

美国白蛾高毒 Bt 菌株复配增效试验

刘云鹏¹, 张啸天², 解春霞¹, 朱虹²

(1. 江苏省林业科学研究院, 南京 211153; 2. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要: 苏云金芽孢杆菌是一种重要的生物杀虫剂, 有着低毒、无公害、环境友好等优点, 在防治美国白蛾中取得了较好成效。但单一使用时也存在着对美国白蛾幼虫致死效率不高及致死速率较慢的问题。首先利用前期筛选的美国白蛾高毒苏云金芽孢杆菌 CF1262 菌株与常用生物制剂(灭幼脲 III 号、阿维菌素、苦参碱)进行相容性测定试验, 筛选出与苏云金芽孢杆菌相容性好的生物杀虫剂灭幼脲 III 号和阿维菌素; 再用筛选出的生物杀虫剂进行不同浓度的复配增效试验, 测试室内联合毒力, 并通过共毒系数的计算优选出表现增效作用的组合。综合复配剂对美国白蛾 4 龄幼虫的联合毒力及共毒系数的整体情况来看, 1.8%阿维菌素乳油、25%灭幼脲 III 号悬浮剂与苏云金芽孢杆菌 CF1262 复配剂均对美国白蛾的生物防治显示出了很好的增效作用。其中, 苏云金芽孢杆菌 CF1262 与 1.8%阿维菌素乳油体积比 1:1 混合后增效作用尤为明显, 共毒系数达到 179.88。试验结果为美国白蛾的生物防治提供更多值得参考的方法和选择。

关键词: 美国白蛾; 苏云金杆菌; 复配增效; 毒力

中图分类号: S476.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2019)05-0870-06

Synergistic test of Bt strain with high virulence of *Hyphantria cunea*

LIU Yunpeng¹, ZHANG Xiaotian², XIE Chunxia¹, ZHU Hong²

(1. Forestry Academy of Jiangsu Province, Nanjing 211153;

2. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: *Bacillus thuringiensis* is an important biological insecticide. It has the advantages of low toxicity, no pollution and environment friendliness. It has exhibited high efficiency in control of *Hyphantria cunea*. However, it also has the shortage of relatively low lethal efficiency and rate against the larvae of *H. cunea*. Firstly, the compatibility test between CF1262 strain of *B. thuringiensis* that have selected for *H. cunea* control and commonly used biological control agents (*chlorbenzuron* III, *avermectin* and *matrine*) was carried out. The *chlorbenzuron* III and *avermectin* exhibited good compatibility with *B. thuringiensis*. Secondly, the screened two biological pesticides were used to carry out the synergistic test under different concentrations, and the combined virulence was tested in laboratory. the best synergistic combination was deduced by calculating the co-toxicity coefficient. The results showed that the combination of 1.8% *avermectin* EC, or 25% *chlorbenzuron* III suspension with *B. thuringiensis* CF1262 had good synergistic effect on the biological control of *H. cunea*. Among them, the synergistic effect of *B. thuringiensis* CF1262 and 1.8% *avermectin* emulsifiable concentrate with volume ratio of 1:1 was particularly obvious, the co-toxicity coefficient reached 179.88. These results will provide more valuable methods and choices for the biological control of *H. cunea*.

Key words: *Hyphantria cunea*; *Bacillus thuringiensis*; complex synergism; toxicity

美国白蛾作为世界性的检疫害虫, 具有食性杂、食量大、繁殖力强的特点, 一旦成灾将导致大面积树木树叶被吃光, 影响造林绿化成果, 破坏生态安全, 影响林农增收干扰城镇居民正常生活秩序^[1-3]。

具有明显的趋光性、趋味性, 发生地点与人们的生产、生活关系密切, 所以在防治时药剂品种需要严格控制, 最大限度的减小防治对环境和农林产品的污染, 逐步实现美国白蛾的无公害化控制^[4-6]。苏云

