



冯磊, 唐圣松, 刘芳, 戴长庚, 邢济春, 李鸿波. 7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾和粘虫幼虫的毒力与防效 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (1): 35–43.

7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾和粘虫幼虫的毒力与防效

冯磊^{1,2}, 唐圣松³, 刘芳², 戴长庚², 邢济春^{1*}, 李鸿波^{2*}

(1. 贵州大学昆虫研究所, 贵阳 550025; 2. 贵州省农业科学院植物保护研究所, 贵阳 550006;

3. 安顺学院农学院, 贵州安顺 561000)

摘要: 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 和粘虫 *Mythimna separata* 是我国玉米上的重要害虫, 二者在田间混合发生, 对玉米安全生产构成严重威胁。为筛选同时控制草地贪夜蛾与粘虫的高效生物杀虫剂, 采用饲料药膜法和喷雾法分别测定了 7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾和粘虫 2 龄幼虫的室内毒力和田间防效。室内生测结果表明, 多杀霉素对草地贪夜蛾和粘虫的 LC_{50} 分别为 0.0080 $\mu\text{g/mL}$ 和 0.0006 $\mu\text{g/mL}$, 甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae* Linnaeus NPV 对两种害虫的 LC_{50} 则分别为 8.75×10^4 PIB/mL 和 5.71×10^3 PIB/mL, 金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 对草地贪夜蛾的毒力高于粘虫 (1.10×10^6 cfu/mL VS 1.40×10^8 cfu/mL), 而短稳杆菌 *Empedobacter brevis* 对粘虫的毒力高于草地贪夜蛾 (3.00×10^8 cfu/mL VS 4.63×10^7 cfu/mL), Bt-1 和 Bt-2 对两种害虫的毒力相似, 而 Bt-3 对草地贪夜蛾的毒力高于粘虫 (40.46 IU/mL VS 158.57 IU/mL)。田间试验结果表明, 药后 3 d, 多杀霉素和甘蓝夜蛾 NPV 对两种害虫的防效最好, 均在 80% 以上。短稳杆菌和 3 种 Bt 对草地贪夜蛾的防效均大于 75%, 均显著高于金龟子绿僵菌; 而短稳杆菌、3 种 Bt 和金龟子绿僵菌对粘虫的防效均低于 51.00%。药后 7 d, 多杀霉素和甘蓝夜蛾 NPV 对草地贪夜蛾和粘虫的防效均在 88% 以上; 3 种 Bt 草地贪夜蛾的防效在 62.01% ~ 88.47% 之间, 对粘虫的防效在 66.43% ~ 80.05% 之间; 短稳杆菌对两种害虫的防效分别为 64.37% 和 46.24%。综上, 多杀霉素和甘蓝夜蛾 NPV 可以作为同时防治两种害虫的应急药剂, 3 种 Bt 和短稳杆菌对两种害虫的防效相对较低, 建议在两种害虫种群密度较低且虫龄较低时使用, 达到轮换用药和延缓抗药性产生的目的。

关键词: 草地贪夜蛾; 粘虫; 生物杀虫剂; 毒力; 防效

中图分类号: Q965; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 01-0035-09

Toxicity and control efficacy of seven bio-insecticides against *Spodoptera frugiperda* and *Mythimna separata* larvae

FENG Lei^{1,2}, TANG Sheng-Song³, LIU Fang², DAI Chang-Geng², XING Ji-Chun^{1*}, LI Hong-Bo^{2*}

(1. Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Institute of Plant Protection, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China; 3. School of Agriculture, College of Anshun, Anshun 561000, Guizhou Province, China)

Abstract: *Spodoptera frugiperda* and *Mythimna separata* are two major insect pests on maize, which co-occur in the field and threaten maize production in China. In order to screen bio-insecticides with high

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0200700); 贵州省科技支撑计划项目 (黔科合支撑 [2021] 218); 贵州省农业科学院青年基金 [(2020) 13 号]; 贵州省农业农村厅横向委托项目 (2020-1, 2020-2); 贵州省特色杂粮产业体系 (2020-01)

作者简介: 冯磊, 女, 1997 年生, 硕士, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: 1411162945@qq.com

* 共同通讯作者 Author for correspondence: 邢济春, 男, 博士, 教授, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: xingjichun@126.com;

李鸿波, 博士, 副研究员, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: gzlhb2017@126.com

