

杨树舟蛾优良白僵菌菌株的筛选及 林间不同剂型防治试验

黄金水¹, 汤陈生¹, 黄金聪², 陈元德³

(1 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012 2 福建省南平市森林病虫害防治检疫站, 福建 南平 353000;
3 福建省光泽县森林病虫害防治检疫站, 福建 光泽 354100)

摘要: 为了有效控制杨树舟蛾的危害, 对林间采集的 7 种白僵菌进行优良菌株的筛选, 并应用筛选出的优良菌株进行不同剂型、不同施菌量的林间防治研究。结果表明, 杨树舟蛾优良菌株 B_{jk} 在菌落形态、生长速度、产孢量、孢子萌发率以及毒力方面, 均表现出较其他同期菌株优良的性状, 产孢量为 3.81×10^8 个 \cdot cm^{-2} , 分生孢子在 24 h 内萌发率达 96.6%, 在毒力方面, 20 d 幼虫校正死亡率达 94.4%, 处理僵虫率达 92.2%; 对杨树舟蛾最好的剂型是超低量油剂和超低量复合油剂, 其中超低容量油剂以施菌量 1.5×10^{13} 或 2.0×10^{13} 个 \cdot hm^{-2} 为宜, 校正死亡率达 95.4% 和 100%, 白僵率达 84.6% 和 90.2%, 树叶受害率 39.7% 和 32.3%; 超低量复合油剂以施菌量 1.0×10^{13} 个 \cdot hm^{-2} 的油剂中添加 $3.0 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的杀灭菊酯为最佳, 校正死亡率达 93.8%, 白僵率达 67.9%, 树叶受害率 26.1%。

关键词: 杨树舟蛾; 白僵菌; 菌株筛选; 剂型

中图分类号: S792.11

文献标识码: A

Study on Excellent Strains of *Beauveria bassiana* against Notodontidae in *Populus × euram ericana* and Controlling by Different Formulations in Forest

HUANG Jin-shui¹, TANG Chen-sheng¹, HUANG Jin-cong², CHEN Yuan-de³

(1 Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, Fujian, China; 2 Forest Disease and Pest Control Quarantine Station of Nanping City, Nanping 353000, Fujian, China; 3 Station of Forest Disease and Pest Control and Quarantine of Guangze County, Fujian Province, Guangze 354100, Fujian, China)

Abstract To decrease the damage caused by Notodontidae in *Populus × euram ericana*, the seven strains of *Beauveria bassiana* (Bb) were tested on colony morphology, growth rate of mycelium, sporulation, spore germination rate and virulence, and the forms of oil formulation, emulsion, water agent and powder of Bb were adopted to control in forest with different fungus application amount. The results showed that the screened excellent strain named B_{jk} were the best among others with lawns were thick, colonies were round, edges were regular, thickness were uniform and veins were clear, and sporulation was 3.81×10^8 per square centimeter and spore germination rate was 96.6% within twenty-four hours. The toxicity determination showed that the mortality reached 94.4% and white cadaver rate was 92.2% on the twentieth day, the oil formulation by ULV spraying was the best and 1.5×10^{13} , 2.0×10^{13} spores per hectare were optimal, which had a good control effect of mortality attained 95.4% and 100%, white cadaver rate were 84.6% and 90.2%, damage rates of leaf were 39.7% and 32.3%. Three millilitres Fenaerate per hectare were added to oil formulation of B_{jk}, the control effect of mortality attained 93.8%, white cadaver rate was 67.9%, damage rate of leaf was 26.1% were testified.

Key words Notodontidae in *Populus × euram ericana*; *Beauveria bassiana*; strain screenings; formulation

收稿日期: 2006-08-29

基金项目: 福建省自然科学基金重点项目 (B0220002) 的部分研究内容

作者简介: 黄金水 (1955-), 男, 福建莆田人, 教授级高工, 硕士生导师, 主要从事森林病虫害综合管理的研究。E-mail: hjs0591@126.com.