收稿日期: 2019-02-25

基金项目: 江苏省科技厅“重大检疫性害虫美国白蛾生物防控技术与示范项目”(BE2016393)资助。

作者简介: 刘云鹏, 副研究员。E-mail: lypsq2008@163.com

金杆菌因其低毒高效且对人畜无害、对环境污染小而逐渐成为世界农林害虫防治的首选,但又都存在防治成本高、易受环境因素影响、杀虫速度较慢的弊端^[7-8]。现阶段对美国白蛾的综合防治主要依靠飞机以及地面人工喷施灭幼脲等生物杀虫剂为主。而使用单一的生物杀虫剂进行生物防治,在防治过程中此类药剂存在着对美国白蛾幼虫致死效率不高及致死速率较慢的不足,出现美国白蛾成灾严重的时期,无法高效、快速的杀死美国白蛾,很容易导致其二次成灾造成损失。有研究表明生物杀虫剂合理复配应用,是解决单一生物杀虫剂防效不稳定、增加毒力的有效途径之一^[9-11]。所以通过苏云金杆菌与其他生物杀虫剂的混用越来越受到研究者的青睐,这也符合未来农药的发展要求。

目前虽然有关于苏云金杆菌复配防治美国白蛾的报道^[12-14],但尚未发现关于苏云金杆菌与其他生物杀虫剂对美国白蛾最佳复配比例及增效作用的研究。故本文拟通过对苏云金芽孢杆菌与生物杀虫剂的复配相容性及最佳复配比例下增效作用的研究,为苏云金芽孢杆菌与其他生物杀虫剂复配防治美国白蛾提供基础数据及方法。本研究在探寻对美国白蛾高效防治方法,避免单一药剂对环境影响的同时,对农林业无公害生产以及农林增收均有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 供试苏云金杆菌菌株

苏云金芽孢杆菌 CF1262 菌株为江苏省林科院前期毒力生测优选菌种。

1.2 供试药剂

试验选取的试验药剂及来源分别为:灭幼脲Ⅲ号(25%悬浮剂,成都化夏化学试剂有限公司)、阿维菌素(1.8%乳油,北京中保绿农业科技集团有限公司)、苦参碱(1.3%水剂,沧州正兴生物杀虫剂有限公司)。

1.3 供试昆虫

试验昆虫为野外采集美国白蛾虫卵及初孵幼虫带回养虫室在温度(25±1)℃、湿度70%~80%,

光周期 16 L : 8 D 环境内使用新鲜桑叶饲喂^[15-16]。每日更换叶片并清理排泄物,至其蜕皮成为 4 龄幼虫,供生物测定使用。

1.4 培养基

(1) LB 固体培养基(Luria-Bertani 培养基):胰蛋白胨 10 g,酵母提取物 5 g,NaCl 10 g,琼脂粉 15 g,加水定容至 1 000 mL。

(2) LB 液体培养基(Luria-Bertani 培养基):胰蛋白胨 10 g,酵母提取物 5 g,NaCl 10 g,加水定容至 1 000 mL。

1.5 试验方法

(1) 苏云金芽孢杆菌 CF1262 菌株及三种生物制剂单剂对美国白蛾幼虫毒力测定。苏云金杆菌单剂的配制:将高致病力菌株 Bt1262 接种后的培养皿放进 28 ℃ 的恒温培养箱中培养 48 h,待芽孢和晶体分离后取出。在无菌操作条件下,将已经活化的菌株分别稀释 1000 倍,在显微镜下用血球计数板测定出菌悬液的初始浓度。然后按 1×10^8 cells·mL⁻¹、 1×10^7 cells·mL⁻¹、 1×10^6 cells·mL⁻¹、 1×10^5 cells·mL⁻¹ 和 1×10^4 cells·mL⁻¹ 5 个浓度梯度进行稀释备用。

其他生物杀虫剂单剂毒力测定药液的配制:将上述 3 种生物杀虫剂参考使用说明推荐使用浓度,使用少量丙酮溶解后分别用无菌水稀释 2 000 倍、4 000 倍、8 000 倍、10 000 倍、20 000 倍 5 个浓度梯度,其单位有效成份含量如表 1,以无菌水为对照。

毒力测定:生测采用“浸叶饲喂法”。先将美国白蛾幼虫室内饲养至 4 龄放入生测瓶中饥饿 24 h,每瓶处理 30 头幼虫。将阴干的新鲜桑叶浸入盛有制备菌液的培养皿中浸泡 1 分钟再次捞出阴干。将处理好的叶片放入垫有湿润滤纸的养虫瓶中。以 0.05%TW-80 浸湿晾干的叶片作为对比(每个浓度梯度设置 3 组重复)。放入光照培养箱中,24 h 候更换为新鲜无菌叶片,每隔 24 h 调查一次试虫死亡情况,计算死亡率和校正死亡率,求出该直线方程,最后测出半致死浓度 LC50 大小。

