性的主要指标(Pagua *et al.*, 1980; Khan and Saxena, 1990; 王桂荣等, 1999; 周亦红和韩召军, 2003; 刘芳等, 2005), 在此基础上本试验以灰飞虱蜜露排泄量、体重增量、雌成虫寿命和单雌产卵量为对象, 研究毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱致害性和繁殖力的影响, 为今后合理使用毒死蜱防治灰飞虱提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验虫源

2007 年采自江苏句容市麦田中的灰飞虱成虫,

于室内用武育粳 3 号稻苗饲养。先在 30 cm × 25 cm × 20 cm 的养虫箱内垫一层滤纸, 用水润湿滤纸后播种武育粳 3 号水稻种子, 然后覆盖约 1 cm 厚的细土, 待稻苗长至 8 ~ 11 cm 时备用。将田间采回的成虫按每箱约 200 头进行饲养, 7 d 后将成虫移至另一养虫箱继续产卵繁殖。连续饲养数十代后, 取龄期一致的灰飞虱成虫(羽化 1 ~ 2 d)进行试验。灰飞虱的饲养条件为温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 80%、光照周期 16L:8D。

1.2 供试小麦

用于试验的小麦品种均为扬麦 11 号。在直径为 16 cm 的盆钵中点播小麦, 置于防虫网罩中, 待到孕穗拔节期时选取健康无虫害的小麦植株备用。

1.3 药剂原药和试剂

97% 毒死蜱原药, 湖北仙隆化工股份有限公司; 吐温-80, 上海申宇医药化工有限公司; 溴甲酚氯, 天津市科密欧化学试剂有限公司。

1.4 试验药剂的配制

首先用 50 mL 丙酮溶解毒死蜱原药 0.05155 g 配制成 1 000 mg/L 的母液, 然后用含有 0.1% 吐温-80 的水溶液稀释 5 ~ 6 个系列的质量浓度, 按照等比的方法设置浓度梯度进行试验。雄成虫试验的浓度值为 4, 2, 1, 0.5 和 0.25 mg/L (有效成分); 雌成虫试验的浓度值为 8, 4, 2, 1, 0.5 和 0.25 mg/L。

1.5 灰飞虱对毒死蜱的敏感性测定

采用麦秆浸渍法。连根拔出拔节期且无灰飞虱虫卵的小麦, 剔除叶片后洗净, 剪成 15 cm 长的麦秆, 晾干后在预先配制好的药液中浸泡 30 s, 取出晾干, 放入 3 cm × 20 cm 的试管中, 管底留少许药液, 每管 1 根麦秆。每处理重复 3 次, 每管为一重复, 接灰飞虱雄成虫(长翅型)或雌成虫(短翅型)约 20 头, 用黑布扎口, 以 0.1% 的吐温-80 水溶液处理为对照, 置于与灰飞虱饲养相同的条件下, 48 h 后检查各处理中灰飞虱的死亡率, 若对照死亡率大于 20%, 试验重做; 小于 20%, 求出毒力回归方程致害性, 最后以毒死蜱对灰飞虱雌成虫的 LC_5 作为试验的亚致死剂量。

1.6 Parafilm 小袋法测定毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱体重增量的影响

参照 Pathak 等(1982)设计的 Parafilm Sachet 法测定在扬麦 11 号上取食的灰飞虱单雌的虫体增重。即选用孕穗拔节期的小麦, 将配好的毒死蜱亚致死剂量浓度的药液(10 mL)均匀涂抹在麦秆主分蘖上, 接着将饥饿 2 h 后初羽化的灰飞虱雌成虫(短

翅、羽化约 1 d) 用 Mettler Toledo AB135-S 型电子天平(精确至 0.01 mg) 称重, 记为 G_1 , 接入 Parafilm 小袋(袋口约 2.5 cm), 同时固定在小麦的主分蘖节上, 每袋 1 头, 重复 10 次。48 h 后, 取下 Parafilm 小袋称重记为 G_2 , 吸出试虫再称量 Parafilm 记为 G_3 , 虫体终重 = $G_2 - G_3$; 然后用 0.2% 溴甲酚氯无水乙醇溶液浸过的滤纸将蜜露吸干再称量 Parafilm, 若溴甲酚氯试纸变色则记为 G_4 , 蜜露排泄量 = $G_3 - G_4$, 虫体增重 = $G_2 - G_3 - G_1$ 。同时采用 Duncan 氏新复极差测验法对灰飞虱的死亡率、蜜露排泄量以及虫体增重进行比较分析。