杨树舟蛾 (Notodontidae) 是杨树 (*Populus* spp.) 的重要食叶害虫, 主要包括杨扇舟蛾 (*Clostera anachoreta* (Fabricius))、杨小舟蛾 (*Micran elalopha troglodyta* (Graeser))、分月扇舟蛾 (*Clostera anastomosis* (Linnaeus)) 和杨二尾舟蛾 (*Cerura menciiana* Moore) 等, 对杨树舟蛾的生命表^[1]、自然种群动态^[2]、空间格局^[3]、防治指标^[4,5]、生物学特性^[6-8]、预测预报^[9-11]及药剂防治^[12-15]等进行了大量的研究, 但生物防治还比较薄弱。白僵菌的应用由于受地域的限制, 温湿度并不适宜, 所以白僵菌防治几乎尚属空白。近年来, 随着福建省大面积纯林的种植, 杨树舟蛾的危害日益加重, 造成树势衰弱。为有效控制杨树舟蛾的发生、蔓延危害, 填补国内白僵菌防治杨树舟蛾的空白, 2001—2004 年, 在光泽县的欧美杨 (*Populus × euramericana* (Dode) Guineir) 基地, 进行杨树舟蛾的优良白僵菌菌株的筛选和林间不同剂型使用的研究, 现将试验情况及研究结果整理如下。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地设在福建省光泽县桃林村黄岭墩的欧美杨引种基地, 位于 117°23'6" E, 27°40'26" N, 该林分面积 100 hm², 为 3 年生欧美杨林, 郁闭度 0.6 左右, 树高 5.0~10.0 m, 杨树舟蛾有虫株率 100%, 株虫口密度 10 头以上。

1.2 供试材料

1.2.1 供试菌株及其培养 采集到白僵菌 (*Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill.) 7 个菌株的寄主及来源见表 1。各菌株的分离用自行筛选的选择性培养基, 在无菌操作条件下, 将林间采集的天然僵虫经酒精灯火焰表面消毒后, 置入盛有选择性培养基的培养皿中, 每皿接 5 小块, 25 °C 恒温培养, 进行分离纯化, 获得纯培养菌株。

表 1 菌株的寄主及来源

菌株代号	寄主	来源或采集地	备注
Bfl	马尾松毛虫幼虫	福建福清	天然僵虫种
Byx	马尾松毛虫幼虫	福建云霄	天然僵虫种
Byn	云南松毛虫幼虫	云南昆明	天然僵虫种
Bjy	杨树舟蛾幼虫	福建建瓯	天然僵虫种
Bg06	刚竹毒蛾幼虫	福建永安	天然僵虫种
Bm05	木毒蛾幼虫	福建平潭	天然僵虫种
Bp07	菜粉蝶幼虫	福州国家森林公园	天然僵虫种

注: 马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* (Walker), 云南松毛虫 *Dendrolimus houii* Lajonquiere 刚竹毒蛾 *Pantana phytostachysae* Chao 木毒蛾 *Lymantria xyliana* Swinhoe 菜粉蝶 *Pieris rapae* (Linnaeus)。

1.2.2 供试药剂 防治杨树舟蛾的白僵菌粉, 是由筛选出的优良菌株 Bjy 纯化并扩大培养生产获得, 其中高孢粉含孢量为 1.3×10^{11} 个 $\cdot g^{-1}$, 孢子萌发率在 95% 以上; 20% 杀灭菊酯乳油 (通用名氰戊菊酯), 由上海中西药业股份有限公司生产。

1.2.3 供试药械 山东临沂农业药械厂生产的 3WF-38 背负式森防喷雾喷粉机, 风机转速 6 000 r $\cdot min^{-1}$, 喷药量 (超低量喷雾) 每分钟 ≤ 0.8 kg 油剂, 水平射程 ≥ 12 m, 垂直射程 ≥ 9 m。

1.2.4 供试白僵菌剂型 白僵菌超低容量油剂: 油剂来源于自行配制及安徽农业大学李农昌教授提供, 0 号柴油由光泽县加油站购得; 自配油剂是将白僵菌高孢粉加柴油等混合而成; 白僵菌乳剂: 市购的稀释剂“82 乳油”与水按 1:8 的比例均匀混合成乳剂备用; 白僵菌水剂: 用白僵菌纯孢子粉加清水和 0.1% 洗衣粉稀释成试验要求浓度的水剂待用; 白僵菌粉炮: 由福清市白僵菌厂生产, 每个粉炮重 100 g (以上 4 种剂型都分别配制成 5×10^{12} 个 $\cdot hm^{-2}$ 、 1.0×10^{13} 个 $\cdot hm^{-2}$ 、 1.5×10^{13} 个 $\cdot hm^{-2}$ 、 2.0×10^{13} 个 $\cdot hm^{-2}$ 四个梯级浓度); 白僵菌复合剂: 往 1.0×10^{13} 个 $\cdot hm^{-2}$ 的剂型中分别加入杀灭菊酯乳油 1.5 mL $\cdot hm^{-2}$ 、3.0 mL $\cdot hm^{-2}$ 、6.0 mL $\cdot hm^{-2}$, 制成白僵菌复合剂, 其中复合粉炮的制作是先将 20% 杀灭菊酯乳油与通过 200 目筛孔的白陶土粉分别加工配制成 0.1%、0.2%、0.4% 杀灭菊酯粉剂, 然后将这 3 种杀灭菊酯粉剂与白僵菌粉按 4:1 比例均匀混合后, 分别包装加工成菌药混合粉炮, 每个混合粉炮的重量均为 125 g。