表 1 供试生物杀虫剂生测试验药剂稀释情况

Table 1 Dilution of several biological insecticides in bioassay test

供试药剂 Insecticide	有效成份的含量/mg·L ⁻¹ Active ingredient content				
灭幼脲Ⅲ号 Chlorbenzuron III	0.125	0.062 5	0.031 25	0.025	0.012 5
阿维菌素 Avermectin	0.009	0.004 5	0.002 25	0.001 8	0.000 9
苦参碱 Matrine	0.006 5	0.003 25	0.001 625	0.001 3	0.000 65

$$\text{死亡率} \% = \frac{\text{处理组死虫数}}{\text{总试虫数}} \times 100$$

$$\text{感染死亡率} \% = \frac{\text{处理组感染死虫数}}{\text{总试虫数}} \times 100$$

$$\text{校正死亡率} \% = \frac{(\text{对照组生存率} - \text{处理组生存率})}{\text{对照组生存率}} \times 100$$

(2) Bt 菌株与生物制剂的相容性测定。菌悬液的制备：方法同前述“苏云金杆菌单剂的配制”，并将浓度调整为 $1 \times 10^8 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ， 2°C 冰箱保存备用。

表 2 供试生物杀虫剂相容性试验药剂稀释情况

Table 2 Dilution of several biological insecticides in compatibility test

供试药剂 Insecticide	有效成份的含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Active ingredient content		
	推荐剂量	1/5 推荐剂量	1/10 推荐剂量
灭幼脲 III 号 Chlorbenzuron III	0.166 67	0.033 33	0.016 67
阿维菌素 Avermectin	0.009 00	0.001 80	0.000 90
苦参碱 Matrine	0.008 67	0.001 73	0.000 87

含毒平板制备：将配置好的 LB 固体培养基经高压蒸汽锅灭菌后，待温度降至 45°C 左右尚未凝固时，将培养基和稀释农药按照 19:1 的比例混合摇匀，倒入培养皿中待其凝固，制备含毒平板备用。每组浓度设置三组重复，以加入 1 mL 无菌水的 LB 固体培养基做对照。

菌落生长测定：取配置好的含毒平板及配置好的菌悬液，使用接种针将苏云金芽孢杆菌接种至含毒平板中，每组浓度重复三次，以加无菌水的平板作为空白对照，放入 25°C 的培养箱中培养。待 48 h、72 h、96 h 时使用十字交叉法测量接种菌落直径，使用抑制率计算公式计算各生物杀虫剂对苏云金芽孢杆菌生长的抑制情况。

$$\text{抑制率} (\%) = \frac{\text{对照组菌落直径} - \text{含毒平板菌落直径}}{\text{对照组菌落直径}} \times 100$$

(3) 复配剂对美国白蛾的联合毒力测定。根据上述 4 种生物杀虫剂单剂的 LC50 数值，苏云金芽孢杆菌与其他生物杀虫剂相容性分析试验，选取相容性较好的生物杀虫剂分别与苏云金芽孢杆菌 CF1262 的致死中浓度药液配置混剂，再将两种生物杀虫剂与苏云金杆菌菌悬液均按体积比 9:1、4:1、1:1、1:4、1:9 配置母液，分别用少许丙酮溶解后再分别用无菌水稀释成倍数浓度梯度。采用浸叶法进行室内毒力测定。每个处理设置 3 组重复，每组重复接种 30 头美国白蛾，分别设置 0.05% TW-80 空白对照。最后测出复配剂的 LC50 数值。

(4) 复配剂对美国白蛾的联合毒力及共毒系数。选择孙云沛 (Sun) 和约翰逊 (Johnson) 的共毒系数法，来测定苏云金杆菌和生物杀虫剂复配剂对美国白蛾的增效作用。通过复配剂共毒系数 (co-toxicity efficient, CTC) 的数值判断联合毒力

用。

生物杀虫剂各浓度配制：将上述三种生物杀虫剂按照常规推荐使用浓度，使用少量丙酮溶解后分别用无菌水稀释 5 倍和 10 倍 3 个浓度梯度，其单位有效成份含量如表 2。

