

不同药剂混合处理对灰飞虱生殖的影响*

汪 锐** 张 鲜 戈林泉 杨国庆 吴进才***

(扬州大学园艺与植物保护学院, 扬州 225000)

摘 要 【目的】为阐明刺激和抑制灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 生殖的药剂混合或先后使用对灰飞虱生殖的效应。【方法】本研究选用抑制灰飞虱生殖的井冈霉素和刺激生殖的多菌灵和三唑磷 3 种药剂, 设置井冈霉素+多菌灵 (JGM+CBM) 混合药剂、井冈霉素+多菌灵先后 (JGM+CBM 先后) 喷施药剂、井冈霉素+三唑磷 (JGM+TZP) 混合药剂和井冈霉素+三唑磷先后 (JGM+TZP 先后) 喷施药剂处理灰飞虱 3 龄若虫, 先后处理药剂喷施间隔时间为 48 h, 混合处理的 2 种药剂连续喷施。待成虫羽化后, 测定成虫的产卵量、产卵前期、产卵历期、雌虫寿命、雌虫体重、雌虫体长、产卵瓣长度、卵巢蛋白含量和甘油三酯含量。【结果】与不喷施药剂的对照相比, 井冈霉素+多菌灵混合处理后灰飞虱的产卵量、产卵历期、雌虫寿命、雌虫体重、产卵瓣长度、卵巢蛋白含量和甘油三酯含量分别增加了 28.9%、29.5%、19.1%、34.6%、35.2%、20.0% 和 30.4%, 而产卵前期和雌虫体长与对照无显著差异; 井冈霉素+多菌灵先后处理后, 灰飞虱的产卵量、产卵前期、产卵历期、卵巢蛋白含量和甘油三酯含量分别下降了 23.3%、28.9%、18.6%、12.1% 和 15.0%, 雌虫寿命、雌虫体重、雌虫体长和产卵瓣长度无显著影响。井冈霉素+三唑磷混合处理后, 灰飞虱产卵量、产卵前期、雌虫体重、雌虫体长、卵巢蛋白含量和甘油三酯含量分别下降了 57.4%、56.5%、8.5%、21.4%、33.8% 和 26.2%, 产卵历期、雌虫寿命和产卵瓣长度无显著差异; 井冈霉素+三唑磷先后处理后, 灰飞虱的产卵量、产卵前期、产卵历期、雌虫体重、雌虫体长、产卵瓣长度、卵巢蛋白含量和甘油三酯含量分别下降了 19.6%、79.7%、32.6%、7.2%、14.8%、7.6%、31.5% 和 36.8%, 但对雌虫寿命无显著影响。【结论】刺激灰飞虱生殖的药剂与抑制灰飞虱生殖的药剂混喷或先后喷施对生殖产生不同的效果。本研究结果对多种药剂混合使用避免飞虱发生再猖獗具有重要参考意义。

关键词 灰飞虱; 井冈霉素; 多菌灵; 三唑磷; 药剂混合; 生殖

Effects of simultaneous, or sequential, application of two different insecticides on the reproduction of *Laodelphax striatellus*

WANG Rui** ZHANG Xian GE Lin-Quan YANG Guo-Qin WU Jin-Cai***

(College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225000, China)

Abstract 【Objectives】The purpose of this study was to investigate the effects of simultaneous, or sequential, application of two insecticides on the reproduction of the Grey planthopper, *L. striatellus*. 【Methods】Jinggangmycin inhibits reproduction in the Grey planthopper, whereas Carbendazim and Triazophos stimulate reproduction. Third instar nymphs sprayed with either Jinggangmycin & Carbendazim (JGM and CBM), Jinggangmycin followed by Carbendazim (JGM + CBM), Jinggangmycin and Triazophos (JGM and TZP), or Jinggangmycin followed by Triazophos (JGM + TZP). The interval between successive pesticide applications was 48 h. After adult eclosion, female fecundity, preoviposition period, oviposition duration, female lifespan, female weight, female body length, oviposition valve length, ovarian protein content and triglyceride content, were measured. 【Results】Compared to the control group, the female fecundity, oviposition duration, female lifespan, female body weight, ovipositor valve length, ovarian protein content and triglyceride content of the JGM and CBM group increased by 28.9%, 29.5%, 19.1%, 34.6%, 35.2%, 20.0% and 30.4%, respectively. There was, however, no significant difference in the pre- and post-oviposition body length of adult females. The JGM + CBM

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金, 31571999

**第一作者 First author, E-mail: 1073006044@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: jincaiwu1952@sina.com

收稿日期 Received: 2021-01-12; 接受日期 Accepted: 2021-10-12

treatment group had significantly lower female fecundity, pre-oviposition period, oviposition duration, ovarian protein content and triglyceride content values than the control group (23.3%, 28.9%, 18.6%, 12.1% and 15.0%, respectively), but there was no significant difference in female longevity, female weight, female body length or oviposition valve length. The JGM and TZP treatment group had significantly lower female fecundity, female body weight, female body length, ovarian protein content, triglyceride content and a shorter pre-oviposition period (57.4%, 8.5%, 21.4%, 33.8%, 26.2% and 56.5%, respectively) than the control group. There was, however, no significant difference in oviposition duration, female longevity and ovipositor valve length. The JGM and TZP treatment group also had significantly lower female fecundity, oviposition duration, female body weight, female body length, ovipositor valve length, ovarian protein content, triglyceride content and pre-oviposition period values (19.6%, 32.6%, 7.2%, 14.8%, 7.6%, 31.5%, 36.8% and 79.7%, respectively) than the control group. There was, however, no significant difference in female life span. **[Conclusion]** Spraying paired combinations of Jinggangmycin, Carbendazim and Triazophos, simultaneously or sequentially, had significant, different effects on reproductive parameters of the grey planthopper. These findings provide useful information for avoiding a resurgence of this pest following the application of different pesticides.