1.3 研究方法

1.3.1 菌株营养生长量测定^[16,17] 先在选择性培养基上培养好白僵菌菌落, 把牙签剪成 1 mm 长, 置于 5% 蔗糖溶液中灭菌后取出, 放在白僵菌菌落上, 在 25 °C 下培养 1 d 然后取出分别置于选择性培养基平板的中央, 每皿一段, 每一菌株 3 个培养皿即 3 个重复, 最后置于 25 °C 下培养, 以后每天定时定点用游标卡尺测定各菌落的直径并观察菌落形态特征, 10 d 结束试验。

1.3.2 各菌株产孢测定^[18] 供试菌株在选择性培养基上, 25 °C 下培养 15 d 用直径为 5 mm 的打孔器在菌落半径的中点处, 取出一定面积的菌块, 然后移入三角瓶中, 加 0.1% 吐温 80 和无菌水, 充分振荡使孢子均匀分散在孢子悬液中, 用血球计数板测定孢子数量, 然后换算成每平方厘米的孢子含量。

1.3.3 各菌株孢子萌发试验^[19] 孢子的萌发试验采用摇床振荡培养发芽法,是将培养基上培养 15 d 形成的孢子,用 7% 麦皮煮出汁加 1% 葡萄糖液配制成孢子液,放入摇床振荡,室温控制在 25℃ 左右,培养 24 h 镜检测定孢子发芽率。

1.3.4 室内毒力测定^[20~22] 待供试菌株在培养箱中培养至分生孢子大量形成后,刮下分生孢子置于 0.1% 吐温 80 蒸馏水中,并在磁力振荡器上振荡均匀,经血球计数板计数后用清水配制成 1.0×10^8 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 的孢子悬浮液。

将林间采集的大小相似的 3 龄健康杨树舟蛾幼虫,置于插在盛有清水罐头瓶中的杨树枝叶上,放入养虫笼中,每笼 30 头,分别用手持喷雾器均匀地喷洒事先配置的孢子液至湿润,设 3 个重复,以喷清水为对照。室温 23~28℃,隔天更换新鲜树叶,2 d 后观察幼虫死亡情况,统计幼虫死亡率和死虫白僵情况。

1.3.5 林间不同剂型防治方法^[23~27] 在杨树舟蛾危害较严重的林分内进行。施菌量按每公顷 $5 \times$

10^{12} 个、 1.0×10^{13} 个、 1.5×10^{13} 个、 2.0×10^{13} 个孢子四种处理。每个试验区和对照区面积均为 0.067 hm^2 ,小区间设 20 m 宽的隔离带,各处理设 2 个重复,以不作任何处理为对照,每个处理区内按对角线法选取样株 10 株,防治前统计样株的虫口数,施菌后检查虫口变化情况,直到幼虫结茧,将死虫带回室内保湿培养以观察死虫感染白僵情况,并统计叶片受害情况。

2 结果与分析

2.1 优良白僵菌菌株的筛选

2.1.1 各菌株生长情况观测 7 个供试菌株在选择性培养基上的菌落生长情况见表 2 由表 2 可以看出,各菌株菌落生长速率有差异,10 d 内菌落直径在 20.9~33.5 mm 之间, B_{jy}、B_{yx} 和 B_{fl} 菌落生长较好,菌苔较厚、边缘整齐、有明显的正反同心圆,扩展速度明显快于其它菌株,尤以 B_{jy} 扩展能力最强,每天长 3.35 mm,比生长最慢的 B_{pr07} 每天多长 1.26 mm。

