

松材线虫病持续控制关键技术研究与实践

黄金水¹, 汤陈生¹, 何学友¹, 杨希¹, 钟景辉², 王谨³, 蔡守平^{1,5},

康文通⁴

- (1. 福建省林业科学研究院/国家林业局南方山地用材林培育重点实验室, 福州 350012;
2. 泉州市森林病虫害防治检疫站 泉州 362000; 3. 厦门市绿化管理中心 厦门 361012;
4. 厦门市森林病虫害防治检疫站 厦门 361012)

摘要: 松材线虫病 (*Bursaphelenchus xylophilus*) 是松树的特大毁灭性病害, 为了保住重点生态区位的主体树种马尾松, 本文报道了 2001—2011 年在福建厦门市岛内和泉州市石狮的松材线虫病疫点开展持续控制关键技术研究与实践的结果。采用未皆伐寄主树的方法, 而是采取清除松墨天牛滋生材料、山场套袋化学熏蒸、悬挂松墨天牛诱捕器 (捕捉器)、设置诱木和释放管氏肿腿蜂 (*Scleroderma guani*)、筛选金龟子绿僵菌 (*Metarhizium anisopliae*) 生物防治、化学防治等持续控制技术, 取得了良好的防治效果。厦门岛内的发病松林面积由 2001 年 11 月首次发现时的 1973 hm² 减少到 2011 年的零发生; 病死松树数量由 2002 年的 136968 株降低到 2011 年的 0 株, 病枯死株率从万分之 482.202 下降到 0; 林间松墨天牛种群数量也大幅度下降, 平均每个诱捕器每年诱集到的松墨天牛成虫数量由 72.7 头下降到 1.0 头。目前厦门市大面积的青松仍然常绿, 石狮疫区也基本能解除疫情, 说明了松材线虫病是可防可治的, 也为松材线虫病持续控制提供了一套行之有效的模式。

关键词: 松材线虫; 持续控制; 关键技术; 效果评价; 福建省

Studies and Practices on Key Techniques of Sustainable Control to Pine Wood Nematode Disease

Huang Jinshui¹, Tang Chensheng¹, He Xueyou¹, Yang Xi¹, Zhong Jinghui², Wang Jin³, Cai Shouping¹, Kang Wentong⁴

- (1. Fujian Academy of Forestry, The Key Laboratory of Timber Forest Breeding and Cultivation for Mountainous Areas in Southern China, Fuzhou, Fujian 350012; 2. Quanzhou Forest Pest

基金项目: 省属公益类研究课题 (闽林研 (2012) 25 号) 的部分内容。

作者简介: 黄金水 (1955—), 男, 福建莆田人, 福建省林科院森保所所长, 教授级高工, 主要从事林业有害生物综合治理的研究。E-mail: hjs0591@126.com

Management and Quarantine Station,

Quanzhou 362000; 3. Xiamen Garden Administration Center, Xiamen 361012; 4. Xiamen Forest Pest Management and Quarantine Station, Xiamen 361012)

Abstract: Pine wood nematode disease is a catastrophic destructive disease for pines. In order to preserve pine, especially *Pinus massoniana*, which is the dominant tree specie in the key ecological district of Fujian Province, This paper reports the effects of studies and practices on key techniques of sustainable control to pine wood nematode disease in Xiamen and Shishi from 2001 to 2011. And because a series of sustainable control techniques were conducted, which included clearing bred-in material of *Monochamus alternatus*, chemical fumigation in forest, hanging traps for *M. alternatus*, setting induced wood, releasing *Scleroderma guani* and biological control with *Metarhizium anisopliae* and chemical control, the results showed that the damage pine forest area was decreased from 1973 hm⁻² in 2001 to zero in 2011, in Xiamen, the rate of withered trees caused by *B. xylophilus* reduced very significantly, which reduced from 482.202 per 10,000 to zero. In addition, Population of *M. alternatus* in forest diminished obviously, and the number of *M. alternatus* entrapped by each trap averagely reduced from 72.7 to 1.0 every year. Large acreage pine forest in Xiamen keep evergreen currently and epidemics would be mainly relieved in Shishi, therefore, It suggested that *B. xylophilus* can be controlled and a relatively sound pattern of controlling pine wilt disease was preliminarily developed.

