

橙带蓝尺蛾高毒力菌株与不同化学药剂的协同作用*

陈志云¹ 秦长生² 王 玲¹ 徐金柱²
李东文¹ 莫 羨¹ 赵丹阳² 杨 华²

(1. 中山市林业有害生物防治检疫站, 广东 中山 528403; 2. 广东省林业科学研究院 / 广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东 广州 510520)

摘要 橙带蓝尺蛾 *Milionia basalis* 主要危害罗汉松属和陆均松属植物, 目前针对该虫的防治研究较少。为了寻找适用于该虫的防治方法, 研究采用喷雾法从 8 株昆虫病原菌中筛选出 3 株对其幼虫的高毒力绿僵菌菌株, M09、Mac985 和 Ma3297。室内生物测定结果表明, 用 1×10^8 孢子/mL 的孢子悬液处理橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫 8 d 后, 3 株绿僵菌的校正死亡率均分别为 98.72%、96.15%、88.46%, 致死中时间 LT_{50} 分别为 4.043、4.226、4.868 d, 致死中浓度 LC_{50} 分别为 1.64×10^4 孢子/mL、 1.62×10^6 孢子/mL 和 7.95×10^4 孢子/mL。绿僵菌 M09 与高效氯氟氰菊酯和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐混配后表现出增效作用。

关键词 橙带蓝尺蛾; 绿僵菌; 毒力; 协同作用

中图分类号: S763.42 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2021) 05-0046-06

Synergism of High Virulence Strains and Different Pesticides Against the *Milionia basalis*

CHEN Zhiyun¹ QIN Changsheng² WANG Ling¹ XU Jinzhu²
LI Dongwen¹ MO Xian¹ ZHAO Danyang² YANG Hua²

(1. Forest Pest Management and Quarantine Station of Zhongshan City, Zhongshan, Guangdong 528403, China; 2. Guangdong Academy of Forestry/Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract *Milionia basalis* is an important insect pest of *Podocarpus* and *Dacrydium*, and there are few studies on its control. In order to find a suitable control method for this insect, three strains of M09, Mac985 and Ma3297 with high virulence to its larvae were screened from eight insect pathogens by spray method. The results of laboratory bioassay showed that after 8 days of treatment with 1×10^8 conidia/mL spore suspension, the corrected mortality of the three *Metarhizium* against *M. basalis* 2nd-3rd instar larvae were 98.72%, 96.15%, 88.46%, respectively, and the median lethal time (LT_{50}) were 4.043, 4.226, 4.868 d, respectively. Lethal medium concentration (LC_{50}) was 1.64×10^4 conidia/mL, 1.62×10^6 conidia/mL and 7.95×10^4 conidia/mL, respectively. The mixture of spore suspension of M09 and Lambda cyhalothrin or Emamectin benzoate against the 2nd-3rd instar larvae was more effective than that of *M. anisopliae* alone, displaying clearly synergetic activity.

Key words *Milionia basalis*; *Metarhizium* spp.; virulence; synergy

* 基金项目: 中山市技术服务项目 (ZSFJ2020009)。

第一作者: 陈志云 (1979—), 男, 高级工程师, 主要从事林业有害生物防控研究, E-mail: chenzyun1979@163.com。

通信作者: 杨华 (1980—), 女, 工程师, 主要从事林业有害生物防控研究, E-mail: yanghua@sinogaf.cn。

橙带蓝尺蛾 *Milionia basalis* (鳞翅目 Lepidoptera; 尺蛾科 Geometridae), 主要危害罗汉松属和陆均松属植物, 在广西有该虫对竹柏 *Podocarpus nagi* 造成危害的报道^[1]。该虫以幼虫危害叶片, 大爆发时可将整株植株全部吃光, 严重影响植株生长及品质。同时成虫具有一定的迁飞能力; 幼虫、卵、蛹等亦可随植株转移进行远距离传播。该虫在我国广西省博白^[1]、浙江省杭州^[2]、广东省深圳^[3]、阳春、肇庆^[4]、江西省大余县^[5]、海南省及台湾地区均有发生。