效果。并以 CTC 值评判混剂的增效作用，当 CTC 大于 120 时为增效作用，当 CTC 小于 80 为拮抗作用，当 CTC 为 80-120 时为相加作用，当 CTC 大于 200 时为显著增效作用^[17]。

$$\text{毒力指数 (TI)} = \frac{\text{标准剂的 LC}_{50}}{\text{供测剂的 LC}_{50}} \times 100$$

$$\text{实际毒力指数 (ATI)} = \frac{\text{标准剂的 LC}_{50}}{\text{复配剂的 LC}_{50}} \times 100$$

$$\text{理论毒力指数 (TTI)} = \frac{\text{A 的毒力指数} \times \text{A 在复配剂中的含量} (\%)}{\text{B 的毒力指数} \times \text{B 在复配剂中的含量} (\%)}$$

$$\text{共毒系数 (CTC)} = \frac{\text{实际毒力指数}}{\text{理论毒力指数}} \times 100$$

1.6 统计分析方法

本研究所有数据均采用 Excel 和 DPS 数据处理系统进行处理。

2 结果与分析

2.1 苏云金芽孢杆菌 CF1262 菌株及 3 种生物制剂单剂对美国白蛾幼虫毒力测定

将苏云金芽孢杆菌 CF1262 菌株和苦参碱、阿维菌素、灭幼脲 III 号，分别按 1.4 中各自浓度梯度和稀释方式进行配置，对美国白蛾进行致病力测定。结果显示：CF1262 菌株侵染美国白蛾的累积死亡率随时间的变化趋势较为明显，菌株浓度与美国白蛾的累积死亡率呈正相关 (图 1)。在 $1 \times 10^8 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度下，供试菌株对美国白蛾表现出了较高的致病力，第 8 天校正死亡率达 96.67%。与 $1 \times 10^8 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度相比， $1 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度下致死率有下降趋势，第 8 天校正死亡率为 73.33%。在 $1 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度下，菌株的致病力大大降低，第 8 天校正死亡率为 46.67%。而 $1 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度下第 8 天校正死亡率仅 10%。

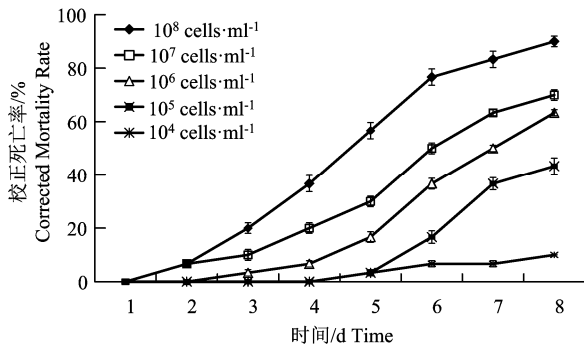


图 1 各浓度下苏云金芽孢杆菌对美国白蛾的校正死亡率
Figure 1 Corrected mortality of *Bacillus thuringiensis* against *Hyphantria cunea* at various concentration

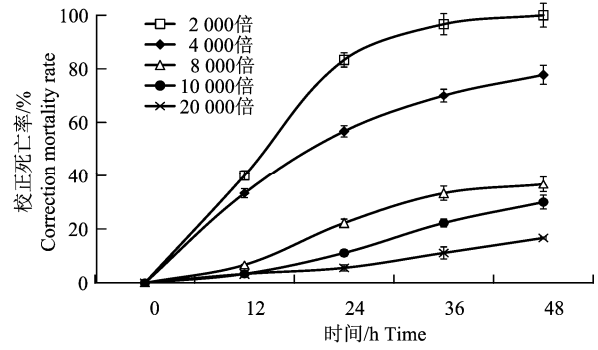


图 2 各浓度下苦参碱对美国白蛾的校正死亡率
Figure 2 Corrected mortality of Matrine against *H.cuneae* at various concentration

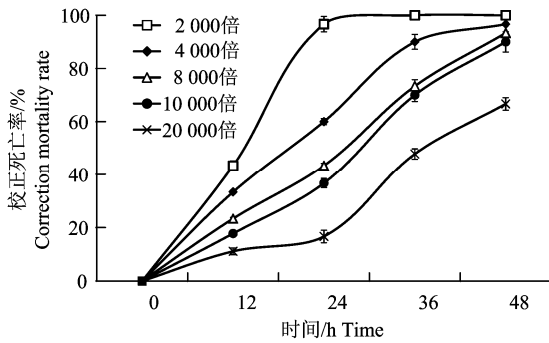


图 3 各浓度下阿维菌素对美国白蛾的校正死亡率
Figure 3 Corrected mortality of Avermectin against *H.cuneae* at various concentration