表 2 各菌株菌落生长直径

菌株	寄主	菌落直径/mm								
		3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d	(平均)
B _{jy}	福建建瓯杨树舟蛾幼虫	6.9	13.2	18.4	23.1	26.8	29.4	31.2	33.5	3.35
B _{m05}	福建平潭木毒蛾幼虫	5.9	10.6	14.5	16.1	17.9	19.2	20.7	21.4	2.14
B _{gd06}	福建永安刚竹毒蛾	5.8	10.5	14.6	16.2	18.2	20.1	21.5	22.6	2.26
B _{yn}	云南昆明云南松毛虫	6.4	11.7	16.2	19.3	22.4	23.8	24.7	25.9	2.59
B _{fl}	福建福清马尾松毛虫	6.9	12.4	17.9	22.3	25.1	27.2	29.5	31.2	3.12
B _{yx}	福建云霄马尾松毛虫	6.9	13.1	18.2	22.7	26.2	28.7	30.6	32.1	3.21
B _{pr07}	福建福州菜粉蝶幼虫	5.6	9.6	12.1	14.3	16.5	18.3	19.7	20.9	2.09

各菌株在选择性培养基上的产孢和孢子萌发情况(表 3),说明各菌株的产孢时间和产孢量有差异。从产孢时间看, B_{jy}、B_{yx} 和 B_{fl} 具明显的优势, B_{jy} 的产孢时间最快, 116 h 就开始产孢,单位面积产孢量各菌株间的差异也很明显,表明各菌株间产孢能力有明显差别, B_{jy}、B_{yx} 和 B_{fl} 单位面积产孢量较高,其中以 B_{jy} 的产孢量最高,达 3.81×10^8 个 $\cdot \text{cm}^{-2}$,另外它们的分生孢子在 24 h 内萌发率均达到 90% 以上,镜检发现, 18 h 时孢子已大量萌发,而且芽管较其它菌株长;而 B_{pr07} 菌株的产孢时间最长,达 140 h 产孢量最低,只有 1.98×10^8 个 $\cdot \text{cm}^{-2}$,孢子萌发率也只有 85.21%。初步可以看出 B_{jy}、B_{yx} 和 B_{fl} 菌株较其他菌株具有明显的生长优势和较好的表现性状,尤以 B_{jy} 表现更为突出。

表 3 不同菌株在培养基上的产孢时间、产孢量和孢子萌发率

菌株	产孢时间/h	产孢量/(10^7 个 $\cdot \text{cm}^{-2}$)	孢子萌发率/%
B _{jy}	116	38.1	96.67
B _{m05}	136	23.2	89.34
B _{gd06}	132	26.7	87.26
B _{yn}	124	28.9	92.61
B _{fl}	120	36.5	96.54
B _{yx}	120	37.8	97.24
B _{pr07}	140	19.8	85.21

2.1.2 室内毒力测定 从 7 个菌株的菌液对杨树舟蛾幼虫的室内毒力测定结果(表 4)可以看出,供试菌株间对杨树舟蛾毒力存在明显差异, B_{jy} 菌株的毒力最强,而 B_{pr07} 菌株最差,表现出一定的专化性。致死速度最快的是 B_{jy} 菌株,其致死中时间为 5.11 d B_{fl} 次之, LT₅₀ 为 6.15 d 而 B_{pr07} 菌株最慢, LT₅₀ 为 9.73 d 是 B_{jy} 菌株的 1.9 倍。

表 4 不同寄主菌株对杨树舟蛾幼虫的室内毒力

菌株	供试虫数/头	幼虫死亡率 %								校正死亡率 %	LT ₅₀
		3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	10 d	15 d	20 d		
B _{jy}	90	28.9	38.9	46.7	63.3	83.3	91.1	93.3	94.4	94.4	5.11
B _m 05	90	13.3	20.0	23.3	35.6	50.0	60.0	67.8	67.8	67.8	8.55
B _{gz} 06	90	15.6	21.1	26.7	37.8	53.3	63.3	71.1	71.1	71.1	8.09
B _{yn}	90	16.7	22.2	28.9	43.3	57.8	67.8	76.7	78.9	78.9	7.48
B _{fl}	90	18.9	25.6	32.2	46.7	67.8	74.4	80.0	82.2	82.2	6.81
B _{yx}	90	20.0	26.7	36.7	52.2	72.2	78.9	83.3	85.6	85.6	6.15
B _{pt} 07	90	12.2	15.6	20.0	27.8	37.8	53.3	61.1	61.1	61.1	9.73
(对照)	90	0	0	1.1	1.1	1.1	3.3	3.3	3.3	-	-