昆虫病原真菌对多种农林业害虫具有高毒力, 对环境友好。多年来, 作为一种重要的害虫防治措施受到广泛研究。因侵染过程涉及多种因素作用, 寄主一般难于产生抗药性, 此外, 病原真菌还能在土壤中大量宿存, 不但可以寄生昆虫, 而且能够在生态系统中寄主昆虫缺乏的情况下在不同环境下营腐生生活, 在适宜条件下能随虫口的增加而大量繁殖, 与害虫的发生保持较好的一致性, 能起到对害虫持续控制的作用。但是也有一些不可避免的缺点, 例如防治效果较为缓慢; 控制有害生物的范围较窄; 易受到环境因素的制约和干扰等。

将化学杀虫剂和生物农药的联合应用可以有效避免或缓解化学杀虫剂和生物农药的防治弊端^[6-9]。但目前关于橙带蓝尺蛾生物防治的相关报道较少, 因此本文以 8 株具有较高毒力的昆虫病原真菌(7 株绿僵菌和 1 株白僵菌)为研究对象, 分别测定其对橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫的室内毒力。并针对已筛选出的高毒力菌株, 探究其与 4 种高效低毒

的化学药剂混用对橙带蓝尺蛾的协同致死作用, 为协调橙带蓝尺蛾的化学防治与生物防治提供依据和指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试昆虫 橙带蓝尺蛾饲养参考 Yoshinori Shintani^[10] 的饲养方法, 成虫采集于广东省中山市, 放在塑料保鲜盒里带到实验室。将收集的成虫根据腹部顶端的形态进行性别鉴定, 可见到产卵瓣者为雌性, 可见抱握器者为雄性, 将雌雄成虫按照 1 : 3 的比例置于三面尼龙网的 (34 cm × 25 cm × 34 cm) 昆虫笼中, 笼底放置一层报纸。以 20% 蜂蜜水进行饲喂。养虫笼置于 25 ℃ (光周期为 L : D=16 : 8) 条件下。将罗汉松 *Podocarpus macrophyllus* 的枝条 (高约 30 cm 长, 直径约 3 cm) 放置于笼中作为产卵处。用小毛笔和镊子将产于树枝上的卵块收集至培养皿中 (直径 9 cm), 培养皿内放入保湿的纸巾, 在 25 ℃ 下光照培养, 光周期为 16L : 8D, 相对湿度 70%。幼虫孵化后, 每 30 只一组, 用小毛笔将其转移到每一个培养皿中, 并在培养皿底部铺上保湿的纸巾。以罗汉松叶片进行饲喂, 每日补充叶片。待幼虫蜕皮 1 次后, 将 2 龄幼虫移入 15 cm 培养皿中用于室内毒力测定。

1.1.2 供试菌株 供试验的菌株由广东省林业科学研究院林业生物杀虫剂团队保藏 (表 1), 各菌株均用马铃薯蛋白胨葡萄糖琼脂培养基 (PPDA 培养基) 连续培养, 保存备用。

表 1 待筛选菌株来源
Table 1 Origin of 8 entomopathogenic fungi

菌株 Strain	种名 Species	拉丁文名 Latin name	采集地 Geographical location	菌株来源 Origin
M09	金龟子绿僵菌	<i>Metarhizium anisopliae</i>	澳大利亚	椰心叶甲 <i>Brontispa longissima</i>
Mg20	贵州绿僵菌	<i>Metarhizium guizhouensis</i>	广西省	土壤
Mf43	黄绿绿僵菌	<i>Metarhizium flavoviride</i>	广东省	土壤
Mac985	蚱蜢绿僵菌	<i>Metarhizium acridum</i>	广东省	黄脊竹蝗 <i>Ceracris kiangsu</i>
Mf1245	黄绿绿僵菌	<i>Metarhizium flavoviride</i>	广东省	土壤
M3297	金龟子绿僵菌	<i>Metarhizium anisopliae</i>	安徽省	土壤
MaQ	金龟子绿僵菌	<i>Metarhizium anisopliae</i>	广东省	蛴螬
HJ-b	球孢白僵菌	<i>Beauveria bassiana</i>	广东省	马尾松毛虫 <i>Dendrolimus punctatus</i>