Key words: *Bursaphelenchus xylophilus*; Sustainable Control; key techniques; effect evaluation; Fujian Province

松材线虫病是一种危害松树的毁灭性病害，感病植株迅速枯死，防治困难，是松树的疫病（杨宝君等，2003；朱克恭，1995；蒋平，2000；张星耀等，2003；陈凤毛等，2005；黄金水等，2010）。福建省自2001年厦门市首次发现松材线虫病以来，全省先后正式公布发生松材线虫病的有8个设区市32个县115个乡镇。经过近几年松材线虫病除治，国家林业局公布了福建省根除泉州市永春县、洛江区、惠安县，龙岩市新罗区，莆田市秀屿区，福州市鼓楼区等6个县（区）疫情；截止2011年10月底全省松材线虫病疫情分布在6个设区市26个县。还有尚未检测到松材线虫的部分县（市、区）松树枯死木数量多、分布范围广，出现新疫点的可能性极大。因此，面对福建省点多面广的疫情形势，不能采用单一的皆伐松树的方式来根除松材线虫病。在前人研究的基础上（张连芹等，1991；潘宏阳，2000；黄金

水等, 2001; 黄炳荣, 2004, 何学友等, 2005; 秦复牛, 2003; Shimazu M, 2004; Lai Y X, 2000; 刘云鹏, 2008; 方天松, 2007; 王爱忠, 2007; 王敏敏, 2006; 进行了松材线虫病持续控制试验与实践, 采用全面清除松墨天牛滋生材料, 山场套袋化学熏蒸, 诱捕器固定监测, 诱木诱杀天牛幼虫, 释放管氏肿腿蜂, 筛选高致病力金龟子绿僵菌菌株并应用(何学友等, 2008; 蔡守平等, 2009), 化学防治等综合技术措施进行持续控制。通过多年不间断的持续控制, 取得了较好的实际成果, 使得厦门疫区青松永驻, 石狮疫区也基本能解除疫情。现将松材线虫病持续控制关键技术集成结果整理如下。

1 材料与amp;方法

1.1 试验区基本概况

厦门市岛内松材线虫病发生于 2001 年 11 月。地处福建东南沿海, 与台湾省隔海相望, 是中国东南沿海的一座港口风景城市, 下辖思明、湖里两个区。地处东经 117°53'~118°27', 北纬 24°25'~24°55', 属南亚热带季风海洋性气候, 雨量充沛, 气候温和, 雨热同季, 干湿季节明显, 季风影响频繁, 台风季节长, 全年几乎无霜期。年平均气温 21℃, 最高气温 38.5℃, 最低气温 1.5℃; 平均年降雨量 1100~2000mm, 集中于春夏两季, 秋冬降水较少, 形成比较明显的干湿季变化。年平均相对湿度为 77%, 春夏较潮湿, 秋冬较干燥。年平均蒸发量为 1910.4mm, 夏秋蒸发量大, 冬春蒸发量小。岛内山地土壤主要为砖红性红壤, 母岩多为粗晶花岗岩。在海岸边缘分布着盐土和风沙土。山地土壤瘠薄多石砾, 尤以南部从云顶岩到阳台山, 岩石裸露较多, 土层厚度一般为 30~60cm, 立地条件差。全岛有林地面积 3201.6 hm², 占本岛土地总面积 24.4%, 树种组成以马尾松(*Pinus massoniana*)和台湾相思树(*Acacia confusa*)为主。

泉州市的石狮灵秀山风景区松材线虫病是在 2007 年 9 月首次发现, 风景区总面积为 337.6 hm², 灵秀山位于石狮市西郊, 地处东经 118° 35' 00" ~118° 36' 15", 北纬 24° 43' 20" ~24° 44' 40"。境内属南亚热带季风气候, 夏长无酷热, 冬短无严寒, 日照充足, 光热资源丰富, 蒸发旺盛, 季风明显, 雨量适中, 年平均气温 20~21℃, 极端最高温度 38.7℃, 极端最低温度 1℃, 年降水量 900~1200mm, 年平均相对湿度 78%, 年平均风速 7.0m/s, 历年定时最大风速一般为 9 级, 瞬时最大风速可达 12 级以上 (60 m/s), 多出现在夏季台风袭击时。夏季多干旱。灾害性天气有暴雨、干旱、台风、大风等, 常出现在夏秋季节。年无霜期 350d 以上。主要树种有针叶林(马尾松等)、阔叶林(相思树、木麻黄、柠檬桉等)、经济林(柑橘、柚子、龙眼、荔枝等)。

1.2 供试材料

松墨天牛引诱剂、松墨天牛诱捕器、白僵菌和绿僵菌均由课题组自行研制；诱木引诱剂由广东和福建省林科院提供；磷化铝药丸从广州新天地化学有限公司购买；管氏肿腿蜂从河北省张家口森防站引进，并在福建省林科院通过松墨天牛幼虫进行复壮和批量繁蜂；16%虫线清乳油由广东南海绿宝生化技术研究所提供；1%噻虫啉微胶囊颗粒剂由江西天人生态工业有限公司购买，在原药内已添加适量的滑石粉。

1.3 试验方法

1.3.1 及时彻底地清理松墨天牛滋生材料 在每代天牛成虫羽化之前清理枯死松树，一般在每年4月、10月进行2次集中清理，经2次清理后，若当年内有出现一定数量的新死树，则需再次清理。同时，对健康松树上的枯死侧枝也及时清除。枯死树清理时必须做到：第一是对枯死木（含1cm以上的枯死侧枝）就地进行化学熏蒸除害处理；第二要做到伐桩高度不超过5cm，并对所有伐桩剥皮、喷洒16%虫线清100倍液和套袋处理；第三要完全做到松枯死木（枝）不下山，防止疫情扩散。此外，对于市政建设、滥砍烂伐、被压木、衰弱木等一切松墨天牛滋生材料也要及时清理，除害处理方法同疫木处理。