收稿日期 Received: 2021-02-23; 接受日期 Accepted: 2021-05-07

control efficacy against the second instar larvae of *S. frugiperda* and *M. separata*, we evaluated toxicity and control efficacy of seven bio-insecticides against these two important pests both in laboratory and field. Laboratory bio-assay showed that LC_{50} of spinosad for *S. frugiperda* and for *M. separata* were 0.008 $\mu\text{g/mL}$ and 0.0006 $\mu\text{g/mL}$, respectively. LC_{50} of MbNPV for the two pests were 8.75×10^4 PIB/mL and 5.71×10^3 PIB/mL, respectively. *Metarhizium anisopliae* had higher toxicity to *S. frugiperda* than to *M. separata* (1.10×10^6 cfu/mL VS 1.40×10^8 cfu/mL), while *Empedobacter brevis* had higher toxicity to *M. separata* than to *S. frugiperda* (3.00×10^8 cfu/mL VS 4.63×10^7 cfu/mL). Among three *Bacillus thuringiensis* (Bts), Bt-1 and Bt-2 had the similar toxicity to these pests, but Bt-3 had higher toxicity to *S. frugiperda* than to *M. separata* (40.46 IU/mL VS 158.57 IU/mL). Field experiments showed that spinosad and MbNPV had high control efficacy (both >80%) against larvae of these two pests on 3 d treated. Control efficacy of *E. brevis* and three Bts were above 75.00%, which were significantly higher than that of *M. anisopliae* (44.79%). However, control efficacy of these insecticides against *M. separata* were all <51.00%. At 7 d treated, control efficacy of spinosad and MbNPV for the two pests were all above 88.00%. Control efficacy of three Bts for *S. frugiperda* ranged from 62.01% to 88.47%, while for *M. separata* ranged from 66.43% to 80.05%. *E. brevis* had relative low control efficacy 64.37% against *S. frugiperda* and 46.24% against *M. seprata*, respectively. Therefore, spinosad and MbNPV should be applied to control these pests in case of urgent needed, while three Bts and *E. brevis* are suitable for preventive control and for the purpose of resistance control.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; *Mythimna separata*; bio-insecticides; toxicity; control efficacy

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 与粘虫 *Mythimna separata* 属鳞翅目夜蛾科, 均是典型的远距离迁飞性昆虫。两者具有食性杂、分布广和繁殖能力强的特点, 决定了其是我国农作物上的重要害虫 (姜玉英等, 2014; 郭井菲等, 2019)。草地贪夜蛾又名秋粘虫, 原产于美洲热带和亚热带地区, 自 2018 年 12 月入侵我国云南以来 (陈辉等, 2020), 已在 26 个省 (市、区) 1 518 县 (区) 发现草地贪夜蛾, 其为害面积为 65.53×10^4 hm^2 , 其中玉米为害面积占比达 98.6% (姜玉英等, 2019; 王磊和陆永跃, 2020)。目前, 草地贪夜蛾已在我国华南和西南地区成功定殖, 并在冬季玉米种植区周年繁殖为害 (邱良妙等, 2020; 齐国君等, 2020; 姜玉英等, 2021), 因此该害虫将是我国玉米上的常发性害虫。粘虫又名行军虫, 在我国为害历史悠久, 除新疆外其它省份均有分布, 每年有 4~5 次大范围迁飞为害。近年来, 随着全球气候变暖和耕作制度的改变, 农田生态系统已发生变化, 粘虫在我国玉米主要生产区爆发成灾 (江幸福等, 2014; 姜玉英等, 2014)。例如, 仅 2019–2020 年粘虫在我国的发生面积就高达近 900 万 hm^2 , 且在北方和西南部分地区出现高密度集中为害, 造成了严重的经济损失 (姜玉英等, 2019; 2020)。我们前期调查发现, 两种害虫

在田间常常混合发生且为害部位相同, 二者的复合为害给玉米产量造成严重的损失。因此, 如何有效控制草地贪夜蛾和粘虫的为害已成为当前玉米安全生产的首要任务。

目前, 化学防治仍然是防治草地贪夜蛾和粘虫的主要手段。然而, 多项研究表明这两种害虫对多种化学农药均产生了抗性。例如, 研究表明入侵我国的草地贪夜蛾种群携带有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂的抗性基因 (李妍等, 2020; Guan *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020), 且已对甲维盐和氯虫苯甲酰胺产生了不同程度的抗药性 (苏湘宁等, 2020)。粘虫对有机磷类、拟除虫菊酯类和酰胺类杀虫剂也产生了不同水平的抗药性 (董杰等, 2014; Zhao *et al.*, 2018)。因此, 为延缓抗性产生和减少化学杀虫剂使用, 生产上急需发展控制草地贪夜蛾和粘虫的新策略。

生物杀虫剂具有安全无污染、与环境高度相容和不易产生抗性的优点, 是当前防治害虫的重要手段之一。目前, 国内外已有关于生物杀虫剂防治草地贪夜蛾和粘虫的相关报道 (Bateman *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2018; 龙育堂等, 2019; 林素坤等, 2020; 张海波等, 2020), 但这些生物杀虫剂是否同时对两种害虫有效还不清楚。为此, 本研究评价了 7 种新型生物杀虫剂对两种

害虫的室内毒力和田间防治效果，以期筛选出高效生物杀虫剂，为同时控制两种害虫提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试虫源

草地贪夜蛾室内种群由 2019 年采自贵州省农业科学院玉米试验田（26°50′55.57″N，106°66′66.49″E）的幼虫建立，粘虫室内种群于 2014 年

采自贵州省黔西县素朴镇（27°01′39.72″N，106°20′2.92″E）玉米试验田的幼虫建立。在室内分别参照李鸿波等（2018）和 Zhao *et al.*（2020）的方法采用人工饲料进行饲养，饲养条件为：温度 25℃±1℃、相对湿度 70%~80%，光周期 16 L：8 D。选取发育一致的 2 龄幼虫作为毒力测定试虫。