1.1.3 化学药剂 5% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂 (美国杜邦公司); 1.2% 烟碱·苦参碱乳油 (内蒙古赤峰市帅旗农药有限责任公司); 2.5% 高效氯氟氰菊酯悬浮剂 (南京红太阳股份有限公司); 3% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐水乳剂 (广西田园生化股份有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 橙带蓝尺蛾高毒力菌株筛选 采用喷雾塔法进行绿僵菌和白僵菌对橙带蓝尺蛾的室内毒力测定, 将供试菌株配制成浓度为 1×10^8 孢子/mL 的孢子悬浮液备用, 将橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫的培养皿置于喷雾塔的载物上, 每次喷雾体积为 2 mL, 每组处理幼虫 30 头, 重复 3 次, 将处理后试虫幼虫重新放入 9cm 培养皿中置于培养箱中, 于 25 ℃、相对湿度 70%、光周期 16L:8D 条件下培养, 以罗汉松叶片进行饲喂并且每日观察死亡情况。用镊子轻触虫体, 不能活动者视为死亡。根据公式计算校正死亡率。

$$\text{死亡率}(\%) = \frac{\text{死亡虫口数}}{\text{供试总虫数}} \times 100$$

$$\text{校正死亡率}(\%) = \frac{(\text{处理组死亡率} - \text{对照组死亡率})}{1 - \text{对照组死亡率} \times 100\%} \times 100$$

根据上述结果筛选出致病力较好的病原菌株, 用 0.05% 吐温-80 水溶液依次将其稀释为 1×10^8 孢子/mL、 1×10^7 孢子/mL、 1×10^6 孢子/mL、 1×10^5 孢子/mL、 1×10^4 孢子/mL, 采用喷雾法对橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫进行处理, 方法同上, 以 0.05% 吐温-80 水溶液为空白对照。根据校正死亡率与药剂浓度进行回归分析, 得到毒力回归方程及致死中浓度 LC_{50} 。

1.2.2 绿僵菌和化学药剂的最佳混配试验 根据上述结果将已经筛选出来的高毒力绿僵菌菌株配成孢子浓度为 1.00×10^8 孢子/mL 的悬浮液, 化学药剂分别配成试虫死亡率保持在 30%~70% 的浓度, 5% 氯虫苯甲酰胺为 25 ug/mL; 1.2% 烟碱·苦参碱乳油为 12 ug/mL; 2.5% 高效氯氟氰菊酯悬浮剂为 12.5 ug/mL; 3% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐为 15 ug/mL。采用喷雾法, 每组处理幼虫 30 头, 重复 3 次, 处理第 3 天统计死亡数量, 计算死亡率。根据 Mansour^[11] 的协同毒力指数 (c.f) 定性评判混用的联合作用, 其中 $c.f \geq 20$ 时为增效作用, $c.f \leq -20$ 时为拮抗作用, $-20 < c.f < 20$ 时为相

加作用。

混剂理论死亡率 $P_m = 1 - (1 - P_a) \times (1 - P_b)$, P_a 、 P_b 分别为各单剂的试虫死亡率。

$$\text{协同毒力指数 (c.f)} = \frac{\text{混剂实际死亡率} - \text{混剂理论死亡率}}{\text{混剂理论死亡率}} \times 100\%$$

1.3 数据分析

所得数据用 SPSS 20.0 统计软件进行处理分析, 采用 Duncan 氏新复极差测验进行差异显著性分析。并运用 Probit 机率值分析法求出毒力回归方程、致死中时间 LT_{50} 、致死中浓度 LC_{50} 、95% 置信区间等。