1.3.2 山场套袋化学熏蒸 将松材及直径1cm以上的松枝截成约1.5m长的木段，装进塑料袋内密封，在袋内投入磷化铝药丸（ $15\sim 20\text{ g m}^{-3}$ ），封闭两头的袋口，防止漏气，做好标签记录，同时分类填写病枯死木、风折木、衰弱木、被压木处理记录表及林分改造、市政建设、火烧迹地松木处理记录表；15d后进行熏蒸效果检查，包括松墨天牛及松材线虫死亡率。

1.3.3 诱捕器固定监测 研制了新一代松墨天牛活虫诱捕器。每年3~11月，悬挂松墨天牛活虫诱捕（捕捉）器作为固定监测点，用于专门捕捉活的天牛成虫。纯松林每3hm²挂一个，混交林每3~13hm²挂一个。纯松林和混交林各设50个固定诱捕器。诱捕器固定监测点每年4月下旬—7月上旬连续3个月每3天上午收集活天牛成虫一次，其它月份每周收集成虫一次，均要记录各固定监测点松墨天牛成虫数量，并带回室内分离、培养、镜检，鉴定松墨天牛成虫是否携带松材线虫，为制定重点防治区域提供依据。其它的流动诱捕器作为诱杀以降低林间松墨天牛虫口密度。

1.3.4 诱木设置 利用松墨天牛喜好到衰弱枯死松木产卵的习性，诱木诱杀点可与诱捕器诱杀点结合起来，以减少工作量。立式诱木设置方法是在诱捕器周围选择生长中等的小径马尾松，在离地面50cm树干处，将其环剥导致生长衰弱，添加诱木引诱剂原液或与清水1:1稀释液，注入量毫升数与诱木地径厘米数相同，以引诱未投入诱捕器的松墨天牛成虫在诱木上产卵，每个诱杀点设置1~2株，于每年的6月和12月对诱木取样并除害处理，不但可以杀死其中所诱到的天牛，减少天牛种群密度，还可以对诱木进行取样、鉴定是否有松材线虫，

达到监测的目的。

1.3.5 释放管氏肿腿蜂 在松墨天牛幼虫低龄期的晴天进行放蜂，放蜂密度 10 000 只·hm⁻²。放蜂后每月检查 1 次效果，在试验区和对照区内分别选择有代表性的林分隔进行调查，每调查行中隔 5 株砍伐 1 株，剥皮或劈开树干检查松树的受害情况及天牛幼虫被寄生的情况。分别统计天牛虫口密度及寄生率。

1.3.6 高致病力绿僵菌的筛选及接种试验 为了收集、筛选对松墨天牛致病力强的绿僵菌，从福建的 40 个县（市、区）、江西省井冈山和吉安 2 个市，共 110 个林份样区（其中松林 88 个样区）采集土壤样品 330 份，采用选择性培养基分离土壤金龟子绿僵菌，筛选出 4 株高致病力菌株，并对松墨天牛成虫采用爬行、跗节、喷雾 3 种方式接种金龟子绿僵菌 MaYTTR-04 后的带菌量和死亡率进行了比较试验，旨在为松墨天牛的生物防治技术提供有效的施菌技术。

1.3.7 虫线清和噻虫啉防治试验 在松材线虫病疫区，利用背负式机动喷雾喷粉机喷施 16% 虫线清乳油和 1% 噻虫啉微胶囊悬浮剂防治松墨天牛。在防治区内随机选择 5 株马尾松，并在松枝上套养虫笼，喷药后在每个套笼内放入健康的松墨天牛成虫 10—20 头，并在毗邻山场设对照。于喷药 1、2、3 d 后统计笼内松墨天牛存活数，计算死亡率。

2 结果与分析

2.1 松枯死木清除结果

及时彻底地清理松墨天牛滋生材料是松材线虫病持续控制中最重要的技术，从表 1 的松枯死树清理结果表明，通过 10 a 的持续控制后，厦门岛内的松材线虫病疫情逐年减轻，基本达解除疫情的程度。一是疫情得到很好的控制，发生面积大幅度减少，由 2002 年的发生面积 1973 hm² 减少到 2011 年底的零面积；二是病死树数量逐年减少，由 2002 年的 136968 株减少到 2011 年的 0 株；三是松树病枯死株率呈极显著下降，由 2002 年的万分之 482.202 减少到 2011 年的 0，危害明显减轻，而且松材线虫病枯死率 2010 和 2011 年连续两年为零。