Key words *Laodelphax striatellus*; jinggangmycin; carbendazim; triazophos; pesticide mixture; reproduction

灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) 属半翅目、飞虱科, 是水稻的重要害虫之一, 通过口器刺吸水稻茎秆吸食汁液为害, 并传播水稻多种病毒, 如水稻黑条矮缩病 (Rice black-streaked dwarf virus, RBSDV) 和水稻条纹叶枯病 (Rice stripe virus, RSV) 等, 对我国水稻产量造成严重损失 (阮义理等, 1981; 林凌伟等, 2001)。据报道灰飞虱传播病毒病导致江淮地区水稻产量损失严重 (张景飞等, 2005; 仇广灿等, 2008; 周益军等, 2012)。2008 年, 山东各地区玉米大面积暴发了由灰飞虱传播的玉米粗缩病, 近 800 余万公顷夏玉米受灾严重, 20 余万公顷玉米田大部分绝收 (赵便果等, 2009)。近年来, 灰飞虱呈间歇性暴发, 而单一化学杀虫剂的使用是导致害虫抗药性发生再猖獗的重要原因 (孙艾萍等, 2005; 顾本奇和顾卫中, 2006; 吴进才, 2017)。研究表明使用杀菌剂多菌灵和杀虫剂三唑磷等药剂后, 能刺激灰飞虱生殖 (Zhang *et al.*, 2014), 这也是诱发害虫再猖獗的重要因素之一 (顾本奇和顾卫中, 2006; 吴进才等, 2017), 但也有药剂如井冈霉素可以抑制灰飞虱生殖 (Ding *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2018)。然而, 田间防治灰飞虱时往往多种药剂混合使用, 不同效应的药剂混施以及先后施用对灰飞虱生殖的影响至今仍是空白。虽然复配农药的使用是有效延缓抗药性产生的技术手段之一, 但复配农药是否也会诱导发生再猖獗仍不清楚 (杨向黎,

2001)。

本文选用抑制灰飞虱生殖的井冈霉素和刺激灰飞虱生殖的多菌灵和三唑磷 3 种药剂进行混合或先后使用后, 通过测定灰飞虱体重、体长、产卵瓣长度以及与生殖相关的卵巢内蛋白质和体内甘油三酯含量的变化, 明确混合使用刺激和抑制灰飞虱生殖的药剂对灰飞虱生殖的影响, 这对生产上多种药剂科学合理的混合使用以及避免引起灰飞虱发生再猖獗具有重要参考意义。

1 材料与方法

1.1 供试水稻品种

供试的水稻品种为武育粳 3 号。选取颗粒饱满的水稻种子, 于清水中浸泡 12 h。露白后, 将种子均匀铺放在瓷盘中, 并盖上湿润的毛巾, 置于温箱中催芽 48 h。48 h 后, 将种子播种于含有土壤的水泥池中, 盖上防虫网。待秧苗长到三叶期时, 移栽至塑料桶 (直径 35 cm, 桶高 30 cm) 中, 4 株为 1 穴, 每桶 4 穴, 并罩上防虫网, 长至分蘖期时备用。

1.2 供试虫源

灰飞虱采自扬州大学实验农场的自然种群, 用感虫品种武育粳 3 号幼苗饲养于扬州大学昆虫生态实验室温室, 饲养条件设置为温度 25 ℃、湿度 70%-80%、光周期 16L: 8D。试

验前, 灰飞虱未接触任何药剂。研究表明 3 龄若虫是药剂刺激生殖的敏感虫龄 (Zhang *et al.*, 2014), 因此本研究选择 3 龄若虫作为供试虫源。

1.3 药剂种类、浓度及配置

基于生产上喷药的浓度范围内, 本研究选择井冈霉素 ($200 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)、多菌灵 ($200 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 和三唑磷 ($40 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 3 种药剂开展研究。井冈霉素 ($\text{C}_{20}\text{H}_{35}\text{O}_{13}\text{N}$) (13.5%)、多菌灵 ($\text{C}_9\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2$) (98%) 和有机磷农药三唑磷 ($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{N}_3\text{O}_3\text{PS}$) (80%) 分别购自浙江钱江生物化学股份有限公司、上海卡迈生物科技有限公司和江苏长青农化股份有限公司。

井冈霉素 ($200 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 的配制: 称取 1.4815 g 置于容量瓶 (1 000 mL) 中, 加入 500 μL 乳化剂吐温用蒸馏水定容至 1 000 mL, 备用。

多菌灵 ($200 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 的配制: 称取 0.2 g 多菌灵置于容量瓶 (1 000 mL) 中, 加入 5 μL 盐酸至充分溶解, 加入 500 μL 吐温定容至 1 000 mL。