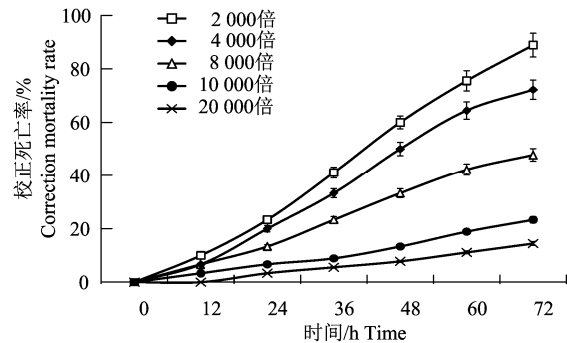


图 4 各浓度下灭幼脲对美国白蛾的校正死亡率
Figure 4 Corrected mortality of Chlorbenzuron against *H.cuneae* at various concentration

表 3 CF1262 菌株和 3 种生物制剂对美国白蛾的致死中浓度数值

Table 2 The median lethal concentration of CF1262 and several biological insecticides against *Hyphantria cunea*

供试药剂 Insecticide	回归方程 Regression equation	相关系数 r Correlation coefficient	95% 置信区间 95% Confidence interval	致死中浓度 LC50 Median lethal concentration
CF1262 <i>B.thuringiensis</i>	$Y = -3.3642 + 0.583X$	0.970 0	$1.212 \times 10^5 \sim 2.938 \times 10^5$	$1.887 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$
阿维菌素 Avermectin	$Y = -3.8784 + 1.3569X$	0.980 2	5.5036 ~ 9.2307	$7.128 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$
苦参碱 Matrine	$Y = -2.5494 + 2.0756X$	0.939 8	13.374 ~ 21.172	$16.833 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$
灭幼脲 III 号 Chlorbenzuron III	$Y = -2.0916 + 0.7347X$	0.982 4	47.936 ~ 111.011	$72.948 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

表 4 不同生物杀虫剂处理后 CF1262 菌株生长情况

Table 4 Growth of CF1262 strain treated with several biological insecticides

供试药剂 Insecticide	处理时间 Test time	CF1262 菌株生长情况 Growth of CF1262 strain							
		推荐剂量		1/5 推荐剂量		1/10 推荐剂量		CK	
		生长情况/mm	生长抑制率/%	生长情况/mm	生长抑制率/%	生长情况/mm	生长抑制率/%	生长情况/mm	生长抑制率/%
苦参碱 Matrine	48 h	4.83±0.81 ^b	53.04±7.83 ^b	6.74±0.19 ^c	34.52±1.85 ^c	8.91±0.34 ^b	13.44±3.32 ^a	10.29±0.70 ^a	
	72 h	7.43±0.19 ^c	57.44±1.06 ^a	12.44±0.24 ^c	28.76±1.38 ^a	15.81±0.28 ^c	9.45±1.59 ^a	17.47±0.43 ^a	
	96 h	10.57±0.44 ^c	47.57±2.20 ^a	15.61±0.36 ^b	22.60±1.77 ^a	17.97±0.32 ^b	10.86±1.59 ^a	20.16±0.27 ^a	
阿维菌素 Avermectin	48 h	9.79±0.03 ^a	4.92±0.24 ^a	10.07±0.10 ^a	2.17±0.92 ^a	9.93±0.39 ^a	3.56±3.84 ^b	10.29±0.70 ^a	
	72 h	17.21±0.15 ^a	1.43±0.89 ^c	17.29±0.18 ^a	0.97±1.05 ^c	17.24±0.13 ^a	1.29±0.72 ^c	17.47±0.43 ^a	
	96 h	19.47±0.45 ^a	3.44±2.22 ^b	18.67±0.81 ^a	7.42±4.03 ^b	18.67±0.58 ^{ab}	7.39±2.88 ^{ab}	20.16±0.27 ^a	
灭幼脲 III 号 Chlorbenzuron III	48 h	10.12±0.37 ^a	1.68±3.59 ^b	8.30±0.50 ^b	19.39±4.83 ^b	9.83±0.44 ^a	4.47±4.31 ^b	10.12±0.37 ^a	
	72 h	15.39±0.25 ^b	11.85±1.46 ^b	16.48±0.20 ^b	5.63±1.15 ^b	16.69±0.32 ^b	4.41±1.81 ^b	17.47±0.43 ^a	
	96 h	18.42±0.65 ^b	8.63±3.24 ^b	19.11±0.09 ^a	5.19±0.45 ^b	19.24±0.48 ^a	4.58±2.37 ^b	20.16±0.27 ^a	