表 1 历年清理松枯死树^①

Tab.1 The dead pine clearance in the past years

年份 Year	发生面积 Damaged area / hm ²	病枯死木数 The number of withered trees	濒死木 Dying trees	人为因素枯死木 Dead trees caused by human factors	松树总株数 The total pine	松材线虫病枯死率 The rate of withered trees caused by <i>B. xylophilus</i>
------------	---	--	--------------------	--	-------------------------	--

						/10 ⁻⁴
2002	1973	136968		7148	2840468	482.202
2003		194	15482	11961	2812831	0.690
2004		132	5884	11802	2795013	0.472
2005		99	3046	7466	2784402	0.356
2006	365.4	17	9796	26078	2748511	0.062
2007	42.8	6	3177	12022	2733306	0.022
2008	32.2	2	3009	5009	2725288	0.0073
2009	21.6	2	4856	3666	2716766	0.0074
2010	0	0	1140	1896	2713730	0
2011	0	0	507	3439	2709784	0
合计	—	137420	46897	90487	—	—
Total						

①总株数的统计是以 1998 年二类调查的 2984584 株为基础, 忽略不计每年新长的松树。濒死木包括衰弱木、受压木、旱死木等, 人为因素枯死木包括因市政建设、果农乱砍滥伐等。The total pine based on forestry resource inventory data, which was 2984584 in 1998, and the statistics ignore the new growth of pine. Dying trees included weak trees, over-topped, drought and so on. In addition, dead trees caused by human factors included municipal construction and fruit grower's indiscriminate felling of trees.

2.2 诱捕器诱捕松墨天牛成虫效果

从厦门岛内和石狮的松墨天牛诱捕情况的统计结果(表 2)揭示, 应用诱捕器和引诱剂可以有效降低松墨天牛种群数量, 虽然诱捕器数量每年都在增加, 但是诱捕到的松墨天牛成虫数量却在减少。厦门岛内 9 a 共引诱到松墨天牛成虫 30737 头, 平均每个诱捕器每年诱集到的松墨天牛成虫由 2002 年的 72.7 头逐年下降到 2010 年的 1.0 头; 石狮 4 a 共引诱到松墨天牛成虫 7444 头, 平均每个诱捕器每年诱集到的松墨天牛成虫由 2008 年的 23.2 头逐年下降到 2011 年的 6.2 头; 表明持续控制区内松墨天牛成虫种群数量逐年下降到较低水平。对固定监测点诱捕到的松墨天牛活虫, 进行室内分离、培养、鉴定, 发现松材线虫携带率也呈逐年下降趋势; 同时, 一旦发现松墨天牛有携带线虫的林班, 应作为除治重点。在诱集过程中还观察到, 厦门岛内最早的年份 2 月份开始就有松墨天牛成虫羽化出孔活动, 时间一直持续到 11 月, 几乎全年可见成虫活动。一般情况下, 枯死树数量多的地方, 诱集到的天牛成虫数量则多; 枯死树数量少的地方, 诱集到的天牛成虫数量则少, 这些都说明了清理枯死树, 清除松墨天牛滋生场所是松材线虫病持续控制极其重要的环节。

表 2 松墨天牛诱捕情况统计表

Tab.2 The statistics of *M. alternatus* entrapped

疫区 Epidemic areas	年份 Year	诱捕器数量 The number of traps /个	诱集到的松墨天牛成虫数 The number of <i>M.</i> <i>altermatus</i> entrapped /头	平均诱捕天牛数 Average larva entrapped /头·个 ⁻¹	松材线虫携带率 The carried rate of <i>B.</i> <i>xylophilus</i> /%
厦门岛内 Xiamen	2002	220	15994	72.7	—
	2003	223	4921	22.1	—
	2004	323	2514	7.8	—
	2005	350	1982	5.7	—
	2006	467	1800	3.9	2.7
	2007	550	995	1.8	0
	2008	500	571	1.1	0.34
	2009	500	1473	2.9	0.204
	2010	500	487	1.0	0
	Σ	3633	30737	—	—
石狮 Shishi	2008	100	2318	23.2	—
	2009	100	2282	22.8	0.77
	2010	100	2226	22.3	0.15
	2011	100	618	6.2	0
	Σ	400	7444	—	—

2.3 山场套袋化学熏蒸效果

从厦门岛内连续 6 a 的山场套袋化学熏蒸效果进行的抽查统计结果（表 3）显示，山场套袋化学熏蒸对松墨天牛杀灭率达到 100%，对松材线虫毒杀率为 76.4%，说明在袋内投入磷化铝药丸熏蒸能杀灭松墨天牛的同时也能在一定程度上杀死松材线虫。

表 3 山场套袋化学熏蒸效果

Tab.3 The effect of chemical fumigation in field

熏蒸时间	取样时间	熏蒸地点	熏蒸木种类	取样袋数	总天牛数	活天牛数	有松材线虫	松墨天牛杀	松材线虫杀
------	------	------	-------	------	------	------	-------	-------	-------