1.1.2 供试生物杀虫剂

7 种生物杀虫剂均购自农资市场，具体名称，含量及生产厂家见表 1，田间使用剂量为商品推荐使用剂量。

表 1 生物杀虫剂信息
Table 1 Information of bio-insecticides

药剂 Insecticides	稀释倍数（倍） Dilution fold	药剂生产厂家 Producer
20 亿 PIB/mL 甘蓝夜蛾 NPV SC MbNPV 2 × 10 ¹⁰ PIB/mL SC	600	江西新龙生物科技有限公司
80 亿 cfu/mL 金龟子绿僵菌 OF <i>Metarhizium anisopliae</i> 8 × 10 ¹⁰ cfu/mL OF	500	重庆聚立信生物技术有限公司
100 亿 cfu/mL 短稳杆菌 SC <i>Empedobacter brevis</i> 10 × 10 ¹⁰ cfu/mL SC	500	浙江润宇生物发展有限公司
20% 多杀霉素 SC Spinosad 20% SC	3 000	江苏克胜集团股份有限公司
32 000 IU/毫克 苏云金杆菌 WP（Bt-1） <i>Bacillus thuringiensis</i> 32 000 IU/mg WP（Bt-1）	300	武汉科诺生物科技有限公司
32 000 IU/毫克 苏云金杆菌 WP（Bt-2） <i>B. thuringiensis</i> 32 000 IU/mg WP（Bt-2）	300	武汉科诺生物科技有限公司
32 000 IU/毫克 苏云金杆菌 WP（Bt-3） <i>B. thuringiensis</i> 32 000 IU/mg WP（Bt-3）	300	山东鲁抗生物农药有限责任公司

1.2 方法

1.2.1 7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾和粘虫的室内毒力测定

采用饲料药膜法进行毒力测定（吴益东等，2019）。具体如下：在 24 孔培养板中，每孔分别加入冷却至 60℃ 的人工饲料 900 μL，置于室温下自然固化。将测试药剂原药以丙酮配置成母液，将母液用水稀释成 5~7 个浓度梯度，以清水为对照。在每孔人工饲料表面加入 100 μL 药剂溶液后置于室温下晾干。在 24 孔培养板中每孔接入 1 头 2 龄幼虫。每个浓度处理 48 头。接虫后的培养板用两层黑色棉布覆盖后再盖上培养板盖以防止试虫逃逸，置于 25℃±1℃，相对湿度为 70%~

80%，光周期为 16L：8D 的条件中饲养。每隔 24 h 检查存活情况，以小毛笔轻触虫体不能协调爬行为死亡，对照死亡率控制在 5% 以下。根据预备试验，多杀霉素于接虫后 24 h 计算其 LC₅₀，其它药剂于接虫后 72 h 计算其 LC₅₀。

1.2.2 7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾和粘虫的田间防效评价

试验地点 1：草地贪夜蛾田间试验在贵州省农业科学院内的玉米田进行（26°50′55.57″N，106°66′66.49″E），试验地为黄壤，肥力中等。种植玉米品种为金玉 818（贵州省金农科技有限公司提供），株距 25 cm，行距 50 cm，肥水管理按照农民习惯进行。

施药器械: 背负式电动喷雾器 (型号: 3WBD-48B, 台州市路桥区嘉能植保机械厂公司), 购自当地农资市场。

试验时间及方法: 试验于 2020 年 6 月 18 - 25 日进行, 玉米生育期为苗期。试验设置 7 个处理, 并以清水为对照, 每个处理重复 3 次, 共计 24 个小区, 每个小区的面积为 30 m² (长 × 宽: 5 m × 6 m), 并随机排列。采用二次稀释法将供试杀虫

剂按表 1 的稀释倍数进行稀释, 并按 450 kg/hm² 药液量进行茎叶均匀喷雾。施药时间为 6 月 18 日早上 10 点, 施药时天气为阴天, 气温为 25℃, 风力小于 3 级。于药前 1 d 和药后 3 d 和 7 d, 采用五点取样法调查, 每个点选择 10 株, 共计 50 株有虫的玉米植株进行标记, 调查每株玉米上的幼虫数, 并按下列公式分别计算虫口减退率和防效:

$$\text{虫口减退率}(\%) = \frac{\text{处理前虫口基数} - \text{处理后虫口数}}{\text{处理前虫口基数}} \times 100$$

$$\text{防效}(\%) = \frac{\text{处理区虫口减退率} - \text{对照区虫口减退率}}{100 - \text{减退率}} \times 100$$

试验地点 2: 由于试验地点 1 的粘虫虫口密度较低, 达不到试验要求, 故其田间试验在毕节市黔西县观音洞镇黄泥村 (27°01'39.72"N, 106°20'2.92"E) 进行。施药时间为 2020 年 6 月 20 日, 试验地玉米品种为盛农 3 号 (贵州毕节盛农科技有限责任公司提供), 调查方法同上。

1.3 数据分析

采用生物测定中的 Prohibit 分析计算致死中浓度 (LC₅₀) 及 95% 置信区间, 斜率及标准误; 采用单因素分析法分析不同杀虫剂防效的差异显著性, 并采用 Duncan 新复极差法进行多重比较; 采用 *T*-test 分析同种杀虫剂处理下两种害虫防效的差异显著性, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。所有统计过程在 DPS17.0 和 Excel 中完成。