表 5 复配剂对美国白蛾的联合毒力及共毒系数

Table 5 Toxicity and co-toxicity efficient of Compounds against *Hyphantria cunea*

配比 Proportion	回归方程 Regression equation	相关系数 (r) Correlation coefficient	95%置信区间 95% Confidence interval	致死中浓度/mg·L ⁻¹ Median lethal concentration	共毒系数 Co-toxicity efficient
A:B=1:9	Y= -0.446 0+0.598 0X	0.992 8	2.782~9.869	5.573	136.39
A:B=1:4	Y= -0.424 0+0.560 0X	0.987 7	2.712~10.475	5.715	142.45
A:B=1:1	Y= -0.436 0+0.555 0X	0.994 1	2.912~11.121	6.091	179.88
A:B=4:1	Y= -0.584 0+0.578 0X	0.983 1	5.313~17.844	10.219	138.90
A:B=9:1	Y= -0.718 0+0.558 0X	0.990 4	10.430~33.643	19.416	83.44
A:C=1:9	Y= -1.292 0+0.767 0X	0.993 1	31.284~73.748	48.343	117.28
A:C=1:4	Y= -1.255 0+0.813 0X	0.988 2	22.859~52.585	34.970	132.60
AC=1:1	Y= -1.019 0+0.811 0X	0.987 2	5.796~46.868	18.099	165.67
A:C=4:1	Y= -0.964 0+0.809 0X	0.991 1	9.864~23.656	15.550	142.47
A:C=9:1	Y= -0.905 0+0.768 0X	0.986 8	9.346~23.255	15.047	135.45

注: A. 苏云金杆菌 CF1262, B. 阿维菌素, C. 灭幼脲 III 号。

Note: A. *Bacillus thuringiensis* CF1262, B. Avermectin; Chlorbenzuron III.

而对于 3 种生物制剂的毒力测定显示(图 2、3、4): 3 种制剂对美国白蛾 3-4 龄幼虫均能起到良好的致死效果, 其中阿维菌素与苦参碱的高浓度药剂在 48 h 时对美国白蛾的致死率均超过 95%, 而灭幼脲的速效性较差, 前期致死效果相较于苦参碱以及阿维菌素表现不佳, 但是随着时间的增长, 灭幼脲也表现出了较好的效果, 72 h 时 2 000 倍稀释液对美国白蛾幼虫的校正死亡率也达到了 88.88%。稀释浓度对致死效果影响显著, 随着稀释倍数的增加, 3 种生物药剂对美国白蛾的校正死亡率逐渐降低。

根据不同浓度生测试验观察数据计算侵染后美国白蛾的死亡率和感染死亡率, 通过 Probit 回归计算苏云金杆菌 CF1262 菌株和 3 种生物制剂对美国白蛾的 LC50, 如表 3 所示。这一结果为后续复配剂研究和生产中的药剂浓度使用提供了重要参考。

2.2 苏云金芽孢杆菌与其他生物杀虫剂相容性

通过苏云金芽孢杆菌与 3 种常用生物杀虫剂的相容性试验发现(表 4): 苦参碱在常规浓度稀释下对苏云金芽孢杆菌的菌落生长有较大影响, 培养 48 h 后常规致死浓度下菌落生长直径为 4.83 mm, 对照组的菌落生长直径为 10.29 mm, 抑制率达 53.04%, 当培养至 72 h、96 h 后, 其对苏云金杆菌的抑制率分别为 57.44%、47.57%, 均有着较高的抑制率。但随时间增长, 苦参碱对苏云金杆菌的生长抑制率逐渐降低, 这可能与苦参碱发生降解有关。在各浓度下, 阿维菌素对苏云金芽孢杆菌的抑制效果相当, 但均未对苏云金芽孢杆菌的生长产生较大影响, 各浓度处理下 48 h 后对苏云金芽孢的生长抑制率维持在 10%左右, 随时间的延长并未显示出明