Fumigation time	Sampling time	Fumigation place	The kinds of trees fumigated	Number of bags sampled	Total number of <i>M.alternatus</i>	Number of <i>M.alternatus</i> to live	The bags of <i>B. xylophilus</i> detected in wood	灭率 Killed rate of <i>M.alternatus</i> /%	灭率 Killed rate of <i>B. xylophilus</i> /%
2002-9-3	2002-9-26	植物园 1-4 Botanical garden 1-4	病枯死树 Withered trees	4	298	0	1	100	75.0
2003-6-5	2003-6-21	曾厝垵 1-3 Zengcuoan 1-3	病枯死树 濒死木 Dying trees	3 4	163 184	0 0	1 —	100 100	66.7 —
2004-10-11	2004-10-28	黄厝 5-3 Huangcuo 5-3	病枯死树 濒死、盗砍木	1	96	0	0	100	100
2005-7-11	2005-7-29	西林 3-9 Xiling 3-9	Dying trees、 Artificial felling trees	7	165	0	—	100	—
2006-8-23	2006-9-20	虎仔山 Huzaishan	病枯死树 Withered trees	3	147	0	1	100	66.7
2006-8-30		前埔 2-5 Qianpu 2-5	人为盗砍木 Artificial felling trees	7	267	0	—	100	—
2007-5-18	2007-6-13	云顶岩 1-2 Yundingyan 1-2	濒死、盗砍木 Dying trees、 Artificial felling trees	8	174	0	—	100	—
2007-9-25	2007-10-28	狐尾山开元 -3 Kaiyuan-3 in Huweishan	病枯死树 Withered trees	1	29	0	0	100	100
2007-10-2		虎仔山 Huzaishan		2	45	0	1	100	50

2.4 诱木诱杀效果

从厦门岛内和石狮的诱木引诱松墨天牛效果进行的抽查统计结果（表 4）可以看出，诱

木对松墨天牛有较好的诱集效果，可降低林间松墨天牛的虫口密度，是松材线虫病持续控制的有效措施之一。平均每株诱木有 10 头以上松墨天牛幼虫。其中厦门岛内 2006 年的平均幼虫数最多，是由于 2005 年仙岳山开发森林公园时人为的乱砍滥伐木没有及时清理，形成松墨天牛的滋生场所，造成次年虫口增加；从松材线虫检出率来看，2006 年抽检 11 株立式诱木，发现有 2 株携带松材线虫，而这 2 株诱木所在的山头的松枯死木都分离到松材线虫，说明立式诱木的设置可以诱集天牛成虫产卵，减少天牛种群密度，更为重要的是可以达到监测的目的。

表 4 诱木引诱松墨天牛效果^①

Tab.4 The effects of attracting *M. alternatus* by trap trees

疫区 Epidemic areas	年份 Year	诱木株数 Number of trap trees	调查株数 Number of trees investigated	平均每株有虫数 Average larva in one tree /头	松材线虫检出率 Detection rate of <i>B. xylophilus</i> /%
厦门岛内 Xiamen	2004	682	20	15.45	—
	2005	1600	20	11.85	—
	2006	800	20	21.65	18.2
		30*			
	2007	500*	20	10.75	0
2010	500*	20	6.7	0	
石狮 Shishi	2009	100	20	22.4	0
	2010	100	20	18.3	0
	2011	100	20	11.7	0

① *表示立式诱木，其它为砍断的诱木。*represented vertical induced wood, others were fallen.

2.5 管氏肿腿蜂大面积防治松墨天牛效果

管氏肿腿蜂林间大面积防治结果（表 5）表明，管氏肿腿蜂能有效地控制松墨天牛的虫口密度，降低了林间枯死树的数量，寄生效果较高，都达到 20% 以上，尤其是厦门岛内疫区的狐尾山和虎仔山，由于效果检查的是松墨天牛虫口密度比较高的人工诱木，校正寄生率高达 40.66% 和 37.97%，取得了明显防治效果。这是由于大面积释放管氏肿腿蜂后，大大提高了管氏肿腿蜂接触寄主幼虫的机会，更有利于肿腿蜂在林间定殖，而且林间定殖的肿腿蜂已适应了林区的环境，活动能力比人工繁殖的肿腿蜂寄生能力大得多，所以明显提高了松墨天牛的防治效果，达到防除松材线虫传播媒介的目的，可以进一步推广应用。

表 5 管氏肿腿蜂大面积防治松墨天牛幼虫效果

Tab.4 The control effects of *S. guani* against *M. alternatus* in large area

放蜂时间	放蜂地点	放蜂量	放蜂面积	检查时间	寄生效果 Parasitic effects
------	------	-----	------	------	---------------------------