三唑磷 ($40 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 的配制: 使用移液枪吸取三唑磷原液 47 μL 置于容量瓶 (1 000 mL) 中, 加入 10 mL 二甲基亚砜, 再加入 500 μL 吐温用蒸馏水定容至 1 000 mL。

1.4 不同药剂处理对灰飞虱生长发育及生殖的影响

实验设置井冈霉素+多菌灵混合、井冈霉素+多菌灵先后、井冈霉素+三唑磷混合和井冈霉素+三唑磷先后 4 个处理。待盆栽水稻长至分蘖期, 每桶接入实验室饲养灰飞虱 3 龄若虫 300 头。若虫取食 8 h 后, 采用喷雾器 (孔口直径 1 mm, 压力 45 psi, 喷速 300 mL/min) 喷施上述 4 种混合药剂。井冈霉素+多菌灵和井冈霉素+三唑磷先后处理组是先喷井冈霉素 24 h 后, 再分别喷施多菌灵和三唑磷。喷完药剂后用 80 目的纱网罩好, 以防止若虫逃逸。以喷施清水作为对照。每个处理分别喷施 3 桶, 每个处理 3 个重复。喷药 48 h 后, 将 10 头若虫转移到预先放有新鲜的稻株和少量自来水的玻璃杯 (杯口

直径 6.5 cm, 杯高 9.5 cm) 中, 置于温度为 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 湿度 70%-80%, 光照周期为 16L:8D 的培养箱 (RXZ-500B, 江南仪器厂) 中饲养, 直至成虫羽化。待成虫羽化后, 每个处理选择 1 头雄虫和 1 头雌虫配对置于玻璃杯 (直径 10 cm, 高度 12 cm) 中, 并提供未经药剂处理的水稻茎秆供其产卵。雌成虫未产卵之前, 每天更换 1 次水稻茎秆, 待产卵后, 每 3 d 更换 1 次水稻茎秆。将更换的水稻茎秆置于解剖镜 (北京泰克仪器有限公司) 下, 用解剖针剖开水稻叶片和叶鞘, 记录灰飞虱单雌产卵量。试验过程中, 统计灰飞虱产卵前期、产卵历期和雌虫寿命。不同药剂处理均不少于 40 次重复。

将上述不同药剂处理后羽化 2 d 的雌虫单头置于 SOPTOP 电子天平 (FA1004 型号; 1/10 000 克灵敏度) 上称重, 之后将雌成虫腹部向上置于显微镜下, 测量雌虫体长及腹部产卵瓣长。每个处理 10 次重复。

1.5 不同药剂处理对灰飞虱卵巢蛋白和体内甘油三酯含量的影响

灰飞虱卵巢蛋白质测定的方法参照 BCA 蛋白定量试剂盒 (BCA Protein Assay Kit, 康为世纪生物公司提供)。随机挑选不同处理组羽化 2 d 的灰飞虱雌成虫 15 头, 置于显微镜 (OLYMPUS, DP27) 下解剖, 取出卵巢置于研磨器中, 并立即加入 200 μL 0.9% 的生理盐水研磨, 磨好的样离心。按照试剂盒说明书计算出 BCA 工作液需求总量, 将 BCA-A 和 BCA-B 按照 50:1 的体积比配置出工作液, 充分摇匀。在磨好的样品中加入 200 μL BCA 工作液, 37 $^{\circ}\text{C}$ 孵育 30 min 后, 冷却至室温。采用微孔检测法, 在 96 孔微孔里分别加入 25 μL 待测样品 (须在 3-5 min 内完成)。提前测出 BCA 标准品在 562 nm 范围内的吸光值作为计算的参照值, 指定标准曲线, 并绘制标准曲线。然后测定出每个处理组样品的吸光值, 计算样品中的蛋白浓度及其含量。每个处理 3 个重复。

称取灰飞虱羽化 2 d 的雌成虫 1 g, 置于 1.5 mL 离心管中, 参考灰飞虱甘油三酯试剂盒

(上海酶联生物公司提供)的测定方法,加入相应试剂,冰浴匀浆。将匀浆以 8 000 r/min 在 4 ℃ 下离心 10 min,取上清液待测。按照试剂盒的说明书测定对照组及各处理组试虫中的甘油含量。每个处理,3 个重复。

1.6 数据处理与统计分析

实验获得的数据以平均值±标准误的形式表示,数据处理使用 DPS 软件进行统计分析,采用单因素方差分析不同药剂处理组之间的差异显著性,方差分析前对各项数据进行正态分

布和方差同质性检验,数据使用 Sigmaplot 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同药剂混合处理对灰飞虱生殖的影响

2.1.1 不同药剂混合处理对灰飞虱产卵量的影响 不同药剂混合处理后,灰飞虱的产卵量存在显著差异 ($F=51.1$, $df=4$, 209 , $P=0.0001$) (图 1: A)。与对照相比,井冈霉素+多菌灵混合处理 (JGM+CBM) 的产卵量显著增加