2 结果与分析

2.1 7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾与粘虫的室内毒力比较

药后 24 h, 多杀霉素对草地贪夜蛾和粘虫均具有较好的抑制作用, 其中多杀霉素对粘虫的毒力较高, LC₅₀ 为 0.0006 μg/mL, 而对草地贪夜蛾的毒力相对较低, LC₅₀ 分别为 0.0080 μg/mL。药后 72 h, 甘蓝夜蛾 NPV 和短稳杆菌对粘虫的毒力高于草地贪夜蛾, 其中甘蓝夜蛾 NPV 对粘虫的 LC₅₀ 为 5.71 × 10³ PIB/mL, 对草地贪夜蛾的 LC₅₀ 为 8.75 × 10⁴ PIB/mL; 短稳杆菌对粘虫的 LC₅₀ 为 4.63 × 10⁷ cfu/mL, 对草地贪夜蛾的 LC₅₀ 为 3.00 × 10⁸ cfu/mL; 金龟子绿僵菌对两种害虫的毒力则刚好相反, 即金龟子绿僵菌对草地贪夜蛾的毒力高于粘虫, 其对两种害虫的 LC₅₀ 分别为 1.10 × 10⁶ cfu/mL 和 1.40 × 10⁸ cfu/mL; Bt-1 和 Bt-2 对两种

害虫的毒力相当, 其 LC₅₀ 在 167.80 ~ 195.97 IU/mL 之间, 而 Bt-3 对草地贪夜蛾的毒力高于粘虫, 其 LC₅₀ 分别为 40.46 IU/mL 和 158.57 IU/mL (表 2)。

2.2 7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾与粘虫的田间防效

药后 3 d, 7 种生物杀虫剂对田间草地贪夜蛾的防效在 44.79% ~ 97.22% 之间, 其中 20 亿 PIB/mL 甘蓝夜蛾 NPV SC、100 亿 cfu/mL 短稳杆菌 SC、20% 多杀霉素 SC 和 3 种 32 000 IU/mg Bt WP 的防效均大于 75% 且无显著差异, 但都显著高于 80 亿 cfu/mL 金龟子绿僵菌 OF 的防效 (44.79%)。7 种杀虫剂对田间粘虫的防效在 1.15% ~ 91.85% 之间, 其中 20% 多杀霉素 SC 的防效最高 (91.85%), 其次为 20 亿 PIB/mL 甘蓝夜蛾 NPV SC (80.58%), 而 100 亿 cfu/mL 短稳杆菌 SC 的防效最低 (1.15%)。T-test 分析表明, 同种药剂处理 100 亿 cfu/mL 短稳杆菌 SC、20% 多杀霉素 SC、32 000 IU/mg Bt-1 WP 和 32 000 IU/mg Bt-2 WP 对草地贪夜蛾的防效分别显著高于对粘虫的防效 (表 3)。

药后 7 d, 7 种生物杀虫剂对田间草地贪夜蛾的防效在 16.55% ~ 98.11% 之间, 其中多杀霉素防效最高 (98.11%), 其次为 20 亿 PIB/mL 甘蓝夜蛾 NPV SC (88.63%), 而 80 亿 cfu/mL 金龟子绿僵菌 OF 防效最低 (16.55%)。7 种杀虫剂对田间粘虫的防效在 46.24% ~ 96.74% 之间, 以 20% 多杀霉素 SC 的防效最高 (96.74%), 20 亿 PIB/mL 甘蓝夜蛾 NPV SC 次之 (93.53%), 100 亿 cfu/mL 短稳杆菌 SC 的防效最低 (46.24%)。T-test 分析表明, 同种药剂处理下, 7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾和粘虫的防效差异不显著 (表 3)。

表 2 7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾与粘虫 2 龄幼虫的室内毒力测定

Table 2 Laboratory toxicity of seven bio-insecticides against the second instar larvae of *Spodoptera frugiperda* and *Mythimna separata*