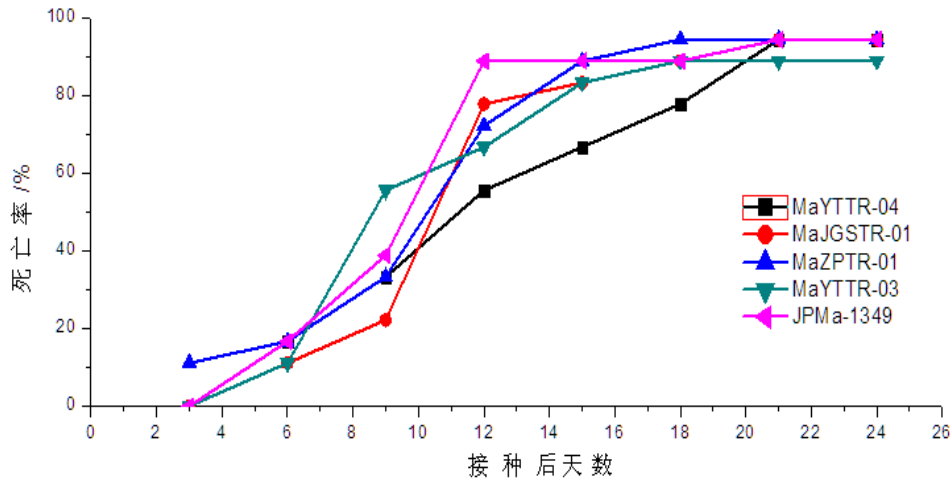
Releasing time	Releasing place	Number of releasing	Releasing area /hm ²	Investigation time	天牛数	寄生数	校正寄生率
					Number of <i>M. alternatus</i>	Parasitized number	Regulate parasitic rate /%
2005-6-25	同安区西山Xishan in Tong'an district	10000	44	7-29	143	40	23.89
2005-7-1	同安区郭山 Guoshan in Tong'an district	10000	35	8-3	112	29	21.70
2005-6-27	翔安区狮头山林场 Shitoushan forest farm of Xiang'an district	10000	31	7-31	184	56	26.67
2005-7-3	翔安区出米岩 Chumiyan in 翔安区狮头山林场	10000	18	8-5	87	31	29.19
对照Contrast	翔安区出米岩 Shitoushan forest farm of Xiang'an district	—	—	8-5	56	3	—
2007-7-1	厦门岛内狐尾山	10000	100	8-11	362	137	40.66
对照Contrast	厦门岛内狐尾山 Huweishan in Xiamen	—	—	8-11	68	5	—
2007-7-1	厦门岛内虎仔山	10000	38	8-15	257	113	37.97
对照Contrast	厦门岛内虎仔山 Huzaishan in Xiamen	—	—	8-15	31	3	—

2.6 高致病力绿僵菌的筛选及接种试验效果

为了收集、筛选对松墨天牛致病力强的绿僵菌，本课题从福建为主的 40 多个县（市、区），共 110 个林分样区采集土壤样品 330 份，从 26 份土样中分离到金龟子绿僵菌。在对绿僵菌菌株的产孢情况进行研究的基础上，筛选出 MaZPTR01、MaYTTR04、MaYTTR03、MaJGSTR01 对松墨天牛成虫、幼虫均有较强致病力的 4 个菌株（图 1），致死率均超过 88%。尤其是 MaYTTR04 菌株，在 25℃~32℃ 较高的变温环境下致病力没有改变。林间处理的平均死亡率为 60%，说明 MaYTTR-04 菌株在林间也具有较强致病力。为菌剂生产提供了菌株保障。

图 1 金龟子绿僵菌不同菌株对松墨天牛成虫的累计死亡率

对松墨天牛成虫采用爬行、跗节、喷雾 3 种方式接种金龟子绿僵菌 MaYTTR-04 后的带菌量和死亡率进行了比较试验，旨在为松墨天牛的生物防治技术提供有效的施菌技术。不同



方式接种绿僵菌后松墨天牛成虫累积死亡率见图 2，从图中可以看出，随着时间的增加各处理的天牛死亡率逐渐增加，最早第 2d 就开始出现死亡，死亡高峰发生 5~7d，到第 15d 时，各处理天牛死亡率均达 100%，而此时对照组死亡率为 8.0%，说明绿僵菌对松墨天牛有显著的致病力，天牛累计死亡率曲线也符合虫生真菌（绿僵菌）致病的一般规律。爬行接种在第 9d 时死亡率就达到 100%，致死速度较另外两种快，主要是由于爬行接种后松墨天牛带菌量较大的缘故。从感染僵虫率来看，三种接种方法均较高，以爬行接种最高，达 95.8%，对照未出现僵虫。总的来说，3 种接种方式接种后，绿僵菌对松墨天牛均表现出了非常强的致病力，其中爬行接种致病效果最好。因此，可将菌株制成菌条和粉炮等剂型应用于生产，目前推广面积 8 万多亩。