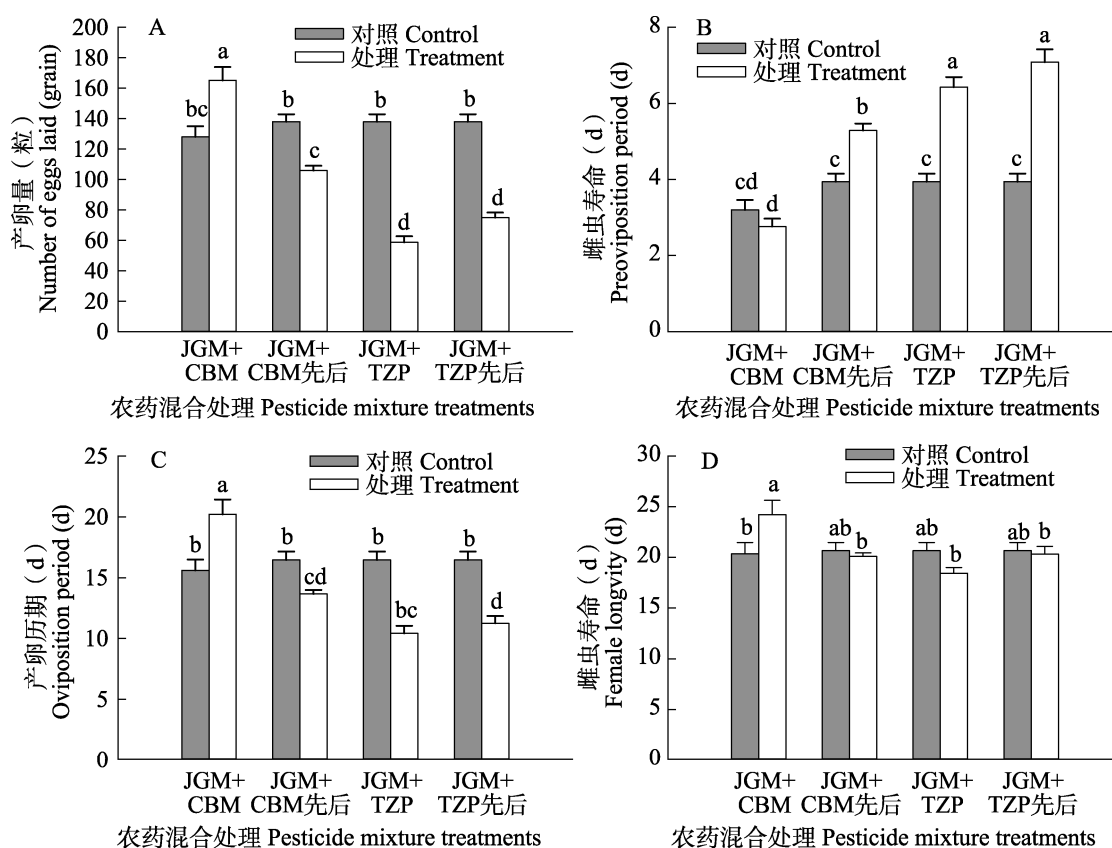


图 1 不同药剂混合处理对灰飞虱生殖的影响

Fig. 1 Effects of mixed treatments of pesticides on reproduction of *Laodelphax striatellus*

A. 灰飞虱单雌产卵量; B. 灰飞虱产卵前期; C. 灰飞虱产卵历期; D. 灰飞虱雌虫寿命。

JGM+CBM: 井冈霉素+多菌灵混合处理; JGM+CBM 先后: 井冈霉素+多菌灵先后处理;

JGM+TZP: 井冈霉素+三唑磷混合处理; JGM+TZP 先后: 井冈霉素+三唑磷先后处理。

图中数据以平均数±标准误表示,柱上标有不同小写字母表示显著差异 ($P < 0.05$, t -检验)。下图同。

A. Number of laid eggs; B. Preoviposition period; C. Oviposition period; D. Female longevity.

JGM+CBM: Jinggangmycin + Carbendazim mixed treatment; JGM+CBM 先后: Jinggangmycin treatment prior to carbendazim treatment; JGM+TZP: Jinggangmycin+Triazophos mixed treatment;

JGM+TZP 先后: Jinggangmycin treatment prior to triazophos treatment. Data in figures are mean ±SD, histograms with different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$, t -test). The same below.

28.9%，表明刺激灰飞虱的生殖；而井冈霉素+多菌灵先后（JGM+CBM 先后）、井冈霉素+三唑磷混合（JGM+TZP）和井冈霉素+三唑磷先后处理（JGM+TZP 先后）的产卵量与对照相比分别显著下降 23.3%、57.4%和 19.6%，显示抑制灰飞虱的生殖（图 1：A）。

2.1.2 不同药剂混合处理对灰飞虱产卵前期的影响 药剂混合处理后，灰飞虱产卵前期的方差分析表明，4 对处理组之间有显著差异（ $F=49.6$ ， $df=4$ ，209， $P=0.0001$ ）（图 1：B）。产卵前期多重比较表明，与对照相比，JGM+CBM 处理对灰飞虱产卵前期无明显差异；而 JGM+CBM 先后、JGM+TZP 混合和 JGM+TZP 先后处理的产卵前期与对照相比分别延长了约 28.9%、56.5%和 79.7%（图 1：B）。