2 结果与分析

2.1 8 株昆虫病原真菌对橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫室内毒力

采用定量喷雾法测定了 8 株昆虫病原真菌对橙带蓝尺蛾幼虫的室内毒力, 从死亡率随时间变化的趋势来看 (图 1), 不同菌株均表现出相同趋势, 即幼虫死亡率随着处理时间的延长而逐步增大。接种后 1~2 d 未出现死虫, 第 3 天部分菌株处理组开始出现幼虫行动迟缓甚至死亡现象, 死亡高峰基本出现在 4~6 d (图 2)。

当孢悬液浓度为 1.00×10^8 孢子/mL 时, 处理 8 d 后, 供试的 8 株病原菌对橙带蓝尺蛾幼虫的毒力存在显著差异 ($P < 0.05$), 校正死亡率为 46.15%~98.89%, LT_{50} 值为 4.043~6.563 d (表 2)。其中菌株 M09、Mac985、Ma3297 和 Mf1245 的校正死亡率均大于 85%, 分别为 98.72%、96.15%、88.46% 和 87.18%。此外, M09、Mac985、Ma3297 菌株的 LT_{50} 均小于 5 d, 分别为 4.043、4.226、4.868 d。综合校正死亡率、 LT_{50} 值, 菌株 M09、Mac985、Ma3297 显示出较强的杀虫毒力。

2.2 3 株高效绿僵菌不同浓度对橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫毒力

3 株绿僵菌对 M09、Mac985、Ma3297 对橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫的致死中浓度 LC_{50} 有所不同, 其中 M09 的 LC_{50} 最高, 为 1.64×10^4 孢子/mL; Ma3297 次之, LC_{50} 为 7.95×10^4 孢子/mL; Mac985 毒力最低, LC_{50} 为 1.62×10^6 孢子/mL (表 3)。

2.3 最佳混配组合筛选结果

以浓度为 1.00×10^8 孢子/mL M09 孢悬液与 4 种化学药剂混配后处理橙带蓝尺蛾 3 龄幼

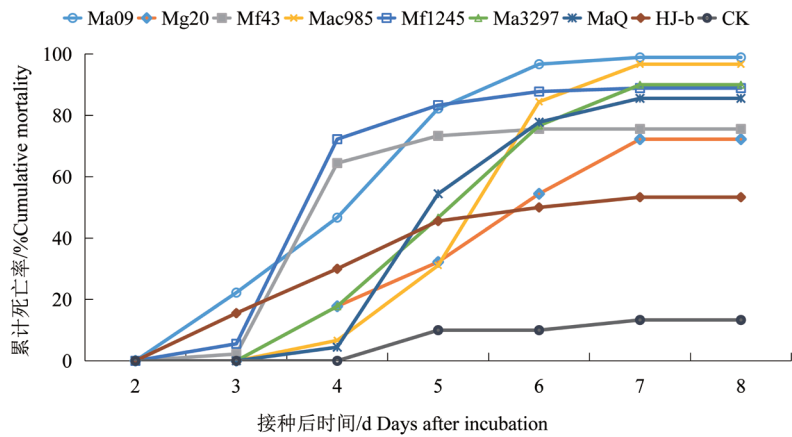


图 1 不同菌株对橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫的毒力

Fig. 1 Virulence of different strains to the 2nd–3rd instar larvae of *M. basalis*