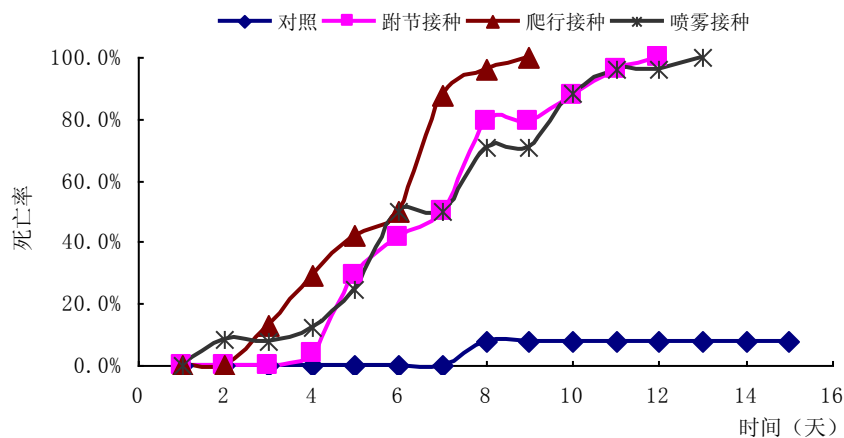


图 2 不同方法接种后松墨天牛的累积死亡率

2.7 化学防治效果

在厦门岛内喷洒 16% 虫线清乳油 400 倍液 (A)、石狮喷洒 1% 噻虫啉微胶囊悬浮剂 (B) 防治松墨天牛成虫，效果是喷药后在每个套笼内检查松墨天牛存活数，计算死亡率。结果 (表

6) 显示, 化学防治措施是快速降低松墨天牛虫口密度的有效手段, 校正防效达 90% 以上。但是, 福建的雨季恰好与松墨天牛的羽化高峰期相吻合, 所以, 长效期可能不如其它省份, 所以可作为生产上降低松墨天牛虫口的辅助措施。

表 6 化学防治松墨天牛效果

Tab.6 The chemical control effects of *M. alternatus*

疫区 Epidemic areas	年份 Year	处理 Treatment	防治前活虫数 /头	防治后活虫数 /头			校正防效 /%		
			Number of live larva before spraying insecticide	Number of live larva after spraying insecticide			Correction control effect		
				1 d	2 d	3 d	1 d	2 d	3 d
厦门岛内 Xiamen	2005	A	60	14	11	6	75.65	80.87	89.09
		对照 Contrast	24	23	23	22	—	—	—
	2007	A	65	12	9	4	81.54	85.60	93.33
		对照 Contrast	26	26	25	24	—	—	—
石狮 Shishi	2009	A	70	11	8	5	84.29	88.57	92.59
		对照 Contrast	28	28	28	27	—	—	—
	2010	B	75	8	5	1	89.33	93.10	98.57
		对照 Contrast	29	29	28	27	—	—	—
2011	B	70	8	4	2	88.57	94.07	96.92	
	对照 Contrast	28	28	27	26	—	—	—	

3 结论与讨论

2001~2011年在福建省厦门岛内 1973 hm² 的疫点内,共清除 137420 株病枯死松树,46897 株衰弱木、受压木、旱死木等濒死木,90487 株因市政建设等人为因素造成死亡的松树,以及健康树上的枯枝,并对这些松树(枝)进行了山场套袋化学熏蒸处理,套袋熏蒸对松墨天牛杀灭率达到 100%,对松材线虫毒杀率为 76.4%。应用自主创新产品诱捕器和引诱剂,在厦门岛内 9 a 共引诱到松墨天牛成虫 30737 头,石狮 4 a 共引诱到松墨天牛成虫 7444 头,而且对所诱集到的松墨天牛活成虫进行室内分离、培养、鉴定,这样不仅能降低松墨天牛虫口,而且能达到监测疫情的目的。人为设置的诱木平均每株诱虫数在 10 头以上,有效地降低了虫口基数;管氏肿腿蜂大面积防治效果达 20% 以上;所筛选的金龟子绿僵菌对松墨天牛成虫有很好的致病效果;这些技术措施都大大降低了林间松墨天牛的虫口密度,有效地控制了松材线虫病的传播媒介,为避免疫情反弹提供了技术支撑。

厦门岛内经过 10 a 的持续控制,病死松树由发生当年的 136968 株降低到 2011 年的 0 株;诱捕的松墨天牛成虫从 2002 年的 15994 头降到 2010 年的 487 头、线虫携带率为 0;松材线虫病发生率由 2002 年的万分之 482.202 减少到 2011 年的 0;石狮经过 4 a 的持续控制,也实现了疫情发生面积和病枯死数双下降的目标,2011 年松材线虫病枯死率和松材线虫携带率皆为 0,都取得了显著的成效。

厦门市的松材线虫病除治经费累计投入 1021.5 万元(不含监理费、管理费、林改等相关费用),其中 2002-2004 年度 314 万元,2005-2007 年度 218 万元,2008-2010 年度 280 万元,2011 年度 112 万元,10 年人为砍伐总投入 97.5 万元,平均年投入 102 万元,按岛内现有松林面积 34764 亩计算,平均每年每亩除治费 29.4 万元;石狮由于疫区面积小,投入经费相对多一些;所以松材线虫病持续控制技术是一套行之有效的松材线虫病持续控制模式,也说明了松材线虫病是可防可治的。目前该技术也在福建三明市的泰宁、福州国家森林公园等地推广应用。