1.7 滤纸漏斗法测定毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱雌、雄成虫排泄蜜露的影响

取孕穗拔节期的盆播小麦, 留下主分蘖, 剔除部分分蘖和叶片, 将毒死蜱亚致死剂量浓度的药液(10 mL) 均匀涂抹主分蘖上, 然后将直径 11 cm 的滤纸围成漏斗状固定在主分蘖节上, 将饥饿 2 h 后初羽化的灰飞虱短翅型雌成虫、长翅型雄成虫(羽化 1 d) 各 3 头接入漏斗状的滤纸中, 然后用蜡膜封口, 每处理 5 次重复, 48 h 后移出成虫, 将滤纸展平, 用沾有 0.2% 溴甲酚氯无水乙醇溶液排笔轻轻涂刷滤纸, 吹干后用 720 万像素的索尼 T10 相机拍摄照片, 然后用软件 Adobe Photoshop 7.0 中的魔术棒勾画出滤纸上的蜜露斑区域, 计算出照片上蜜露斑与滤纸面积的比例后再换算成实际的单头灰飞虱分泌蜜露的面积, 并采用 Duncan 氏新复极差测验法对灰飞虱的死亡率以及分泌的蜜露面积进行比较分析。

1.8 Parafilm 小袋法测定毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱繁殖力的影响

为便于 Parafilm 小袋的安装, 适当剔除小麦主分蘖上的部分健康叶片, 将配好的毒死蜱亚致死剂量浓度的药液 10 mL 均匀地涂布主分蘖上, 按每 Parafilm 小袋(袋口约 8 cm) 2 头长翅型雄成虫、1 头短翅型雌成虫(均为羽化 1 d) 固定在主分蘖上, 待成虫死亡后, 记录死亡时间, 同时剪下小麦主分蘖, 在解剖镜下用挑针拨查灰飞虱产卵量, 每处理重复 50 次, 然后采用 Duncan 氏新复极差测验法对灰飞虱雌成虫历期、卵块数以及卵粒数进行比较分析。

1.9 灰飞虱单雌产卵块数和产卵量组距的划分

单雌产卵块数按照每头雌成虫所产的卵块数划分 3 个级别: I 级所产的卵块数为 0~4; II 级所产的卵块数为 5~8; III 级所产的卵块数为 9~12。

产卵量按照每头雌成虫所产的卵粒数划分 5 个级别: I 级所产的卵粒数为 0~30; II 级所产的卵粒数为 31~60; III 级所产的卵粒数为 61~90; IV 级所产的卵粒数为 91~120; V 级所产的卵粒数为 121~150。

1.10 数据统计与分析

采用 SPSS 16.0 软件中的概率分析模块来计算毒死蜱对灰飞虱的毒力方程; 蜜露排泄量和虫体增重均采用 SPSS 16.0 软件中频次分析模块进行作图分析; 不同处理间的差异水平采用 Duncan 氏新复极差测验法来比较分析。

2 结果与分析

2.1 灰飞虱成虫对毒死蜱的敏感性测定

采用麦秆浸渍法分别测定长翅型灰飞虱雄成虫和短翅型灰飞虱雌成虫对毒死蜱的敏感性。毒死蜱对长翅型灰飞虱雄成虫的毒力回归方程为 $y = 2.56995x + 0.07847$, 其 LC_{50} 和 LC_{90} 分别为 0.21 mg/L(有效成分含量, 下同)(0.06~0.37) 和 0.93 mg/L(0.62~1.41); 毒死蜱对短翅型灰飞虱雌成虫的毒力回归方程为 $y = 2.2225x - 0.1427$, 其 LC_{50} 和 LC_{90} 分别为 0.21 mg/L(0.14~0.28) 和 1.16 mg/L(0.99~1.35)。根据上述结果确定亚致死剂量 0.21 mg/L 为下述试验的试验剂量。