显的相关性。灭幼脲 III 号对苏云金杆菌的菌落生长影响也较小, 低浓度各时间下对苏云金芽孢杆菌的抑制率维持在 4%左右, 显示出了较好的相容性。而高浓度及中浓度测试下灭幼脲对苏云金杆菌菌落生长的影响也均未显示明显规律。

从上述生物杀虫剂与苏云金杆菌相容性的试验结果来看, 植物源农药苦参碱对苏云金杆菌的抑制情况较为明显, 而阿维菌素和灭幼脲与苏云金杆菌表现出了较好的相容性。考虑到菌药混用的生物防治方法在现实中的运用, 以及对苏云金杆菌的菌落生长的抑制作用来看, 1.8%阿维菌素乳油和 25%灭幼脲 III 号悬浮剂可作为苏云金芽孢杆菌 CF1262 菌株的复配剂。

2.3 苏云金芽孢杆菌与其他生物杀虫剂的联合毒力及共毒系数

利用苏云金芽孢杆菌 CF1262 与相容性较好的 1.8%阿维菌素乳油和 25%灭幼脲 III 号悬浮剂杀虫剂进行复配增效的联合毒力及共毒系数测试, 结果如表 5 所示。苏云金芽孢杆菌 CF1262 与 25%灭幼脲 III 号悬浮剂的复配剂在各体积配比下, 对美国白蛾的生物防治均有不同程度的增效作用, 其共毒系数均大于 100。其中, 当苏云金杆菌与灭幼脲体积比 1:1 时共毒系数最高, 为 165.67。苏云金芽孢杆菌 CF1262 与阿维菌素也表现出了很好的增效作用, 当苏云金芽孢杆菌 CF1262 与 1.8%阿维菌素乳油体积比 1:1 混合后增效作用尤为明显, 共毒系数达到 179.88。因此综合复配剂对美国白蛾 4 龄幼虫的联合毒力及共毒系数的整体情况来看, 1.8%阿维菌素乳油、25%灭幼脲 III 号悬浮剂与苏云金芽孢杆菌

CF1262 复配剂均对美国白蛾的生物防治显示出了很好的增效作用, 前者联合毒力略好于与后者。

3 讨论与结论

本试验在测定苏云金芽孢杆菌 CF1262 菌株对美国白蛾的毒力的基础上, 通过其与其他常用生物杀虫剂的相容性测定试验, 筛选出与苏云金芽孢杆菌相容性好的生物杀虫剂; 并用 CF1262 菌株分别与筛选出的生物杀虫剂进行了联合毒力测定, 计算优选出表现增效作用的组合, 为生产应用提供了参考。

采用浸叶法测定了苏云金芽孢杆菌 CF1262 菌株对美国白蛾的致病力, 其对美国白蛾 LC₅₀ 为 1.887×10^5 cells·mL⁻¹, 对美国白蛾的致死率及速效性较好。因此, 苏云金芽孢杆菌 CF1262 菌株对美国白蛾具有较高的致病力, 可进一步用于复配制剂的研制。

CF1262 菌株与常用生物杀虫剂相容性试验表明, 苦参碱在常规浓度稀释下对苏云金芽孢杆菌的菌落生长有较大影响, 培养 48 h 后常规致死浓度下, 抑制率达 53.04%。而 1.8% 阿维菌素与 25% 灭幼脲 III 号对苏云金杆菌的菌落生长影响均较小, 显示出了较好的相容性, 可以作为 CF1262 菌株复配制剂。但本试验仅采用了生产中较为常用的三种生物杀虫剂, 对其他生物杀虫剂的相容性未做试验, 仍需进一步扩大备选药剂, 开展相关研究。