2.1.3 不同药剂混合处理对灰飞虱产卵历期的影响 药剂混合处理后，灰飞虱产卵历期的方差分析表明，4 对处理组之间有显著差异（ $F=21.7$ ， $df=4$ ，209， $P=0.0001$ ）（图 1：C）。产卵历期多重比较表明，与对照相比，JGM+CBM 混合处理的产卵历期显著延长了

29.5%；而 JGM+CBM 先后、JGM+TZP 混合和 JGM+TZP 先后处理的产卵历期与对照相比分别降低了 18.6%、3.9%和 32.6%（图 1：C）。

2.1.4 不同药剂混合处理对灰飞虱雌虫寿命的影响 药剂混合处理后，灰飞虱雌虫寿命的方差分析表明，4 对处理组之间有显著差异（ $F=4.4$ ， $df=4$ ，209， $P=0.0007$ ）（图 1：D）。雌虫寿命多重比较表明，与对照相比，JGM+CBM 混合处理的雌虫寿命显著延长了 19.1%；而 JGM+CBM 先后、JGM+TZP 混合和 JGM+TZP 先后处理的雌虫寿命与对照相比没有显著变化（图 1：D）。

2.2 不同药剂混合处理对灰飞虱体重、体长和腹部产卵瓣长度的影响

2.2.1 不同药剂混合处理对灰飞虱体重的影响 不同药剂混合处理后，灰飞虱的体重存在显著差异（ $F=154.0$ ， $df=4$ ，59， $P=0.0001$ ）（图 2：A）。与对照相比，JGM+CBM 混合处理的体重增加了 34.6%；而 JGM+CBM 先后、JGM+TZP 混合和 JGM+TZP 先后处理的体重分别下降了 1.9%、8.5%和 7.2%（图 2：A）。

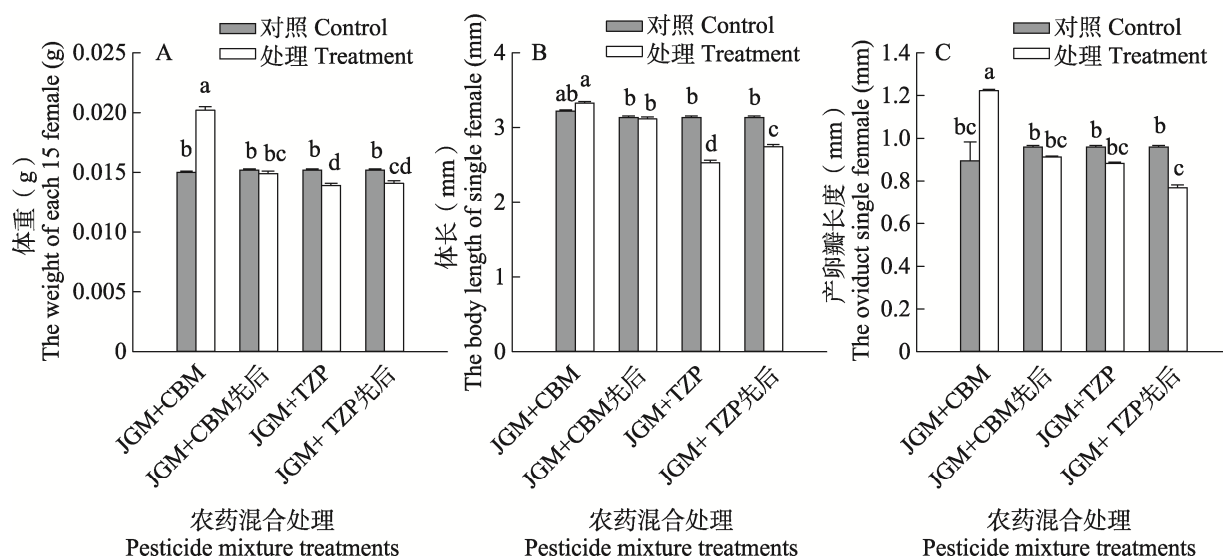


图 2 药剂混合处理对灰飞虱体重、体长和腹部产卵瓣长度的影响

Fig. 2 Effects of mixed treatments of pesticides on body weight, body length, and abdominal oviposition valve length of *Laodelphax striatellus*

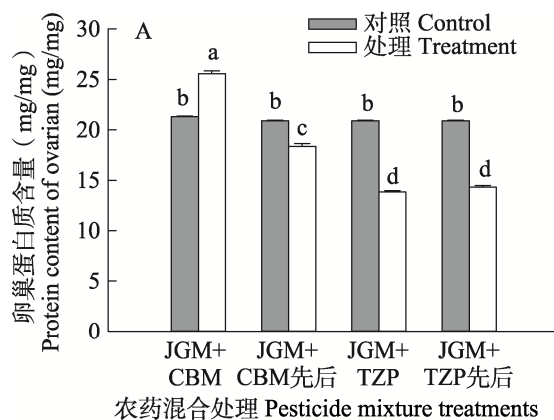
A. 体重; B. 体长; C. 产卵瓣长度。

A. Body weight; B. Body length; C. Length of oviposition valve.

2.2.2 不同药剂混合处理对灰飞虱体长的影响 不同药剂混合处理后, 灰飞虱体长的存在显著差异 ($F=133.1$, $df=4$, 59 , $P=0.0001$) (图 2: B)。与对照相比, JGM+CBM 混合处理的体长没有显著变化; 而 JGM+CBM 先后、JGM+TZP 混合和 JGM+TZP 先后处理的体长分别下降了 3.3%、21.4%和 14.8% (图 2: B)。