2.2 毒死蜱亚致死剂量处理后灰飞虱的死亡率

经毒死蜱亚致死剂量 LC_5 处理后 48 h, Parafilm 小袋法和滤纸漏斗法试验中的灰飞虱雌、雄虫的死亡率与对照组相同(均为 0) 或之间无显著差异($P > 0.05$)(表 1)。

2.3 毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱雌成虫致害性的影响

2.3.1 蜜露排泄量分析: 以灰飞虱雌成虫的蜜露排泄量幅度(如 $0 \leq x \leq 0.25$, $0.25 < x \leq 0.5$, ...) 为横坐标, 以相应的蜜露排泄量幅度的灰飞虱雌成虫频率为纵坐标作图(图 1: A 和 B)。经毒死蜱处理的灰飞虱雌成虫蜜露排泄量为 1.01 ± 0.40 mg, 与对照组灰飞虱雌成虫蜜露排泄量 0.91 ± 0.40 mg 无显著差异($P > 0.05$), 但比对照增加 10.99%。

2.3.2 体重增量分析: 以灰飞虱雌成虫的体重增量幅度(如 $-0.10 \leq x \leq 0.00$, $0.00 < x < 0.10$, ...) 为横坐标, 以相应的体重增量幅度的灰飞虱雌成虫频率为纵坐标作图(图 1: C 和 D)。经毒死蜱处理的灰飞虱雌成虫体重增量为 0.33 ± 0.20 mg,

表 1 毒死蜱亚致死剂量处理灰飞虱 48 h 后的死亡率 (%)

Table 1 Mortality (%) of *Laodelphax striatellus* at 48 h after treatment with sublethal dose of chlorpyrifos

处理 Treatment	剂量 (mg/L) Dose	Parafilm 小袋法 Parafilm sachet				滤纸漏斗法 Filter paper funnel	
		致害性试验 Virulence test	繁殖力试验 Productivity test		♂	♀	
			♀	♂			♀
清水对照 Water (control)	0	0	2.0 ± 2.0 a	3.0 ± 1.7 a	0	0	
毒死蜱 Chlorpyrifos	0.21	0	2.0 ± 2.0 a	4.0 ± 2.4 a	0	0	

表中数值是平均值 ± 标准误, 同列数据后不同大小写字母分别表示差异极显著 ($P < 0.01$) 和显著 ($P < 0.05$); 下同。The data in the table are mean ± SE, and those followed by different capital and small letters in the same column are extremely significantly different ($P < 0.01$) and significantly different ($P < 0.05$), respectively. The same below.