参考文献

- 蔡守平,何学友,黄金水,等.不同方式接种绿僵菌后松墨天牛带菌量及致死率的比较.福建林业科技,2009,36(3):32-35.
- 陈凤毛,汤坚,叶建仁.2005.松材线虫病鉴定方法与评价.安徽农业大学学报,32(1):22-25.
- 方天松,余海滨,叶燕华,等.2007.从化温泉松材线虫病综合防治示范区建设及其成效.广东林业科技,23(6):51-55.
- 国家林业局植树造林司.2002.国家林业局森林病虫害防治总站.松材线虫病防治手册.78-81
- 何学友,蔡守平,余培旺,等.金龟子绿僵菌 MaYTTR-04 菌株对松墨天牛成虫致病力.昆虫学报,2008,

51 (1): 102-107.

- 何学友, 黄金水. 2005. 日本松材线虫病研究的最新动向. 中国森林病虫, 24 (5): 26-31.
- 黄炳荣. 2004. 日本松材线虫病防治技术及我省防治对策. 福建林业科技, 31 (4): 103-106, 114.
- 黄金水, 何学友. 2001. 我国松材线虫病研究现状及福建省防范对策的探讨. 福建林业科技, (4): 12-17.
- 黄金水, 汤陈生, 陈金渭. 2010. 厦门市松材线虫病的持续控制技术. 林业科学, 46(10): 83-88.
- 蒋平. 2000. 松材线虫病防治技术探讨. 浙江林业科技, 20(2): 63-65.
- 刘云鹏, 徐福元, 王爱忠, 等. 2008. 松材线虫病综合治理引诱技术对天牛种群的影响. 林业科技开发, 22 (1): 50-52
- 潘宏阳. 2000. 当前我国松材线虫病的治理对策. 森林病虫通讯, (6): 44-47.
- 秦复牛, 潘沧桑. 2003. 松材线虫病研究进展. 安徽农业大学学报, 30(4): 370-376.
- 王爱忠, 刘云鹏, 王正伟, 等. 2007. 天目湖松材线虫病综合治理示范区清除病死树效果研究. 江苏林业科技, 34 (6): 15-17.
- 王敏敏, 叶建仁, 王云华. 2006. 引诱剂防治松材线虫病及其配套技术. 南京林业大学学报, 30(4): 129-131.
- 王新荣, 陈纪文, 宋比, 等. 2006. 松材线虫病综合治理模式及其成效分析. 广西农业生物科学, 25 (3): 235-238.
- 杨宝君, 潘宏阳, 汤坚, 等. 2003. 松材线虫病. 北京: 中国林业出版社, 6-8.
- 朱克恭. 1995. 松材线虫病研究综述. 世界林业研究, (3): 28-33.
- 张连芹, 宋世涵, 黄焕华, 等. 1991. 利用引诱剂和管氏肿腿蜂防治松墨天牛的研究[J]. 林业科学研究, 4 (3): 285-291.
- 张星耀, 骆有庆. 2003. 中国森林重大生物灾害. 北京: 中国林业出版社, 1-8.
- Shimazu M. 2004. A novel technique to inoculate conidia of entomopathogenic fungi and its application for investigation of susceptibility of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*, to *Beauveria basiana*. Appl. Entomol. Zool., 39(3): 485-490.
- Lai Y X, 2000. Zhou Y P, Yu L X, et al. Study on instantly burning dead pines at cutting spots in pine forests to control pine wilt disease. Journal of Japanese Forestry Science & Technology, 27 (6): 28- 32.

作者简介:

黄金水同志 1978 年毕业于南京林产工业学院林学系森林保护专业以来, 一直都在从事森林保护科研及推广工作。现任福建省林科院党委委员、森林保护研究所所长、教授级高工; 兼任中国林学会森林昆虫分会常务理事, 福建省昆虫学会副理事长, 省青年科学家协会副理事长, 省人民政府应急管理专家组成员, 省林学会常务理事、森保专业委员会副主任委员。

先后承担国家八五~十一五科技攻关(支撑)、国家自然科学基金, 省部级科研、引进、中试、推广等各类重大项目 30 多项, 获国家科技进步奖 2 项、省部级科学技术奖 18 项, 国家专利 3 项, 制定地方技术标准 2 项, 审定良种 3 个。发表论文 100 多篇, 主编或参编了 4 本专著。获全国五一劳动奖章、全国优秀科技工作者、全国绿化祖国突击手、全国沿海防护林体系建设先进个人、中国林业青年科技奖、中国好人榜好人, 福建省杰出科技人才、福建省优秀专家、福建十佳农

业科技推广工作者、福建十大三农人物、福建青年科技奖、省林业系统先进工作者等 30 多项荣誉称号；1993 年起享受国务院政府特殊津贴，2011 年当选为中共福建省第九届党代会代表。