2.2.3 不同药剂混合处理对灰飞虱腹部产卵瓣长度的影响 不同药剂混合处理后, 灰飞虱腹部产卵瓣长度存在显著差异 ($F=16.9$, $df=4$, 59 , $P=0.0001$) (图 2: C)。腹部产卵瓣长度的多重比较表明, 与对照相比, JGM+CBM 混合处理后其腹部产卵瓣增长 35.2%; 而 JGM+CBM 先后、JGM+TZP 混合和 JGM+TZP 先后处理的腹部产卵瓣长度分别下降了 4.6%、6.6%和 7.6% (图 2: C)。

总体来说, JGM+CBM 混合处理灰飞虱体重、体长和腹部产卵瓣长度等明显增加, 而 JGM+CBM 先后、JGM+TZP 混合和 JGM+TZP 先后处理则呈下降趋势。



2.3 不同药剂混合处理对灰飞虱卵巢蛋白和甘油三酯含量的影响

2.3.1 不同药剂混合处理对灰飞虱卵巢蛋白含量的影响 经方差分析, 不同药剂混合处理后灰飞虱雌虫卵巢蛋白质的含量存在显著差异 ($F=594.4$, $df=4$, 17 , $P=0.0001$) (图 3: A)。与对照相比, JGM+CBM 混合处理的卵巢蛋白质含量增加了 20.0%; 而 JGM+CBM 先后、JGM+TZP 混合和 JGM+TZP 先后处理的卵巢蛋白质含量分别下降了约 12.1%、33.8%和 31.5% (图 3: A)。

2.3.2 不同药剂混合处理对灰飞虱体内甘油三酯含量的影响 不同药剂混合处理后, 灰飞虱雌虫体内甘油三酯的含量存在显著差异 ($F=117.7$, $df=3$, 11 , $P=0.0001$) (图 3: A)。与对照相比, JGM+CBM 混合处理的甘油三酯含量增加了 30.4%; 而 JGM+CBM 先后、JGM+TZP 混合和 JGM+TZP 先后处理的甘油三酯含量分别下降了 15.0%、26.2%、36.8% (图 3: B)。

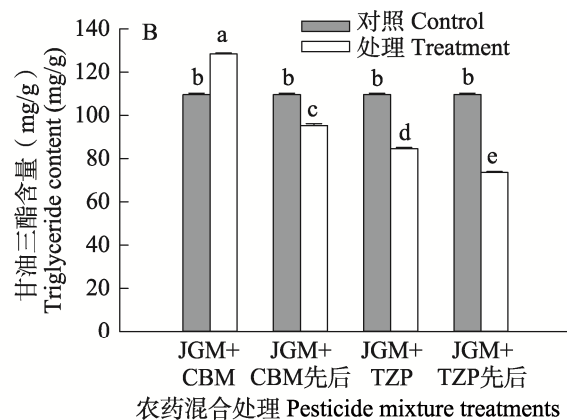


图 3 药剂混合对灰飞虱雌成虫生理生化指标的影响

Fig. 3 Effects of mixed treatments of pesticides on physiological and biochemical indexes of female adults of *Laodelphax striatellus*

A. 卵巢蛋白; B. 甘油三酯。

A. Protein content in ovarian; B. Triglyceride content.

3 讨论

本研究发现抑制生殖的井冈霉素与刺激生殖的多菌灵混合喷施处理仍能刺激灰飞虱的生殖。这就表明刺激生殖的多菌灵占主导作用或

者说井冈霉素抑制生殖的效应被抵消。从药剂本身的特点可以理解为多菌灵的效应期长于井冈霉素, 灰飞虱生殖短暂被井冈霉素抑制后, 多菌灵由于效应期较长其刺激生殖效应仍能起作用, 导致羽化的成虫产卵量显著增加。从生

理生化角度看, 与生殖相关的卵巢蛋白和甘油三酯含量均显著增加。井冈霉素与多菌灵混合处理灰飞虱后, 刺激了虫体内的营养物质的累积, 而脂肪、蛋白质等营养之间能相互转化, 对于产卵的虫体来说, 卵巢会吸收这些营养, 为后期雌虫个体产卵提供物质基础, 而灰飞虱体重、体长、腹部产卵瓣也因此发生变化。有研究表明毒死蜱处理斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 幼虫和蛹后, 其体重显著高于对照(唐文成等, 2009); 苜蓿菊酯处理纹头肃蜡后, 提高了雌虫体重(Zanuncio *et al.*, 2003)。这些都佐证了药剂在处理虫体后能引起生理指标、生物学指标的变化从而影响昆虫生殖力。然而 2 种相反效应的药剂混合使用对生殖影响过程的生理和分子机理还需进一步研究。