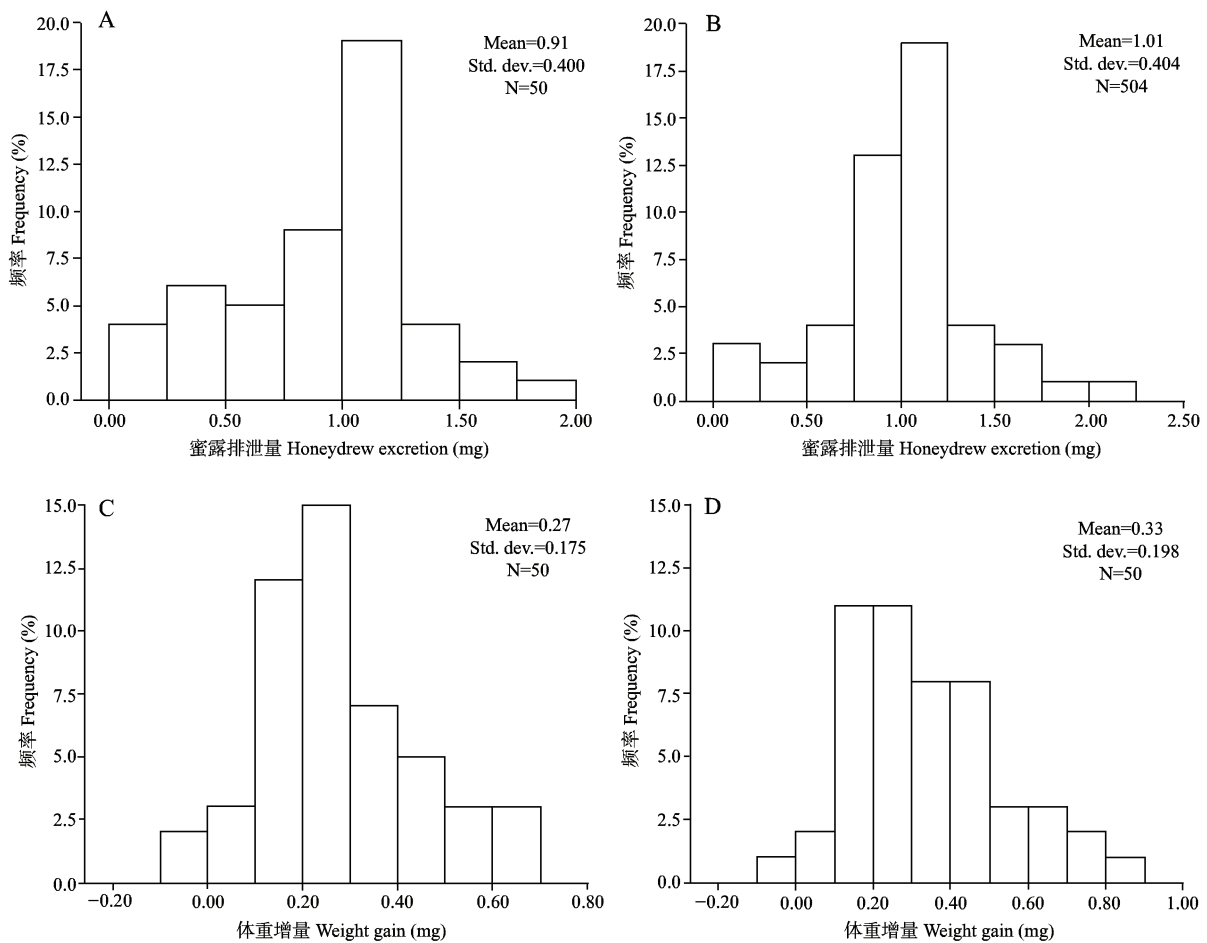


图 1 毒死蜱亚致死剂量处理灰飞虱雌成虫 48 h 后的蜜露排泄量和体重增量频次分布

Fig. 1 Frequency distribution of honeydew excretion and weight gain of female *Laodelphax striatellus* at 48 h after treatment with sublethal dose of chlorpyrifos

A: 未经药剂处理的灰飞虱雌虫蜜露排泄量的频次分布 Frequency distribution of honeydew excretion of female *L. striatellus* without chemical treatment; B: 经毒死蜱处理后的灰飞虱雌虫蜜露排泄量的频次分布 Frequency distribution of honeydew excretion of female *L. striatellus* treated with sublethal dose of chlorpyrifos; C: 未经药剂处理的灰飞虱雌虫体重增量的频次分布 Frequency distribution of weight gain of female *L. striatellus* without chemical treatment; D: 经毒死蜱处理后的灰飞虱雌虫体重增量的频次分布 Frequency distribution of weight gain of female *L. striatellus* treated with sublethal dose of chlorpyrifos.

与对照组灰飞虱雌成虫体重增量 0.27 ± 0.18 mg 无显著差异 ($P > 0.05$), 但比对照增加 22.22%。

2.4 毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱雌、雄成虫排泄蜜露的影响

灰飞虱在滤纸上的蜜露分泌量如图 2 所示, 图中斑点即为灰飞虱的蜜露斑, 蜜露斑面积列于表 2。

经毒死蜱亚致死剂量处理的灰飞虱雄成虫所产的蜜露斑为 68.11 ± 5.12 mm², 比对照减少 25.55%, 与对照相比差异达到显著水平 ($P < 0.05$); 灰飞虱雌成虫所产的蜜露斑为 119.74 ± 5.90 mm², 比对照增加 13.06%, 与对照相比差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。

表 2 毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱致害性的影响

Table 2 Effects of sublethal dose of chlorpyrifos on the virulence of *Laodelphax striatellus*

处理 Treatment	剂量 (mg/L) Dose	蜜露排泄量 (mg/♀) Honeydew excretion	体重增量 (mg/♀) Weight gain	蜜露斑面积 Area of honeydew spot (mm ²)	
				♂	♀
清水对照 Water (control)	0	0.91 ± 0.40 a	0.27 ± 0.18 a	68.11 ± 5.12 a	105.91 ± 1.80 b
毒死蜱 Chlorpyrifos	0.21	1.01 ± 0.40 a	0.33 ± 0.20 a	50.71 ± 2.57 b	119.74 ± 5.90 a