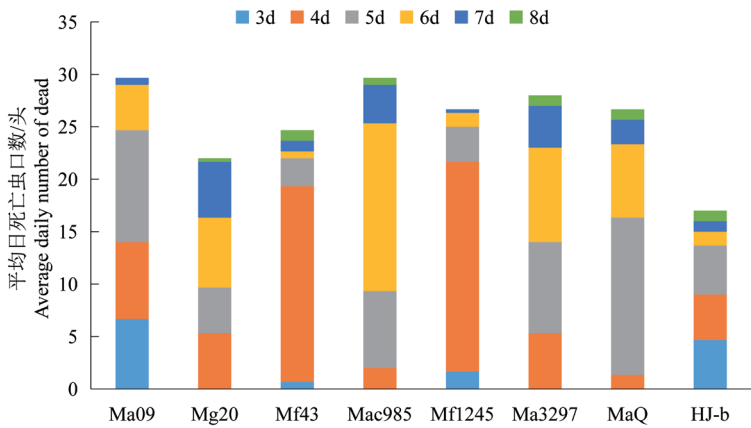


图 2 不同菌株处理橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫日死亡数量

Fig. 2 The daily death of different fungi against 2nd–3rd instar larvae of *M. basalis*

表 2 8 株昆虫病原真菌对橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫室内毒力

Table 2 Toxicity of 8 entomopathogenic fungi to *M. basalis* 2nd–3rd instar larvae

菌株 Strain	校正死亡率 /% Corrected mortality	毒力回归方程 Regression equation	LT ₅₀ /d Median lethal time	95% 置信限 Confidence intervals
Ma09	98.72 ± 1.92a	y= -6.497+1.607x	4.043	3.750~4.335
Mg20	67.95 ± 7.70d	y= -6.497+1.607x	6.133	5.728~6.593
Mf43	71.79 ± 5.09d	y= -4.542+1.075x	5.300	4.125~6.256
Mac985	96.15 ± 3.33ab	y= -10.623+1.988x	4.226	2.521~5.853
Mf1245	87.18 ± 1.92bc	y= -3.652+0.750x	5.345	5.081~5.611
Ma3297	88.46 ± 5.77bc	y= -5.401+0.881x	4.868	2.835~7.225
MaQ	83.33 ± 6.94c	y= -6.755+1.275x	5.437	4.609~6.323
HJ-b	46.15 ± 5.77e	y= -6.782+1.247x	6.563	5.470~8.695

注：表中数据为各菌株平均校正死亡率 ± 标准差，同列后标有不同字母者表示在 5% 水平差异显著 (Duncan 氏新复极差法)。Note: data were presented as mean ± SD, data with different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level (Duncan's).

表 3 M09、F985 和 Ma3297 对橙带蓝尺蛾 2~3 龄幼虫的毒力
Table3 Toxicity of M09, F985 and Ma3297 to *M. basalis* 2nd–3rd instar larvae

菌株 Strain	毒力回归方程 Regression equation	致死中浓度 / (孢子 · mL ⁻¹) Median Lethal Concentration	相关系数 Correlation index	95% 置信限 95% confidence interval
Mac985	$y = -2.583 + 0.416x$	1.62×10^6	0.961	$4.75 \times 10^5 \sim 6.23 \times 10^6$
M09	$y = -2.050 + 0.486x$	1.64×10^4	0.953	$6.23 \times 10^2 \sim 7.64 \times 10^4$
Ma3297	$y = -3.329 + 0.679x$	7.95×10^4	0.973	$2.67 \times 10^4 \sim 1.84 \times 10^5$

表 4 混配药剂对橙带蓝尺蛾联合作用结果
Table4 Synergism of Ma09 and 3 pesticides against *M. basalis*

供试药剂 Insecticide	死亡率 / % Mortality	理论死亡率 / % Theoretical mortality	协同指数 Cooperativity index	联合作用结果 Result
M09+ 高效氯氟氰菊酯	100	82.67	20.97	增效作用
M09+ 烟碱 · 苦参碱	92.41	83.93	10.10	相加作用
M09+ 氯虫苯甲酰胺	86.15	77.78	10.77	相加作用
M09+ 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	87.50	67.41	29.81	增效作用

虫，致死效果都比较好，其死亡率分别为 100%、92.41%、86.15%、87.50%，绿僵菌 M09 与高效氯氟氰菊酯和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐混配后对橙带蓝尺蛾的联合毒力为增效作用（表 4）。