脂肪和蛋白质是昆虫体内重要的营养物质, 昆虫在产卵前期, 卵巢内会储存大量的蛋白质(谈倩倩, 2015)。昆虫的生殖也需要累积脂肪和蛋白质(Sawabe and Moribayashi, 2000; Attardo *et al.*, 2005)。因此, 这 2 种营养物质在昆虫生殖上起着重要的作用(郑本乐等, 2009; Jiang *et al.*, 2016)。当昆虫遭遇不良环境时, 昆虫体内脂类和蛋白质的积累和转化都受影响(任小云等, 2016), 处于滞育前期的大猿叶虫 *Colaphellus bowringi* Baly, 脂肪体内甘油三酯含量增多(谈倩倩等, 2015)。早期营养物质的积累能够影响褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 种的发育和生殖(Pan *et al.*, 2014), 同样甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 幼虫期饥饿处理, 发现卵巢蛋白质含量减少(王竑晟等, 2004b)。研究也表明甜菜夜蛾卵巢内可溶性蛋白质含量以及卵巢鲜重等与昆虫生殖力呈正相关(王竑晟等, 2004a)。本研究中, 不同药剂混合处理灰飞虱后, 甘油三酯含量变化因药剂混合组合而异, JGM+CBM 处理显著增加, JGM+CBM 先后、JGM+TZP 混合、JGM+TZP 先后均显著下降, 这些变化与灰飞虱产卵量增加与减少相一致。在其他研究中也证实刺激飞虱生殖的药剂处理后脂肪及一些脂肪酸含量显著增加(Jiang *et al.*, 2016; Li

et al., 2016)。

基于本试验结果, 从害虫防治实践角度来看, 刺激生殖的药剂与抑制生殖药剂混合使用有可能导致害虫发生再猖獗。为避免害虫发生再猖獗, 复配药剂中不应加入刺激生殖的药剂。在灰飞虱发生期间应禁止使用多菌灵。与井冈霉素+多菌灵混喷相反, 井冈霉素+多菌灵先后、井冈霉素+三唑磷混合和井冈霉素+三唑磷先后处理可抑制灰飞虱生殖。当先喷施抑制生殖的井冈霉素 24 h 后喷刺激生殖的多菌灵或三唑磷, 起主导作用的是井冈霉素, 且井冈霉素对虫体的效应链已经在传导, 而后喷施多菌灵或三唑磷也难以逆转井冈霉素的抑制生殖的效应。所以导致与生殖相关的卵巢蛋白和甘油三酯显著下降, 产卵量和体重等受到影响。本研究中井冈霉素+三唑磷混合喷施后, 仍表现抑制灰飞虱的生殖, 这可能与药剂本身的作用特点如持效时间及对昆虫的效应有关。上述 2 种药剂不同混合处理对灰飞虱的生殖产生相反效应的机理有待进一步研究。

参考文献 (References)

- Attardo GM, Hansen IA, Raikhel AS, 2005. Nutritional regulation of vitellogenesis in mosquitoes: Implications for anautogeny. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 35(7): 661–675.
- Ding J, Wu Y, You LL, Xu B, Ge LQ, Yang GQ, Wu JC, 2017. Jinggangmycin-suppressed reproduction in the small brown planthopper (SBPH), *Laodelphax striatellus* (Fallén), is mediated by glucose dehydrogenase (GDH). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 139: 73–78.
- Gu BQ, Gu WZ, 2006. Causes of recurrence of *Laodelphax striatellus* and control techniques of rice stripe disease. *Shanghai Agricultural Technology*, 2006(6): 120–121. [顾本奇, 顾卫中, 2006. 灰飞虱重发原因及水稻条纹叶枯病控制技术. 上海农业科技, 2006(6): 120–121.]
- Jiang YP, Li L, Liu ZY, You LL, Wu Y, Xu B, Ge LQ, Song QS, Wu JC, 2016. Adipose triglyceride lipase (Atgl) mediates the antibiotic jinggangmycin-stimulated reproduction in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Scientific Reports*, 6: 18984.
- Lin LW, Dong GK, Wang EG, 2001. Practice and research on the control of insects infecting rice black-streaked dwarf. *Entomological Knowledge*, 38(6): 426–428. [林凌伟, 董国堃, 汪恩国, 2001. 水稻黑条矮缩病病毒昆虫的防治实践与研究. 昆虫知识, 38(6): 426–428.]