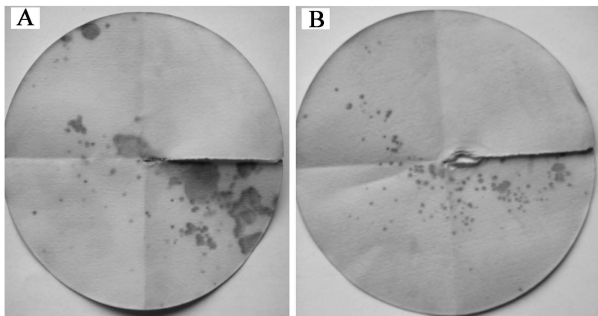


图 2 毒死蜱亚致死剂量处理灰飞虱 48 h 后的蜜露斑

Fig. 2 The honeydew spot of *Laodelphax striatellus* at 48 h after treatment with sublethal dose of chlorpyrifos

A: 灰飞虱雌虫的蜜露斑 Honeydew spot of female *L. striatellus*; B: 灰飞虱雄虫的蜜露斑 Honeydew spot of male *L. striatellus*.

2.5 毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱雌成虫繁殖力的影响

从表 3 可以看出, 经毒死蜱亚致死剂量处理的灰飞虱雌成虫历期为 8.8 ± 2.2 d, 比对照少 1.12%, 与对照相比无显著差异; 所产的卵块数为 7.0 ± 2.7 块, 比对照多 1.45%, 与对照相比无显著差异; 每头雌成虫所产卵块中的平均卵粒数为 11.6 ± 2.0 粒, 比对照多 9.43%, 与对照相比差异达到显著水平 ($P < 0.05$); 每头雌成虫所产的卵粒数为 79.6 ± 26.4 粒, 比对照多 12.27%, 与对照相比差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

表 3 毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱繁殖力的影响

Table 3 Effects of sublethal dose of chlorpyrifos on the productivity of *Laodelphax striatellus*

处理 Treatment	剂量 (mg/L) Dose	翅型 Wing-form ♀ × ♂	雌成虫历期 (d) Life span of female adult	卵块数/♀ Egg-masses per female	卵粒数/卵块 Eggs per egg-mass	卵粒数/♀ Eggs per female
毒死蜱 Chlorpyrifos	0.21	Br × Ma	8.8 ± 2.2 aA	7.0 ± 2.7 aA	11.6 ± 2.0 aA	79.6 ± 26.4 aA

Br: 短翅型 Brachypterous; Ma: 长翅型 Macropterous.

2.6 毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱单雌产卵块数和产卵量分布的影响

从表 4 可以看出, 用毒死蜱亚致死剂量处理后, 单雌产卵块数较低的 I 级雌成虫占处理虫数的 20%, 比对照减少 23.1%; 单雌产卵块数 II 级的雌成虫占处理虫数的 50%, 比对照增加 19.1%; 单雌产卵块数 III 级的雌成虫占处理虫数的 30%, 比对照减少 6.3%。

用毒死蜱亚致死剂量处理后, 产卵量较低的 I 级、II 级雌成虫分别占处理虫数的 6% 和 14%, 比对照减少 25.0% 和 36.4%; 产卵量为 III 级的雌成虫占处理虫数的 42%, 与对照相当; 产卵量较高的 IV 级、V 级雌成虫分别占处理虫数的 32% 和 6%, 比对照增加 45.5% 和 50.0%; 可以看出经毒死蜱亚致死剂量处理后, 产卵量低的雌成虫比例有所下降, 而产卵量高的比例有所上升。

表 4 毒死蜱亚致死剂量对灰飞虱单雌产卵块数和产卵量分布的影响
 Table 4 Effects of sublethal dose of chlorpyrifos on frequency distribution of numbers of egg-masses and eggs laid per female of *Laodelphax striatellus*

处理 Treatment	剂量(mg/L) Dose	卵块数分布(%) Frequency distribution of egg-masses			产卵量分布(%) Frequency distribution of eggs				
		I	II	III	I	II	III	IV	V
		清水对照 Water (control)	0	26	42	32	8	22	42
毒死蜱 Chlorpyrifos	0.21	20	50	30	6	14	42	32	6

卵块数组距 Group interval of the number of egg-masses: I: 0-4; II: 5-8; III: 9-12. 产卵量组距 Group interval of the number of eggs: I: 0-30; II: 31-60; III: 61-90; IV: 91-120; V: 121-150.