3 结论与讨论

本实验中使用的 7 株绿僵菌和 1 株白僵菌均对橙带蓝尺蛾具有一定的毒力，但白僵菌毒力较弱。绿僵菌 M09、Mac985、Ma3297 处理 8 d 后的校正死亡率均大于 85%，并且 LT₅₀ 小于 5 d，LC₅₀ 分别为 1.64 × 10⁴ 孢子 / mL、1.62 × 10⁶ 孢子 / mL 和 7.95 × 10⁴ 孢子 / mL，对橙带蓝尺蛾具有较强的毒力。综合比较校正死亡率、LT₅₀ 和 LC₅₀，绿僵菌 M09 菌株表现出众，用于与 4 种化学杀虫剂混配进行协同作用测定，结果表明 4 种混配剂的致死率均大于 85%，并且绿僵菌 M09 与高效氯氟氰菊酯和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐混配后表现为增效作用。

昆虫病原真菌是近年来国内外广泛应用的生物药剂之一，近年来成为生物防治领域的热点，且在多种农林害虫防治方面均有应用范例。郑宏^[12]发现绿僵菌 MaF-13 对橙带蓝尺蛾具有较强的毒力作用，以 1.0 × 10⁸ 孢子 / mL 孢子悬浮液接种 10 d 后幼虫死亡率均达到 100%；LT₅₀ 为 3.99 d。何学友等人^[13]测定了 5 株绿僵菌对橙带蓝尺蛾幼虫的致病力，其中 MaFZ-13、MaXJ-04 菌株对

幼虫的致死率较高，以 1.0 × 10⁷ 孢子 / mL 浓度处理 15 d 后分别达到 96.7%、95.0%，LT₅₀ 分别为 5.01、5.48 d。本实验中 3 株绿僵菌的校正死亡率在 85% 以上，LT₅₀ 均小于 5 d，由于昆虫病原菌菌株之间具有差异性，因此所得结果与前人报道有差异，但从其校正死亡率、LT₅₀ 和 LC₅₀ 考虑，本实验筛选得到的 3 株高毒力菌株也具有一定的生防应用潜力。大量研究表明绿僵菌致死高峰出现在 3~7 d，本研究中 7 株绿僵菌的死亡高峰均在 4~6 d 内出现，与之前研究是一致的。但由于室内毒力测定与林间试验环境不同，通常林间防治效果结果大多在 10 d 以后产生，因此使得昆虫病原菌的防治时效较慢，限制了其在农林生物防治中的应用。为了解决这一问题，很多学者提出将昆虫病原菌与低剂量化学农药复配，以达到协同增效的作用，提高防治效果，如曹伟平等人^[14]将球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* HFW-0514 与低剂量的甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和氯虫苯甲酰胺混用后 LT₅₀ 均显著降低。Chunhua Zou 等人^[9]将玫烟色棒束孢 *Paecilomyces fumosoroseus* 的菌株 IfB01 与吡虫啉混配具有明显增效作用，并且 LT₅₀ 明显缩短。化学药剂可以有助于昆虫病原真菌侵入，从而提高侵染速度，使其更容易进入虫体内部。提高昆虫病原真菌的防治时效同时还可以降低化学农药的使用量，避免化学药剂过多使用而产生的“3R”问题。根据本课题组前期研究结果^[15]，

氯虫苯甲酰胺、烟碱·苦参碱、高效氯氟氰菊酯和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对橙带蓝尺蛾用药后 7 d 的林间防治效果可以达 90% 以上, 因此本试验选用这 4 种化学药剂与绿僵菌 Ma09 进行混配, 发现绿僵菌 M09 与高效氯氟氰菊酯和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐表现出增效作用, 绿僵菌与上述 2 种杀虫剂混用, 可以缩短杀虫时间、提高杀虫效率、减少化学杀虫剂的使用。本实验中单独使用绿僵菌 M09、Mac985、Ma3297 和 Mf1245 处理 8 d 后校正死亡率均大于 85%, 效果与化学药剂相当且明显, 因此可以考虑在早期预防上单独使用绿僵菌进行防治, 随着绿僵菌大规模商品化, 成本亦逐年降低, 仅仅略高于化学农药, 但是效果更好更环保。但是当高龄虫口密度上升, 突然出现害虫大爆发的时候则必须考虑如何在短时间内将虫口密度降下来, 此时绿僵菌等生物防治的时效性较长, 不适用于防治, 因此可以考虑使用化学药剂和生物药剂进行混配, 在短时间内将虫口密度降低。本实验中使用混配剂在防治 3 d 后就表现出了明显的防治效果, 与化学农药防效相当且比生物农药防治时间短, 十分适合用于害虫大爆发或者应急性防治中。本实验利用了绿僵菌与化学药剂进行混配, 取得了明显的室内试验效果, 但上述结果还需在林间试验中进一步验证。