药剂 Insecticides	供试昆虫 Insects	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	致死中浓度 LC ₅₀	95% 置信限 95% Confidence interval
20 亿 PIB/mL 甘蓝夜蛾 NPV SC	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	0. 62 ± 0. 10	8. 75 × 10 ⁴ PIB/mL	3. 95 × 10 ⁴ ~ 2. 09 × 10 ⁵
MbNPV 2 × 10 ¹⁰ PIB/mL SC	粘虫 <i>M. separata</i>	0. 34 ± 0. 06	5. 71 × 10 ³ PIB/mL	2. 33 × 10 ³ ~ 3. 31 × 10 ⁴
80 亿 cfu/mL 金龟子绿僵菌 OF	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	0. 38 ± 0. 07	1. 10 × 10 ⁶ cfu/mL	9. 77 × 10 ⁴ ~ 5. 11 × 10 ⁶
8 × 10 ¹⁰ cfu/mL OF	粘虫 <i>M. separata</i>	0. 98 ± 0. 12	1. 40 × 10 ⁸ cfu/mL	6. 64 × 10 ⁷ ~ 4. 33 × 10 ⁸
100 亿 cfu/mL 短稳杆菌 SC	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	0. 38 ± 0. 07	3. 00 × 10 ⁸ cfu/mL	9. 02 × 10 ⁷ ~ 4. 94 × 10 ⁹
1 × 10 ¹¹ cfu/mL SC	粘虫 <i>M. separata</i>	0. 30 ± 0. 08	4. 63 × 10 ⁷ cfu/mL	7. 66 × 10 ⁶ ~ 7. 54 × 10 ⁸
20% 多杀霉素 SC	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	2. 53 ± 0. 40	0. 008 μg/mL	0. 0065 ~ 0. 0105
Spinosad 20% SC	粘虫 <i>M. separata</i>	0. 69 ± 0. 24	0. 0006 μg/mL	0. 0000 ~ 0. 0017
32 000 IU/mg 苏云金杆菌 WP (Bt-1)	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	0. 92 ± 0. 20	167. 80 IU/mL	101. 01 ~ 332. 46
32 000 IU/mg WP (Bt-1)	粘虫 <i>M. separata</i>	0. 91 ± 0. 17	195. 97 IU/mL	125. 15 ~ 355. 75
32 000 IU/mg 苏云金杆菌 WP (Bt-2)	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	0. 66 ± 0. 23	177. 42 IU/mL	65. 68 ~ 581. 62
32 000 IU/mg WP (Bt-2)	粘虫 <i>M. separata</i>	1. 42 ± 0. 36	199. 21 IU/mL	135. 38 ~ 391. 21
32 000 IU/mg 苏云金杆菌 WP (Bt-3)	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	0. 65 ± 0. 16	40. 46 IU/mL	10. 36 ~ 82. 39
32 000 IU/mg WP (Bt-3)	粘虫 <i>M. separata</i>	0. 63 ± 0. 16	158. 57 IU/mL	82. 91 ~ 398. 22

表 3 7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾与粘虫的田间防效

Table 3 Control efficacy of seven bio-insecticides against *Spodoptera frugiperda* and *Mythimna separata* in the field

供试药剂 Insecticides	供试昆虫 Insects	药前虫口 基数 (头) Population density	药后 3 d After 3 days		药后 7 d After 7 days	
			减退率 (%) Reduce rate	防效 (%) Control efficacy	减退率 (%) Reduce rate	防效 (%) Control efficacy
20 亿 PIB/mL 甘蓝夜蛾 NPV SC	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	93. 67	82. 50	85. 57 ± 1. 80 A	91. 71	88. 63 ± 3. 06 AB
MbNPV 2 × 10 ¹⁰ PIB/mL SC	粘虫 <i>M. seprata</i>	41. 67	85. 34	80. 58 ± 4. 63 ab	94. 10	93. 53 ± 1. 05 a

续表 3 Continued table 3

供试药剂 Insecticides	供试昆虫 Insects	药前虫口 基数 (头) Population density	药后 3 d After 3 days		药后 7 d After 7 days	
			减退率 (%) Reduce rate	防效 (%) Control efficacy	减退率 (%) Reduce rate	防效 (%) Control efficacy
80 亿 cfu/mL 金龟子 绿僵菌 OF <i>Metarhizium anisopliae</i> 8 × 10 ¹⁰ cfu/mL OF	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	99.67	33.03	44.79 ± 14.29 B	39.14	16.55 ± 22.24 C
	粘虫 <i>M. separata</i>	40.33	50.73	34.73 ± 20.07 cd	64.95	61.56 ± 9.68 ab
100 亿 cfu/mL 短稳杆菌 SC <i>Empedobacter brevis</i> 10 × 10 ¹⁰ cfu/mL SC	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	123.00	69.79	75.09 ± 2.31 A*	74.02	64.37 ± 11.70 B
	粘虫 <i>M. separata</i>	40.33	25.37	1.15 ± 12.02 d	50.99	46.24 ± 9.69 b
20% 多杀霉素 SC Spinosad 20% SC	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	135.67	96.63	97.22 ± 1.67 A*	98.63	98.11 ± 0.75 A
	粘虫 <i>M. separata</i>	55.00	93.84	91.85 ± 0.75 a	97.03	96.74 ± 0.34 a
32 000 IU/mg 苏云金杆菌 WP (Bt-1) <i>Bacillus thuringiensis</i>	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	157.00	86.75	89.08 ± 4.56 A*	91.59	88.47 ± 1.11 AB
	粘虫 <i>M. separata</i>	56.67	62.28	50.04 ± 8.17 bc	69.39	66.43 ± 13.00 ab
32 000 IU/mg 苏云金杆菌 WP (Bt-2) <i>Bacillus thuringiensis</i>	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	139.33	77.70	81.62 ± 6.41 A*	72.30	62.01 ± 7.22 B
	粘虫 <i>M. separata</i>	47.33	58.14	44.55 ± 9.43 bc	81.82	80.05 ± 3.58 ab
32 000 IU/mg 苏云金杆菌 WP (Bt-3) <i>Bacillus thuringiensis</i>	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	185.33	81.95	85.12 ± 6.48 A	84.83	79.20 ± 4.79 AB
	粘虫 <i>M. separata</i>	37.67	54.07	39.15 ± 19.38 cd	73.54	70.97 ± 20.13 ab
对照 Control	草地贪夜蛾 <i>S. frugiperda</i>	148.00	- 21.30	-	27.07	-
	粘虫 <i>M. separata</i>	54.67	24.51	-	8.83	-

注: 表中数据为平均数 ± 标准误。同列数据后不同大写字母表示各杀虫剂对草地贪夜蛾的防效差异显著 ($P < 0.05$), 小写字母表示各杀虫剂对粘虫的防效差异显著 ($P < 0.05$)。* 表示同种杀虫剂对两种害虫的防效经 T -test 检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Note: Data were mean ± SE. Different capital and lower letters in the same column indicated significant difference in control efficacy for *S. frugiperda* and *M. separata*, respectively, at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test. * indicated significant difference at $P < 0.05$ level by T -test analysis.