3 讨论

一般认为蜜露排泄量与取食量成正比(Pagua *et al.*, 1980), 故可用蜜露分泌量作为评价灰飞虱致害性的指标。本研究测定了灰飞虱蜜露分泌量、虫体增重和繁殖力等, 结果表明经毒死蜱亚致死剂量(0.21 mg/L)处理的灰飞虱雌成虫蜜露排泄量、虫体增重、产卵量均多于对照, 其中 Parafilm sachet 法测定的灰飞虱单雌产卵量和滤纸法测定的蜜露排泄量极显著或显著高于对照。这种促进作用的可能途径有两条: 一是药剂使用后影响了寄主作物的生理生化, 即改变了作物的营养而有益于昆虫的发育和繁殖。杀虫剂溴氰菊酯的使用降低了感虫水稻碳水化合物与氮的比例, 增加了游离氨态氮的水平, 从而促进或增强了对褐飞虱的吸引, 间接促使繁殖力的增强(Jones *et al.*, 1983)。研究表明小麦开花灌浆初期喷施毒死蜱使小麦植株的游离氨基酸、还原糖含量明显增加(沈燕等, 2007); 同样喷施毒死蜱乳油 375 mL/ha, 能使扬麦 13 号籽粒中总淀粉含量显著高于对照(夏玉荣等, 2008)。即喷施农药后植株中含有昆虫所需的营养物质增多, 利于昆虫的进一步取食为害。二是昆虫直接接触药剂或药剂代谢物经昆虫取食后的诱导效应。研究表明, 生物在吸收有毒物质后, 会导致生物体寿命、产卵能力等的变化(Bayne *et al.*, 1979)。典型的一个例子就是褐飞虱。研究表明三唑磷处理对存活下来的长翅型和短翅型的成虫的产卵均有明显的刺激作用(庄永林等, 1999)。溴氰菊酯对褐飞虱种群表现为刺激增殖作用, 田间使用后只轻微压低种群基数, 但提高了药后种群的虫龄转化率, 导致药后短期内种群增殖速率加快, 同时峰期拉长, 种群规模超过不用药区(王荫长等, 1994)。目前就农药对昆虫生理指标影响的研究多集中在表象, 而对该表象的内在影

响机制研究甚少。一般认为糖、脂肪、蛋白质作为昆虫的重要营养物质, 并可相互转化, 为昆虫的生长发育提供能量, 同时也是昆虫卵黄的重要组成部分, 其含量的增加将有利于昆虫的繁殖(王荫长, 2004)。有学者指出杀虫剂溴氰菊酯和三唑磷处理本地虫源的褐飞虱, 发现成虫体内可溶性糖含量、粗脂肪含量和游离氨基酸总量与对照相比均显著增加(印建莉等, 2008)。根据上述可能途径, 从杀虫剂对植株、靶标昆虫的生理生化影响的角度着手, 下一步着重研究毒死蜱亚致死剂量促进灰飞虱致害性和繁殖的内在机制。

长江中、下游地区, 灰飞虱主要在水稻、麦子和玉米等作物上完成其生活史。随着高毒农药在中国的禁止或限制使用, 毒死蜱已逐渐成为国内使用最为广泛的有机磷农药。截至 2009 年 3 月, 国内毒死蜱原药登记厂家为 50 多个, 与之相关的制剂证有 900 多个。毒死蜱被大量用于水稻、麦子和玉米上病虫害的防治, 从本研究来看毒死蜱亚致死剂量可能会加重灰飞虱雌成虫的致害性和繁殖力, 但这是否是导致近年来灰飞虱种群持续性增长的原因之一, 还有待进一步研究。如何最大程度地消除灰飞虱防治中毒死蜱引起的负面效应, 这就要求我们明确灰飞虱的生物学特性, 选择合适的剂型, 并确定合理的用药浓度、用量以及用药次数, 同时将毒死蜱与其他长效型药剂进行适当的轮用和混用, 科学地防治灰飞虱, 这是持续、有效控制灰飞虱为害的重要组成部分。