- Li L, Jiang YP, Liu ZY, You LL, Wu Y, Xu B, Ge LQ, Stanley D, Song QS, Wu JC, 2016. Jinggangmycin increase fecundity of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål via fatty acid synthase gene expression. *Journal of Proteomics*, 130: 140–149.
- Pan XH, Lu K, Qi S, Zhou Q, 2014. The content of amino acids in artificial diet influences the development and reproduction of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 86(2): 75–84.
- Qiu GC, Cheng XS, Hu J, Wu CQ, Cao XL, 2008. Occurrence characteristics and integrated control techniques of rice black streaked dwarf disease. *Barley and Cereal Science*, 2008(3): 51–53. [仇广灿, 成晓松, 胡键 吴彩全, 曹晓利, 2008. 水稻黑条矮缩病发生特点及其综合防治技术探讨. 大麦与谷类科学, 2008(3): 51–53.]
- Ren XY, Qi XY, An T, Han YH, Chen HY, Zhang LS, 2016. Accumulation, transformation and regulation of nutrients in diapause insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(4): 685–695. [任小云, 齐晓阳, 安涛, 韩艳华, 陈红印, 张礼生, 2016. 滞育昆虫营养物质的积累、转化与调控. 应用昆虫学报, 53(4): 685–695.]
- Ruan YL, Jiang WL, Lin RF, 1981. Studies on the rice vector small brown planthopper *Laodelphax striatella* Fallén. *Acta Entomologica Sinica*, 24(3): 283–290. [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.]
- Sawabe K, Moribayashi A, 2000. Lipid utilization for ovarian development in an autogenous mosquito, *Culex pipiens molestus* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, 37(5): 726–731.
- Sun AP, Wang YG, Wang JD, Gao Y, 2005. Analysis of the causes of *Laodelphax striatellus* outbreak. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2: 26–27. [孙艾萍, 王玉国, 王家东, 高源, 2005. 水稻灰飞虱暴发原因分析. 农业科技通讯, 2: 26–27.]
- Tan QQ, Feng L, Liu W, Zhu L, Lei CL, Wang XP, 2015. Identification of key differences in development and nutrient accumulation during diapause preparation period and preoviposition period of the cabbage beetle. *Insect Research in Central China*, 11: 312. [谈倩倩, 冯莲, 刘文, 朱莉, 雷朝亮, 王小平, 2015. 大猿叶虫滞育准备期和产卵前期发育及营养积累的关键差异鉴定. 华中昆虫研究, 11: 312.]
- Tang WC, Sun HX, Shu YH, Zhou Q, Zhang GR, 2009. Effects of low concentrations of chlorpyrifos on development and food utilization of *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Environmental Entomology*, 31(2): 137–142. [唐文成, 孙虹霞, 舒迎花, 周强, 张古忍, 2009. 低浓度毒死蜱对斜纹夜蛾幼虫生长. 环境昆虫学报, 31(2): 137–142.]
- Wang HS, Xu HF, Cui F, 2004a. Effect of adult foods on fecundity and ovary development of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). *Journal of Northwest Agriculture*, 17(1): 34–37. [王竑晟, 徐洪富, 崔峰, 2004a. 成虫期营养对甜菜夜蛾生殖力及卵巢发育的影响. 西南农业学报, 17(1): 34–37.]
- Wang HS, Xu HF, Cui F, Zhang HD, 2004b. Effect of larval foods on fecundity and ovary development of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). *Journal of Northwest Agriculture*, 13(2): 67–70. [王竑晟, 徐洪富, 崔峰, 张华德, 2004b. 幼虫期营养对甜菜夜蛾生殖力及卵巢发育的影响. 西北农业学报, 13(2): 67–70.]
- Wu JC, 2017. Pesticide-induced resurgence of rice planthoppers and scientific application of pesticides. *Journal of Plant Protection*, 44(6): 919–924. [吴进才, 2017. 药剂诱导稻飞虱再猖獗及科学用药. 植物保护学报, 44(6): 919–924.]
- Wu Y, Ding J, Xu B, You LL, Ge LQ, Yang GQ, Liu F, David S, Song QS, Wu JC, 2018. Two fungicides alter reproduction of the small brown planthopper *Laodelphax striatellus* by influencing gene and protein expression. *Journal of Proteome Research*, 17(3): 978–986.
- Yang XL, Lin AJ, Wang J, 2001. The current situation of application and development of pesticide mixtures. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 32(4): 544–548. [杨向黎, 林爱军, 王军, 2001. 我国农药混剂的开发与应用现状. 山东农业大学学报(自然科学版), 32(4): 544–548.]
- Zanuncio TV, Serrão JE, Zanuncio JC, Guedes RNC, 2003. Permethrin-induced hormesis on the predator *Supputius cincticeps* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae). *Crop Protection*, 22(7): 941–947.
- Zhang JF, Gong LG, Qu Y, Qu HL, 2005. The 5th and 6th generation of *Laodelphax striatellus* in Changshu city seriously damaged rice panicle in 2004. *China Plant Protection Guide*, 25(4): 39–39. [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): 39–39.]
- Zhang YX, Zhu ZF, Lu XL, Li X, Ge LQ, Fang JC, Wu JC, 2014. Effects of two pesticides, TZP and JGM, on reproduction of three planthopper species, *Nilaparvata lugens* (Stål), *Sogatella furcifera* (Horvath), and *Laodelphax striatella* (Fallén). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 115(7): 53–57.
- Zhao BG, Xing H, Lu HR, 2009. Present situation and treatment strategy of *Laodelphax striatellus*. *Modern Agrochemicals*, 8(5): 13–16, 39. [赵便果, 邢华, 逯浩然, 2009. 灰飞虱发生现状及防治对策. 现代农药, 8(5): 13–16, 39.]
- Zheng BL, Kang MJ, Yang WR, Liu F, Xu BH, 2009. Research progress of honeybee nutrition and feed. *Apiculture of China*, 60(11): 16–18. [郑本乐, 康明江, 杨维仁, 刘锋, 胥保华, 2009. 蜜蜂营养与饲料研究进展. 中国蜂业, 60(11): 16–18.]
- Zhou YJ, Li S, Cheng ZB, Zhou T, Fan YJ, 2012. Research advances in rice stripe disease in China. *Jiangsu Journal of Agriculture Sciences*, 28(5): 1007–1015. [周益军, 李硕, 程兆榜, 周彤, 范永坚, 2012. 中国水稻条纹叶枯病研究进展. 江苏农业学报, 28(5): 1007–1015.]