3 结论与讨论

由于我国的草地贪夜蛾与粘虫对部分化学杀虫剂已产生不同程度的抗性 (董杰等, 2014; Zhao *et al.*, 2018; 苏湘宁等, 2020), 因此生物杀虫剂将在延缓抗性和减少化学杀虫剂用量方面发挥重要作用 (赵胜园等, 2019)。同时这两种害虫在田间混合发生且为害部位相同, 因此田间防控时往往需要同时考虑对两种害虫的防控效果。为此, 本研究评价了 7 种生物杀虫剂对草地贪夜蛾和粘虫的室内毒力和田间防控效果。室内毒力测定发现, 甘蓝夜蛾 NPV、多杀霉素和短稳杆菌对粘虫的 LC_{50} 低于草地贪夜蛾的 LC_{50} , 说明这两种杀虫剂对粘虫的毒力高于草地贪夜蛾; 然而, 金龟子绿僵菌对草地贪夜蛾的 LC_{50} 低于粘虫的 LC_{50} , 说明该杀虫剂对草地贪夜蛾毒力高于粘虫; 3 种 Bt 对两种害虫的毒力存在差异, 其中 Bt-1 和 Bt-2 对草地贪夜蛾和粘虫的 LC_{50} 十分接近, 而 Bt-3 对草地贪夜蛾的 LC_{50} 则低于粘虫的 LC_{50} , 说明 Bt-1 和 Bt-2 对两种害虫毒力相当, 而 Bt-3 对草地贪夜蛾的毒力高于粘虫, 这可能与不同 Bt 菌株产生的杀虫蛋白种类、数量、表达量有关 (刘华梅等, 2019)。

田间试验结果表明, 多杀霉素对草地贪夜蛾和粘虫药后 3 d 和 7 d 的防效均大于 90%, 而赵胜园等 (2019) 的研究发现药后 3 d 和 7 d 的防效均在 75% 以下, 导致差异的原因可能与杀虫剂的生产厂家、使用剂量、试验时虫龄的大小、试验地点及气候等因素有关。甘蓝夜蛾 NPV 是近年来登记的一种广谱病毒杀虫剂, 生产上主要用于防治鳞翅目害虫 (郑静君等, 2016), 本研究结果表明, 药后 3 d 甘蓝夜蛾 NPV 对草地贪夜蛾和粘虫的防效分别为 85.57% 和 80.58%, 药后 7 d 甘蓝夜蛾 NPV 对草地贪夜蛾和粘虫的防效分别为 88.63% 和 93.53%, 与已有的研究结果基本一致 (占军平等, 2020; 张海波等, 2020), 表明该杀虫剂对鳞翅目特别是夜蛾科幼虫具有较强的杀虫活性。因此, 当田间两种害虫混合发生且虫龄较大时, 可选择多杀霉素和甘蓝夜蛾 NPV 进行应急防治。Bt 作为一种革兰氏阳性昆虫病原菌, 因对哺乳动物等非靶标生物安全, 已被美国 and 巴西等国广泛用于防治草地贪夜蛾等害虫 (Sanahuja *et al.*, 2011)。本研究中, 3 种 Bt 对草地贪夜蛾药

后 7 d 防效在 62.01% ~ 88.47% 之间, 对粘虫的防效则在 66.43% ~ 80.05% 之间, 表明其对两种害虫均有较好的防效, 同时这一结果与已报道的结果基本一致 (赵胜园等, 2019; 刘华梅等, 2019)。金龟子绿僵菌是最近登记防治草地贪夜蛾的微生物杀虫剂。本研究发现药后 7 d 金龟子绿僵菌对草地贪夜蛾的防效为 16.55%, 而对粘虫的防效为 61.56%, 前者低于林璐璐等 (2020) 的结果, 而后者则与已有的报道相符 (龙育堂等, 2019)。短稳杆菌此前主要用于防治十字花科蔬菜和水稻上的鳞翅目幼虫 (孙剑华等, 2018; 郭梅燕等, 2020), 本研究发现该杀虫剂药后 7 d 对两种害虫的防效分别为 64.37% 和 46.24%, 表明其防效相对较低, 可作为低密度种群的预防性控制药剂。

总体而言, 多杀霉素和甘蓝夜蛾 NPV 对草地贪夜蛾和粘虫的速效性较好, 可以作为同时防治两种害虫的应急药剂, 而 3 种 Bt 和短稳杆菌对两种害虫的防效相对较低, 建议在两种害虫种群密度较低且虫龄较小时使用。

参考文献 (References)