联合毒力及增效组合的初步筛选结果显示, 1.8% 阿维菌素乳油、25% 灭幼脲 III 号悬浮剂与苏云金芽孢杆菌 CF1262 复配剂均对美国白蛾的生物防治显示出了很好的增效作用。其中, CF1262 菌株与 25% 灭幼脲 III 号悬浮剂的复配剂在各体积配比下的共毒系数均大于 100, 体积比 1:1 时共毒系数最高达 165.67。这与徐明等 Bt 与灭幼脲混剂对美国白蛾第 2, 3 代幼虫的联合毒力及防治效果提升的结论一致^[18]; 该混剂能够起到增效作用, 主要原因应该是灭幼脲作为一种昆虫激素, 能够抑制昆虫表皮几丁质合成酶和尿核苷辅酶的活性, 从而抑制昆虫几丁质合成, 降低了其体壁的厚度, 使 Bt 杀毒蛋白更易进入昆虫体内, 提高了 Bt 菌株的毒力。这与吴秋雁等^[19], 赵忠伟等^[20]的研究结论基本一致。CF1262 菌株与 1.8% 阿维菌素也表现出了很好的增效作用, 体积比 1:1 混合后增效作用尤为明显, 共毒系数达到 179.88。但两者之间的增效机制尚不十分明确,

需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 于艳华, 徐辉筠, 庄波. 美国白蛾在苏北地区发生规律及防治方法的研究[J]. 安徽林业科技, 2017, 43(2): 14-18.
- [2] 赵铁珍. 美国白蛾入侵对我国的危害分析与损失评估研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [3] 张向欣, 王正军. 外来入侵种美国白蛾的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(1): 215-219.
- [4] 林晓, 邱立新, 曲涛, 等. 美国白蛾发生现状及治理策略探讨[J]. 中国森林病虫, 2016, 35(5): 41-42.
- [5] 张振彦. 世界性检疫害虫: 美国白蛾的发生与防治[J]. 中国林副特产, 2012(1): 62-63.
- [6] LOEWY K J, FLANSBURG A L, GRENIS K, et al. Life History Traits and Rearing Techniques for Fall Webworms (*Hyphantria cunea* Drury) in Colorado[J]. J Lepid Soc, 2016, 67(3): 196-205.
- [7] 王春, 汪琨, 崔志峰. 芽孢杆菌活体微生物农药研究现状及应用[J]. 浙江农业科学, 2013, 54(7): 830-834.
- [8] 张航. 苏云金芽孢杆菌的研究进展[J]. 黑龙江科技信息, 2016(34): 244-245.
- [9] 陈立, 徐汉虹, 李云宇, 等. 农药复配最佳增效配方筛选方法的探讨[J]. 植物保护学报, 2000, 27(4): 349-354.
- [10] 王小艺, 王跃龙, 欧晓明. 农药混剂配比研究的一种实用寻优方法初探[J]. 农药学报, 2005, 7(1): 40-44.
- [11] 杨向黎, 林爱军, 王军. 我国农药混剂的开发与应用现状[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2001, 32(4): 544-548.
- [12] 贺军, 徐明, 汪立三, 等. Bt+灭幼脲混剂对美国白蛾防治效果[J]. 江苏林业科技, 2017, 44(5): 35-37.
- [13] 刘云飞, 陆秀君, 刘廷辉, 等. 苏云金杆菌与高效氯氰菊酯对美国白蛾的协同作用[J]. 农药学报, 2012, 14(1): 51-55.
- [14] 曹琼. 苏云金杆菌杀虫增效作用研究进展[J]. 武汉科技学院学报, 2004, 17(2): 44-48.
- [15] 段彦丽, 陶万强, 曲良建, 等. HcNPV 和 Bt 复配对美国白蛾的致病性[J]. 中国生物防治, 2008, 24(3): 233-238.
- [16] 曹春霞, 周荣华, 陈伟, 等. 阿维菌素与 Bt 复配防治松毛虫试验[J]. 湖北林业科技, 2007, 36(2): 34-35.
- [17] 韩新才, 黄志农, 蔡福民, 等. 几种 Bt 复配杀虫剂对甘蓝小菜蛾的防治效果[J]. 湖北农业科学, 2004, 43(6): 44-46.
- [18] 徐明, 刘冬梅, 徐福元, 等. Bt 与灭幼脲混剂对美国白蛾第 2, 3 代幼虫的联合毒力及防治效果[J]. 林业科学, 2013, 49(12): 171-174.
- [19] 吴秋雁, 仇序佳. 灭幼脲作用机制的研究进展[J]. 昆虫知识, 1991, 28(3): 180-181.
- [20] 赵忠伟, 曹广春, 徐光青, 等. 昆虫生长调节剂和绿僵菌对意大利蝗几丁质酶活力的影响[J]. 植物保护, 2012, 38(2): 83-86.