参考文献

- [1] 王缉健, 杨秀好, 梁晨, 等. 竹柏重要食叶害虫: 橙带丹尺蛾[J]. 广西植保[J], 2014, 27(2): 22-23.
- [2] 张建国. 浙江省森林昆虫多样性及其风险性评价初步研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [3] 林伟, 徐浪, 郭强, 等. 一种罗汉松害虫: 橙带蓝尺蛾[J]. 植物检疫, 2017, 31(4): 67-69.
- [4] 余海滨, 秦长生, 赵丹阳. 橙带蓝尺蛾在中国的风险性分析[J]. 广东林业科技, 2015, 31(5): 84-87.
- [5] 肖斌, 肖力, 肖香英. 橙带蓝尺蛾在大余的风险性分析报告[J]. 生物灾害科学, 2019, 42(1): 62-65.
- [6] FITZGERALD J. Laboratory bioassays and field evaluation of insecticides for the control of *Anthonomus rubi*, *Lygus rugulipennis* and *Chaetosiphon fragaefolii*, and effects on beneficial species, in UK strawberry production[J]. Crop protection, 2004, 23(9): 801-809.
- [7] FENG M, PU X. Time-concentration-mortality modeling of the synergistic interaction of *Beauveria bassiana* and imidacloprid against *Nilaparvata lugens*[J]. Pest management science, 2005, 61(4): 363-370.
- [8] PAULA A R, CAROLINO A T, PAULA C O, et al. The combination of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* with the insecticide Imidacloprid increases virulence against the dengue vector *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)[J]. Parasites and vectors, 2011, 4(1): 8.
- [9] ZOU C, LI L, DONG T, et al. Joint action of the entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea* and four chemical insecticides against the whitefly *Bemisia tabaci*[J]. Bio-control science and technology, 2013, 24(3): 315-324.
- [10] SHINTANI Y, KATO Y, SAITO T, et al. Maladaptive photoperiodic response in an invasive alien insect, *Milionia basalis* pryeri (Lepidoptera: Geometridae), in southern Kyushu, Japan[J]. Applied entomology and zoology, 2018, 53(3): 343-351.
- [11] MANSOUR N A, ELDEFRAWI M E, TOPPOZADA A, et al. Toxicological studies on the Egyptian cotton leafworm, *Prodenia litura*. VI. Potentiation and Antagonism of Organophosphorus and Carbamate Insecticides[J]. Journal of economic entomology, 1966, 59(2): 307-311.
- [12] 郑宏. 绿僵菌MaFZ-13对橙带蓝尺蛾幼虫致病力及林间防治效果[J]. 昆虫学报, 2020, 63(10): 1194-1200.
- [13] 何学友, 蔡守平, 郑宏, 等. 5株绿僵菌对橙带蓝尺蛾幼虫致病力比较[J]. 福建林业科技, 2020, 47(2): 15-19.
- [14] 曹伟平, 宋健, 冯书亮, 等. 球孢白僵菌与低剂量化学杀虫剂对小菜蛾的协同增效作用[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(3): 370-376.
- [15] 王玲, 秦长生, 陈志云, 等. 不同药剂对橙带蓝尺蛾的防治效果[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(6): 48-51.