- Bateman ML, Day RK, Luke B, *et al.* Assessment of potential biopesticide options for managing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Africa [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2018, 142 (9): 805–819.
- Chen H, Yang XL, Chen AD, *et al.* Immigration timing and origin of the first fall armyworms (*Spodoptera frugiperda*) detected in China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (6): 1270–1278. [陈辉, 杨学礼, 谌爱东, 等. 我国最早发现为害草地贪夜蛾的入侵时间及其虫源分布 [J]. *应用昆虫学报*, 2020, 57 (6): 1270–1278]
- Dong J, Liu XX, Yue J, *et al.* Resistance of *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) to five different types of insecticides in Beijing [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2014, 16 (6): 687–692. [董杰, 刘小侠, 岳瑾, 等. 北京地区粘虫对 5 种杀虫剂的抗药性 [J]. *农药学报*, 2014, 16 (6): 687–692]
- Guan F, Zhang JP, Shen HW, *et al.* Whole-genome sequencing to detect mutations associated with resistance to insecticides and Bt proteins in *Spodoptera frugiperda* [J]. *Insect Science*, [EB/OL] [2020-6-18]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1744-7917.12838>.
- Guo JF, Jing DP, Tai HK, *et al.* Morphological characteristics of *Spodoptera frugiperda* in comparison with three other lepidopteran species with similar injury characteristics and morphology in cornfields [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (2): 7–12. [郭井菲, 静大鹏, 太红坤, 等. 草地贪夜蛾形态特征及与 3 种玉米

- 田为害特征和形态相近鳞翅目昆虫的比较 [J]. 植物保护, 2019, 45 (2): 7–12]
- Guo MY, Chen YG, Wang XF, *et al.* Application of biopesticides on *Helicoverpa assulta* and *Helicoverpa armigera* in tobacco fields [J]. *Tobacco Science and Technology*, 2020, 53 (7): 19–25. [郭梅燕, 陈玉国, 王雪芬, 等. 生物农药在烟田烟青虫/棉铃虫防治中的应用效果 [J]. 烟草科技, 2020, 53 (7): 19–25]
- Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, *et al.* Novel features, occurrence trends and economic impact of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) in China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (6): 1444–1449. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 等. 我国粘虫发生危害新特点及趋势分析 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (6): 1444–1449]
- Jiang YY, Liu J, Xie MC, *et al.* Observation on the spread and damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019 [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (6): 10–19. [姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测 [J]. 植物保护, 2019, 45 (6): 10–19]
- Jiang YY, Liu J, Wu QL, *et al.* Investigation on winter breeding and overwintering areas of *Spodoptera frugiperda* in China [J]. *Plant Protection*, 2021, 47 (1): 212–217. [姜玉英, 刘杰, 吴秋琳, 等. 我国草地贪夜蛾冬繁区和越冬区调查 [J]. 植物保护, 2021, 47 (1): 212–217]
- Jiang YY, Li CG, Zeng J, *et al.* Population dynamics of the armyworm in China: A review of the past 60 years' research [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (4): 890–898. [姜玉英, 李春广, 曾娟, 等. 我国粘虫发生概况: 60 年回顾 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (4): 890–898]
- Jiang YY, Liu WC, Huang C, *et al.* Forecast on occurrence of major crop disease and insect pests in China in 2019 [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (2): 36–39. [姜玉英, 刘万才, 黄冲, 等. 2019 年全国农作物重大病虫害发生趋势预报 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (2): 36–39]
- Jiang YY, Liu WC, Huang C, *et al.* Forecast on occurrence of major crop disease and insect pests in China in 2020 [J]. *China Plant Protection*, 2020, 40 (2): 37–40. [姜玉英, 刘万才, 黄冲, 等. 2020 年全国农作物重大病虫害发生趋势预报 [J]. 中国植保导刊, 2020, 40 (2): 37–40]
- Li Y, Gong LF, Wang HH, *et al.* Genotype and mutation frequency of *ace-1*, the target gene of organophosphorus and carbamate insecticides, in field populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2020, 63 (5): 574–581. [李妍, 龚丽凤, 王欢欢, 等. 我国草地贪夜蛾田间种群有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂靶标基因 *ace-1* 的基因型和突变频率 [J]. 昆虫学报, 2020, 63 (5): 574–581]
- Lin SK, Liu KH, Wang RF, *et al.* Indoor toxicity of azadirachtin to *Spodoptera frugiperda* and its control effect in field [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2020, 41 (1): 22–27. [林素坤, 刘凯鸿, 王瑞飞, 等. 印楝素对草地贪夜蛾的毒力测定及田间防效 [J]. 华南农业大学学报, 2020, 41 (1): 22–27]
- Lin LL, Zhong YZ, Zhang GL, *et al.* Control effects of six insecticides to *Spodoptera frugiperda* in Anhui province [J]. *Agrochemicals*, 2020, 59 (7): 528–531, 546. [林璐璐, 钟永志, 张光玲, 等. 6 种药剂对安徽省草地贪夜蛾的防治效果 [J]. 农药, 2020, 59 (7): 528–531, 546]
- Li HB, Dai CG, Zhang CR, *et al.* Cloning of *hsc70* and its expression in response to crowding in the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (5): 825–833. [李鸿波, 戴长庚, 张昌容, 等. 粘虫 *hsc70* 克隆及其密度胁迫下的表达模式 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (5): 825–833]
- Liu HM, Hu X, Wang YL, *et al.* Screening for *Bacillus thuringiensis* strains with high toxicity against *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35 (5): 721–728. [刘华梅, 胡斌, 王应龙, 等. 对草地贪夜蛾高毒力的苏云金杆菌菌株筛选 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (5): 721–728]
- Long YT, Dai CG, Hu Y, *et al.* Laboratory toxicity and field control efficiency of six bio-pesticides against *Mythimna separata* [J]. *Agrochemicals*, 2019, 58 (12): 908–910, 914. [龙育堂, 戴长庚, 胡阳, 等. 6 种生物杀虫剂对黏虫的室内毒力及田间防效 [J]. 农药, 2019, 58 (12): 908–910, 914]
- Qi GJ, Huang DC, Wang L, *et al.* The occurrence characteristic in winter and year-round breeding region of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in Guangdong Province [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (3): 573–582. [齐国君, 黄德超, 王磊, 等. 广东省草地贪夜蛾冬季发生特征及周年繁殖区域研究 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (3): 573–582]
- Qiu LM, Liu QQ, Tian XH, *et al.* Cold hardiness and overwintering ability of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* populations in Fujian Province [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (6): 1299–1310. [邱良妙, 刘其全, 田新湖, 等. 福建省草地贪夜蛾种群的耐寒性与越冬能力研究 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (6): 1299–1310]
- Sanahuja G, Banakar R, Twyman RM, *et al.* *Bacillus thuringiensis*: A century of research, development and commercial applications [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2011, 9 (3): 283–300.
- Sharma S, Bhandari GS, Neupane S, *et al.* Bio-rational management of armyworm (*Mythimna separata*) (Lepidoptera: Noctuidae) in Chitwan condition of Nepal [J]. *Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science*, 2018, 35 (1): 143–150.
- Su XN, Liao ZH, Li CY, *et al.* Resistance of *Spodoptera frugiperda* in Guangdong against two commonly used pesticides and the effects of auxiliaries and synergist on toxicity to pesticides [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2020, 51 (6): 1274–1281. [苏湘宁, 廖章轩, 李传瑛, 等. 广东草地贪夜蛾对 2 种常用农药的抗药性及助剂和增效剂对农药毒力的影响 [J]. 南方农业学报, 2020, 51 (6): 1274–1281]
- Sun JH, Gao XW, Lu J, *et al.* Review of field efficacy trials of biological pesticides *Empedobacter brevis* against rice-stem borer [J]. *Biological Disaster Science*, 2018, 41 (2): 93–96. [孙剑