表 4 显示, 死亡率最高的是 B_{jy} 菌株。菌液处理 5 d B_{jy} 菌株对幼虫致死率为 46.7%, 7 d 幼虫死亡达到高峰, 为 83.3%, 20 d 幼虫校正死亡率达 94.4%, 比其他菌株同期对杨树舟蛾幼虫毒力强, 致死速度快; B_{yx} 菌株的毒力次之, 5 d 时的幼虫死亡率为 36.7%, 15 d 时幼虫死亡达到高峰, 为 83.3%, 20 d 幼虫校正死亡率达 85.6%。从死虫白僵情况统计, B_{jy} 菌株处理第 5 天, 就有 42.2% 的死虫开始出现白僵, 7 d 时僵虫率达 76.7%, 20 d 时 B_{jy} 菌株处理的僵虫率达 92.2%, 比其它菌株处理同期僵虫率明显高。从菌种的专化性分析, 采自不同寄主的菌株对杨树舟蛾的毒力差异分化很大, 来自杨树舟蛾的菌株毒力最强, 其次是来自马尾松毛虫, 而来自菜粉蝶的菌株最差, 说明了自然界存在着遗传多样性的白僵菌菌株。

2.2 不同白僵菌剂型林间防治杨树舟蛾效果

2.2.1 纯白僵菌不同剂型不同施菌量防治杨树舟蛾效果 2003 年 3—4 月在福建光泽进行了白僵菌不同剂型、不同施菌量的试验, 结果见表 5。从表 5 可以看出, 4 种剂型对杨树舟蛾的防治效果有明显的差异, 白僵菌超低容量油剂和乳剂的防治效果较水剂和粉炮为好, 30 d 校正死亡率最高分别达 100% 和 99.6%, 而水剂和粉炮只有 85.1% 和 81.7%。林间施菌后, 第 7 天调查, 每公顷喷 2.0×10^{12} 个孢子的白僵菌超低容量油剂和乳剂的防治小区幼虫死亡率已达到高峰, 防治效果分别为 86.5% 和 85.3%, 林地和树上出现较多的僵虫, 而水剂和粉炮却只有 40.3% 和 32.1%, 15 d 调查, 前二者的防治效果分别达 100% 和 97.4%, 而后二者却只有 61.7% 和 46.5%, 直至 30 d 才达到 85.9% 和 82.7%。

表 5 白僵菌不同剂型不同施菌量对杨树舟蛾的防治结果

剂型	施菌量 / (10^{12} 个 \cdot hm^{-2})	供试虫数 / 头	幼虫死亡率 %			校正死亡率 %	$\arcsin \sqrt{x}$
			7 d	15 d	30 d		
超低容量油剂	5	215	16.7	29.3	46.5	43.3	41.15
	10	278	39.2	66.2	78.4	77.1	61.41
	15	252	59.9	83.3	95.6	95.4	77.62
	20	223	86.5	100.0	100.0	100.0	90.00
乳剂	5	263	13.3	25.1	32.7	28.7	32.39
	10	270	22.2	31.9	38.1	34.4	35.91
	15	265	50.6	67.2	80.4	79.3	62.94
	20	231	85.3	97.4	99.6	99.6	86.37
水剂	5	197	11.2	15.7	18.8	14.0	21.97
	10	226	14.6	19.9	36.3	32.5	34.76
	15	232	23.7	35.3	56.9	54.4	47.52
	20	248	40.3	61.7	85.9	85.1	67.29
粉炮	5	287	10.5	13.2	17.8	12.9	21.05
	10	308	13.6	18.5	33.4	29.5	32.90
	15	265	16.2	24.9	47.2	44.1	41.61
	20	243	32.1	46.5	82.7	81.7	64.67
(对照)		267	1.5	3.4	5.6	-	-

表 5 说明超低容量油剂的防治小区白僵率最高, 其中每公顷喷 2.0×10^{13} 个孢子的小区白僵率达 90.2%, 而相同剂量的粉炮防治区却只有 71.7%,

喷 1.5×10^{13} 个孢子的油剂防治区白僵率也能达 84.6%; 从杨树受害率来看, 最轻的是 2.0×10^{13} 个孢子的超低容量油剂防治区, 达 32.3%, 仅为对照