参 考 文 献 (References)

- Bayne BL, Moore MN, Widdows J, Livingstone DR, Salkeld P, 1979. Measurements of the responses of individuals to environmental stress and pollution: studies with bivalve molluscs. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 286: 563-581.
- Cheng JA, Zhu JL, Zhu ZR, Zhang LG, 2008. Rice planthopper outbreak and environment regulation. *Journal of Environmental*

- Entomology*, 30(2): 176–182. [程家安, 朱金良, 祝增荣, 章连观, 2008. 稻田飞虱灾变与环境调控. 环境昆虫学报, 30(2): 176–182]
- Ding JH, Su JY, 2002. *Agricultural Entomology*. China Agriculture Press, Beijing. 174–176. [丁锦华, 苏建亚, 2002. 农业昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 174–176]
- Endo S, Tsurumachi M, 2000. Insecticide resistance and insensitive acetylcholinesterase in small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*. *Pestic. Sci.*, 25: 395–397.
- Gu ZY, Xu XL, Su JK, Yan DF, Ni SK, Chen YR, Zhu XM, Hu XM, Shi SR, Lu SH, Xie XD, 1999. Study on the resurgence of rice delphacid caused by application of pyrethroid and its main affecting factors and the method of control. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 12(4): 53–60. [顾中言, 许小龙, 苏建坤, 严大富, 倪寿坤, 陈以仁, 朱学明, 胡夏明, 史顺荣, 吕守怀, 谢绪定, 1999. 拟除虫菊酯农药导致稻飞虱再猖獗机理及调控方法. 西南农业学报, 12(4): 53–60]
- Jones VP, Youngman RR, Parrellia MP, 1983. Effect of selected acaricides on photosynthetic rates of lemon and orange leaves in California. *J. Econ. Entomol.*, 76(5): 1178–1180.
- Khan ZR, Saxena RC, 1990. Purification of biotype 1 population of brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Insect Sci. Appl.*, 11(1): 55–62.
- Liu F, Fu Q, Lai FX, Zhang ZT, 2005. A linkage between inheritance of virulence and sex in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Acta Entomologica Sinica*, 48(6): 892–897. [刘芳, 傅强, 赖凤香, 张志涛, 2005. 稻褐飞虱致害性遗传与性别的相关性研究. 昆虫学报, 48(6): 892–897]
- Paguia P, Pathak MD, Heinrichs EA, 1980. Honeydew excretion measurement techniques for determining differential feeding activity of biotypes of *Nilaparvata lugens* on rice varieties. *J. Econ. Entomol.*, 73: 35–40.
- Pathak PK, Saxena RC, Heinrichs EA, 1982. Parafilm sachet for measuring honeydew excretion of *Nilaparvata lugens* on rice. *J. Econ. Entomol.*, 75: 194–195.
- Shen Y, Feng CN, Guo WS, Zhu XK, Li S, Jiang XZ, Peng YX, 2007. Effects of spraying pesticides at early flowering or grain filling stages on small brown planthoppers during wheat filling period and relevant biochemical analysis. *Journal of Agro-environment Science*, 26(3): 985–989. [沈燕, 封超年, 郭文善, 朱新开, 李邵, 蒋小忠, 彭永欣, 2007. 小麦开花灌浆初期喷施农药对灌浆后期灰飞虱的影响及生化分析. 农业环境科学学报, 26(3): 985–989]
- Sun DW, Su JY, Shen JL, Xu JT, 2008. Safety evaluation of insecticides to *Cyrtolus lividipennis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae), a predator of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Scientia Agricultura Sinica*, 41(7): 1995–2002. [孙定炜, 苏建亚, 沈晋良, 徐建陶, 2008. 杀虫剂对褐飞虱捕食性天敌黑肩绿盲蝽的安全性评价. 中国农业科学, 41(7): 1995–2002]