- 华, 高小文, 陆骏, 等. 生物农药短稳杆菌防治水稻二化螟田间药效试验 [J]. 生物灾害科学, 2018, 41 (2): 93–96]
- Wang L, Lu YY. Spreading trend predication of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in year of 2020 in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (5): 1139–1145. [王磊, 陆永跃. 2020 年我国草地贪夜蛾蔓延发生趋势及预测 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (5): 1139–1145]
- Wu YD, Shen HW, Zhang Z, et al. Current status of insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda* and counter measures to prevent its development [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (4): 599–604. [吴益东, 沈慧雯, 张正, 等. 草地贪夜蛾抗药性概况及其治理对策 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (4): 599–604]
- Zhang HB, Wang FL, Chen YM, et al. Study on the control effect of nucleopolyhedrovirus on *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (2): 254–260. [张海波, 王凤良, 陈永明, 等. 核型多角体病毒对玉米草地贪夜蛾的控制作用研究 [J]. 植物保护, 2020, 46 (2): 254–260]
- Zheng JJ, Huang LS, Li GJ, et al. Primay study on control efficacy of *Mamestra brassicae* nucleopolyhedrovirus against *Cnaphalocrocis medinalis* [J]. *China Plant Protection*, 2016, 36 (11): 39–42. [郑静君, 黄立胜, 李国君, 等. 甘蓝夜蛾核型多角体病毒对水稻纵卷叶螟防治作用初探 [J]. 中国植保导刊, 2016, 36 (11): 39–42]
- Zhan JP, Zhang AM, Deng FK, et al. Application and promotion of *Mamestra brassicae* nucleopolyhedrovirus suspension for control of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (6): 872–873. [占军平, 张安明, 邓方坤, 等. 甘蓝夜蛾核型多角体病毒悬浮剂防治草地贪夜蛾的应用与推广 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36 (6): 872–873]
- Zhang L, Liu B, Zheng WG, et al. Genetic structure and insecticide resistance characteristics of fall armyworm populations invading China [J]. *Molecular Ecological Resources*, 2020, 20 (6): 1682–1696.
- Zhao SY, Yang XM, Yang XL, et al. Field efficacy of eight insecticides on fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 74–78. [赵胜园, 杨现明, 杨学礼, 等. 8 种农药对草地贪夜蛾的田间防治效果 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 74–78]
- Zhao YY, Su L, Li S, et al. Insecticide resistance of the field populations of oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) in Shaanxi and Shanxi Provinces of China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17 (7): 1556–1562.
- Zhao YX, Huang JM, Ni H, et al. Susceptibility of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smmith), to eight insecticides in China, with special reference to lambda-cyhalothrin [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2020, 168: 104623.