区杨叶受害率的 2/5 防治区中,受害率最高的是 5.0×10^{12} 个孢子的粉炮防治区,为 67.4%,也比对照区的 81.7% 低 14.3%。但是,随着时间的推迟,相同剂量的 4 种剂型防治效果差异不显著,而且在施菌量低时,4 种剂型的防治效果差异不明显,这可能是由于在低菌量时,孢子含量太低,造成防效普遍降低。所以在低虫口密度时,山高水缺、交通不便的林分也可选用白僵菌粉炮防治,但用菌量不能太低。从整个林分看,高菌量的白僵菌超低容量油剂和乳剂能有效地保护杨叶免受虫害,在低、中虫口密度时,为了节省白僵菌, 1.5×10^{13} 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的白僵菌超低容量油剂无疑是最佳选择。

对表 5 的防治结果经反正弦转换后进行方差分析表明,白僵菌不同剂型和不同施菌量对杨树舟蛾的防治效果均有极显著的差异 ($f_{\text{剂}} = 25.09, f_{\text{施}} = 68.98 > f_{0.01}(3, 9) = 6.99$),即不同剂型、不同施菌量极显著地影响着防治效果。同时为筛选出最佳的剂型和施菌量,采用多重比较 q 检验可知,在剂型方面,除油剂和粉剂、水剂的防效存在极显著差异,水剂和粉剂无差异外,其余均存在显著差异,这说明油剂比粉剂和水剂的防治效果好;在施菌量方面,除了施菌量 5.0×10^{12} 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 与 2.0×10^{13} 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 间存在显著差异外,其余均极显著,这说明 2.0×10^{13} 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的防治效果最佳。

2.2.2 不同剂型白僵菌复合剂防治杨树舟蛾效果

应用不同剂型的白僵菌复合剂防治杨树舟蛾的效果见表 6 从表 6 可知,在 1.0×10^{13} 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的 4 种剂型里添加不同剂量的杀灭菊酯,不仅可以加快治虫速度、提高防治效果,而且节省白僵菌的用量,大大提高白僵菌的利用率。往 1.0×10^{13} 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的油剂、乳剂、水剂和粉炮中添加 $1.5 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的杀灭菊酯后,校正死亡率比同剂量的纯白僵菌剂型增加了 3.9%、14.6%、13.7% 和 12%,而添加 $3.0 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的杀灭菊酯后,校正死亡率增加 16.7%、50.2%、42.3% 和 42.4%,其防治速度和防治效果可以与 2.0×10^{13} 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的纯白僵菌剂相媲美,这是由于纯白僵菌剂中加入少量的杀灭菊酯,使树上的部分幼虫轻度中毒,表现出活动迟钝,取食减少或停止,从而削弱了幼虫的抗性,白僵菌更易侵入,造成死亡率增加、杨叶受害明显减少,及时有效地控制了幼虫的危害。而且随着杀灭菊酯浓度的增加,杨树舟蛾的死亡率加大,死亡速度也随之加快。喷洒添加 $1.5 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 杀灭菊酯的白僵菌超低量油剂,第 15 天幼虫死亡才进入高峰,而喷 $3.0 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $6.0 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的第 7 天就进入死亡高峰,第 15 天的死亡率竟高达 88.7% 和 93.3%,表现出明显的毒力相加作用。但由于添加 3.0 mL 的杀灭菊酯与 6.0 mL 的防治效果均达 83% 以上,无显著差异,考虑到生态环境的保护和人畜安全,在中度以上虫口密度时,以选用添加 $3.0 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 杀灭菊酯的白僵菌超低量油剂为佳。