- Vidano C, 1970. Phases of maize rough dwarf virus multiplication in the vector *Laodelphax striatellus* (Fallén). *Virology*, 41(2): 218–232.
- Wang GR, Lai FX, Fu Q, Zhang ZT, Guo LF, 1999. Virulent shift in populations of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Chinese Journal of Rice Science*, 13(4): 229–232. [王桂荣, 赖凤香, 傅强, 张志涛, 郭兰芳, 1999. 稻褐飞虱致害性变异的研究. 中国水稻科学, 13(4): 229–232]
- Wang LH, Liu YH, Fang JC, 2009. Risk assessment and inheritance mode to chlorpyrifos in *Laodelphax striatellus* (Fallén) and cross-resistance to other insecticides. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 25(1): 73–78. [王利华, 刘艳荷, 方继朝, 2009. 灰飞虱对毒死蜱的抗性风险评估、抗性遗传及交互抗性. 江苏农业学报, 25(1): 73–78]
- Wang YC, 2004. *Insect Biochemistry*. China Agriculture Press, Beijing. [王荫长, 2004. 昆虫生物化学. 北京: 中国农业出版社]
- Wang YC, Fang JQ, Tian XZ, Shang BZ, Fan YR, 1994. Studies on the resurgent question of planthopper induced by deltamethrin and methamidophos. *Entomological Knowledge*, 31(5): 257–262. [王荫长, 范加勤, 田学志, 尚保宗, 范岳荣, 1994. 溴氰菊酯和甲胺磷引起稻飞虱再猖獗问题的研究. 昆虫知识, 31(5): 257–262]
- Xia YR, Feng CN, Shen Y, Wang ZG, Guo WS, 2008. Effect of the pesticides on edible safety and grain quality of weak-gluten wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 28(6): 1093–1099. [夏玉荣, 封超年, 沈燕, 王正贵, 郭文善, 2008. 化学杀虫剂对弱筋小麦籽粒安全性和品质的影响. 麦类作物学报, 28(6): 1093–1099]
- Xie LH, Wei TY, Lin HX, Wu ZJ, Lin QY, 2001. Advances in molecular biology of rice stripe virus. *Journal of Fujian Agricultural University*, 30(3): 269–279. [谢联辉, 魏太云, 林含新, 吴祖建, 林奇英, 2001. 水稻条纹病毒的分子生物学. 福建农业大学学报, 30(3): 269–279]
- Xu GC, 2008. Impacts of Five Insecticides on the Population of *Laodelphax striatellus* (Fallén). MSc Thesis, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu. [徐广春, 2008. 五种常用杀虫剂对灰飞虱种群的影响. 江苏扬州: 扬州大学硕士学位论文]
- Xu GC, Gu ZY, Xu DJ, Xu XL, Shi WS, 2008. Impacts of five insecticides on the productivity of *Laodelphax striatellus* (Fallén). *Acta Phytomycol Sinica*, 25(4): 361–366. [徐广春, 顾中言, 徐德进, 许小龙, 石伟山, 2008. 五种常用杀虫剂对灰飞虱繁殖力的影响. 植物保护学报, 25(4): 361–366]
- Yin JL, Hu JH, Xu HW, Wu JC, Wang F, Yang GQ, 2008. Comparisons of levels of crude fat, soluble sugars, and free amino acids in offsprings of the immigrant and non-immigrant populations of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae), under insecticide stress. *Acta Entomologica Sinica*, 51(11): 1103–1112. [印建莉, 胡君欢, 徐海伟, 吴进才, 王飞, 杨国庆, 2008. 杀虫剂胁迫下褐飞虱迁飞虫和本地虫后代体内粗脂肪、可溶性糖及氨基酸含量的比较. 昆虫学报, 51(11): 1103–1112]
- Zhou YH, Han ZJ, 2003. The brown planthopper biotypes: on the genetic mechanism of virulence. *Entomological Knowledge*, 40(3): 199–203. [周亦红, 韩召军, 2003. 褐飞虱生物型研究进展: 致害性变异的遗传机制. 昆虫知识, 40(3): 199–203]
- Zhuang YL, Shen JL, Chen Z, 1999. The influence of triazophos on the productivity of the different wing-form brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 22(3): 21–24. [庄永林, 沈晋良, 陈峥, 1999. 三唑磷对不同翅型稻褐飞虱繁殖力的影响. 南京农业大学学报, 22(3): 21–24]