表 6 不同剂型白僵菌复合剂对杨树舟蛾的防治结果

剂型	杀灭菊酯用量 / ($\text{mL} \cdot \text{hm}^{-2}$)	供试虫 数/头	幼虫死亡率 /%			校正死 亡率 /%	$\arcsin \sqrt{x}$	白僵 率 /%	杨叶受 害率 /%
			7 d	15 d	30 d				
超低容 量油剂	1.5	231	58.4	78.8	82.3	81.0	64.16	62.7	40.2
	3.0	257	75.5	88.7	94.2	93.8	75.58	67.9	26.1
	6.0	216	83.3	93.5	97.2	97.0	80.03	55.1	23.5
乳剂	1.5	254	36.2	47.6	52.4	49.0	44.43	56.3	47.7
	3.0	236	58.1	79.2	85.6	84.6	66.89	52.7	36.8
	6.0	195	72.8	84.6	91.3	90.7	72.44	46.8	30.1
水剂	1.5	213	31.9	43.2	49.8	46.2	42.82	51.0	48.5
	3.0	253	55.3	69.2	76.7	75.0	60.00	46.3	43.1
	6.0	227	71.4	83.3	90.3	89.6	71.19	42.3	31.7
粉炮	1.5	218	30.3	37.2	45.4	41.5	40.11	41.7	52.2
	3.0	237	49.8	66.2	73.8	71.9	57.99	35.8	45.3
	6.0	246	71.5	83.2	88.6	87.8	69.56	44.1	34.7
(对照)		198	2.0	4.5	6.6	-	-	-	78.2

对表 6 的防治结果经反正弦转换后进行方差分析表明,白僵菌不同剂型和不同施菌量对杨树舟蛾的防治效果均有极显著的差异 ($f_{\text{剂}} = 14.4 > f_{0.01}(3, 6)$

$= 9.78, f_{\text{施}} = 53.52 > f_{0.01}(2, 6) = 10.9$),即不同复合剂型、不同添加剂量极显著地影响着防治效果。同时为筛选出最佳的剂型和施菌量,采用多重比较 q 检验

可知, 在复合剂型方面, 除油剂复合剂和粉剂复合剂、水剂复合剂的防效存在极显著差异, 油剂复合剂和乳剂复合剂存在显著差异外, 其余均不显著, 这说明油剂复合剂和乳剂复合剂比粉剂复合剂和水剂复合剂的防治效果好, 尤以油剂复合剂为最佳; 在添加杀灭菊酯剂量方面, 添加杀灭菊酯 $60 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 $30 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 存在显著差异, 而 $60 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $30 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 $1.5 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 存在极显著差异, 这说明添加杀灭菊酯 $60 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的防治效果最好, $30 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的次之, $1.5 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的防效最差。

3 小结与讨论

室内和林间防治结果证实, 筛选出的白僵菌优良菌株和以该菌制成的超低量油剂、复合剂, 对杨树舟蛾有良好的防治效果。施菌量为 1.5×10^{13} 、 2.0×10^{13} 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 校正死亡率分别达 95.4% 和 100%, 白僵率分别达 84.6% 和 90.2%, 树叶受害率为 39.7% 和 32.3%; 在施菌量 1.0×10^{13} 个 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 的油剂中添加 $30 \text{ mL} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的杀灭菊酯, 校正死亡率达 93.8%, 白僵率达 67.9%, 树叶受害率 26.1%。通过增加少量的杀灭菊酯, 不仅加快了防治速度, 而且提高了防治效果, 能及时有效地保护杨树, 减少树叶被害损失量, 特别对改变我国北方部分省份长期使用化学农药防治, 使杨树舟蛾产生抗药性, 导致当前防效下降的不利局面具有重要的现实意义。白僵菌油剂超低量防治既可节省防治费用, 取得显著的经济效益, 又能保护森林生态平衡。

白僵菌油剂超低容量喷雾具有覆盖性能好、用药量少、成本低、不污染环境、不杀伤天敌、害虫不产生抗药性、对人畜安全等优点, 因此在农林害虫的防治方面具有很大的潜力, 可以在防治杨树舟蛾上推广应用, 但必须充分掌握林分虫情、气候条件和杨树林生态环境, 以充分发挥白僵菌的应有效果。

由于该油剂内混有菊酯类农药, 所以其具有生物与菊酯类农药互补的优点, 微量农药可削弱害虫的抗性, 加快白僵菌的感染速度, 提高白僵菌的治虫效果。添加杀灭菊酯的白僵菌油剂超低量喷雾对杨树幼林尤为适用, 它解决了福建省白僵菌应用防治时效慢的难题, 同时可大幅度减少化学农药的用量, 并且从保护生物多样性的角度进一步完善了白僵菌林间应用的模式和策略, 至于白僵菌油剂和复合剂使用后对林间生物多样性的影响, 还需今后进一步的研究。

参考文献:

- [1] 方松山, 林晓安, 申富勇, 等. 杨扇舟蛾生命表研究 [J]. 河南农业大学学报, 2004, 38(1): 59~63, 72
- [2] 张军灵, 王小纪, 杨大宏, 等. 杨小舟蛾自然种群动态的研究 [J]. 陕西林业科技, 1999(4): 10~13
- [3] 梁波, 于艳华, 彭红梅, 等. 杨小舟蛾空间分布型的初步研究 [J]. 江苏林业科技, 2002, 29(3): 15~18
- [4] 张军灵, 王小纪, 杨大宏, 等. 杨小舟蛾防治指标研究 [J]. 陕西林业科技, 1999(4): 4~6
- [5] 陈永学, 张希堂, 于国辉, 等. 分月扇舟蛾危害指标的研究 [J]. 吉林林业科技, 1992(2): 31~32
- [6] 杨大宏, 王小纪, 张军灵, 等. 杨小舟蛾生物学特性研究 [J]. 陕西林业科技, 1999(4): 20~22
- [7] 郭同斌, 王振营, 梁波, 等. 杨小舟蛾的生物学特性 [J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(5): 56~60
- [8] 杨振德, 朱麟, 赵博光, 等. 实验室群体饲养条件下分月扇舟蛾生物学特性初步研究 [J]. 广西科学院学报, 2004, 20(1): 35~37
- [9] 张军灵, 高存芳, 王小纪, 等. 杨小舟蛾发生规律与测报技术研究 [J]. 陕西林业科技, 1999(4): 1~3
- [10] 侯丽伟, 王福维, 李晓颖, 等. 杨小舟蛾短期预测预报研究 [J]. 林业科学研究, 1999, 12(6): 669~672
- [11] 张显政, 黄政龙, 黎前良, 等. 洞庭湖区杨扇舟蛾发生规律与危害及预测预报研究初报 [J]. 湖北林业科技, 1999(3): 32~35
- [12] 杨世宏, 申富勇, 袁新华, 等. 杨小舟蛾药剂防治试验初报 [J]. 林业科技开发, 2003, 17(4): 45~46
- [13] 闫荣玲, 姚学让. 杨扇舟蛾防治技术研究初报 [J]. 河北林业科技, 1996(2): 19~20
- [14] 李俊忠, 张康普, 李灵军, 等. 苏脲 I 号防治杨树食叶害虫研究初报 [J]. 河北林业科技, 1996(2): 36~37
- [15] 钱玉德. 分月扇舟蛾的毒笔防治 [J]. 林业科技, 1997, 22(6): 39~40
- [16] 方志刚, 张立钦, 赵仁友. 9 个白僵菌菌株对马尾松毛虫的致病性 [J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(4): 331~335
- [17] 杨世璋, 吴猛耐, 陈杰, 等. 银杏大蚕蛾白僵菌的分离、培养及应用试验 [J]. 森林病虫害通讯, 2001(2): 16~18
- [18] 黄桂英. 面粉固体培养基测定白僵菌含孢量的试验 [J]. 云南林业科技, 1995(4): 65~68
- [19] 李农昌, 王成树, 李增智, 等. 白僵菌油剂中孢子萌发率的测定 [J]. 安徽农业大学学报, 1996, 23(3): 336~339
- [20] 上海第一医院卫生统计学教研组. 医学统计方法 [M]. 上海: 上海科学出版社, 1979, 206~214
- [21] 陈红海. 绿僵菌与白僵菌对黑翅土白蚁的室内毒力测定 [J]. 华东昆虫学报, 1999, 8(1): 107~109
- [22] 农向群, 高松, 邓春生, 等. 球孢白僵菌对德国小蠊感染力的初步研究 [J]. 中国生物防治, 1996, 12(3): 97~99
- [23] 洪伟. 林业试验设计技术与方法 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1993, 148~158
- [24] 陈嘉文, 陈昌洁. DCPV-B(复合微生物杀虫剂)研究初报 [J]. 林业科学研究, 1993, 6(专): 118~121
- [25] 林华峰, 胡萃, 李增智. 白僵菌的生物学特性及其林间应用研究 [J]. 安徽农业大学学报, 1999, 26(1): 54~58
- [26] 黄金水, 汤陈生, 何学友. 白僵菌超低容量油剂防治马尾松毛虫效果 [J]. 林业科学, 2003, 39(专): 194~197
- [27] 王素英, 邹立杰, 时亚琴, 等. 球孢白僵菌加增效剂对光肩星天牛的防治效果 [J]. 中国生物防治, 2000, 16(2): 96~封3