

# 用溴甲烷熏蒸松材线虫病木 处理技术的研究\*

王玉嫵 宋玉双 臧秀强 刘阳 葛明宏 赵菊林

**摘要** 用溴甲烷熏蒸松材线虫病木是目前生产上主要的检疫处理方法。本文对影响熏蒸处理效果的单因素分析表明:低温降低了熏蒸效果;增加投药量可提高效果;熏蒸时间以72 h为宜;病木含水率高,熏蒸效果差;堆垛上、中、下部的效果依次增高;堆垛的大小则以50~70 m<sup>3</sup>为宜;病木小头直径在6.0~17.1 cm之间对熏蒸效果无显著影响。影响处理效果的多因素综合分析表明:影响熏蒸效果的顺序为温度、投药量、熏蒸时间。在一定温度条件下,提高投药量可缩短熏蒸时间,延长熏蒸时间则可降低投药量。在10℃以下(不低于4℃),投药量与熏蒸时间乘积在5 000~6 000之间,熏蒸效果即可达100%。

**关键词** 松材线虫、松褐天牛、溴甲烷、熏蒸处理

自 Le Goupi 在 1932 年在法国第一次报道溴甲烷防治害虫的价值以来,溴甲烷已广泛应用于植物的检疫处理。溴甲烷在我国用于松材线虫病的熏蒸处理始于 1987 年,赵菊林等<sup>[1]</sup>对溴甲烷杀灭松材线虫病木中媒介昆虫——松褐天牛 *Monochamus alternatus* Hope 幼虫的效果进行了初步研究;王玉嫵等<sup>[2]</sup>在应用溴甲烷杀灭松褐天牛幼虫的同时,对杀死病木中病原线虫——松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Burher) Nickle 的效果进行了调查;唐祖庭等<sup>[3]</sup>对野外帐幕熏蒸材料的选择也作了分析。在此基础上,本项研究重点对影响熏蒸效果的多项因子进行综合分析,确定在不同条件下的最佳投药量和熏蒸时间,使松材线虫病木的熏蒸处理技术规范、标准化,更好地在松材线虫病疫区推广使用。

本研究于 1990 年 10 月至 1992 年 5 月在江苏省江宁县汤山林场进行。该场为 1984 年开始发生松材线虫病的老疫区,也是最早使用溴甲烷熏蒸松材线虫病木的林场,有一定的基础和经验。三年来在结合生产熏蒸的同时完成了课题研究内容,现将结果报道如下。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 溴甲烷(Methyl bromide)

试验所用溴甲烷(CH<sub>3</sub>Br)为国营江苏连云港市海水化工一厂生产,质量符合国家标准(GB434—82)。溴甲烷无色、无味、不燃,沸点 3.6℃,冰点-9.3℃,气体比重 3.27,液体比重 1.732,微溶于水。用耐压钢瓶包装。

1993—03—04 收稿。

王玉嫵高级工程师,宋玉双,臧秀强,刘阳(林业部森林病虫害防治总站 沈阳 110034);葛明宏(江苏省农林厅森林病虫害防治站);赵菊林(南京市农林局森林病虫害防治站)。本文执笔:王玉嫵、宋玉双。

\* 本文为 1989~1992 年国家科委重点科技项目“松材线虫病研究”的部分内容。江苏省江宁县汤山林场耿顺桂、陈业林、丁小龙、郝茂文、戎仁远同志参加部分试验工作,在此一并致谢。

## 1.2 熏蒸帐幕

为双面压延防水布,江苏省仪征市增强塑料布厂生产,规格有12 m×10 m、10 m×8 m两种。其密闭性能、抗拉强度、抗撕裂强度等物理性能指标符合熏蒸要求,可多次使用,多块拼接,是目前常用的熏蒸覆盖材料。

## 1.3 熏蒸处理材料

为汤山林场所属长山、余村、龙泉、汤山和黄栗墅工区清理下来的松材线虫病死树,多为黑松 *Pinus thunbergii* Parl.、马尾松 *P. massonina* Lamb.,树龄多为20年生左右,胸径10 cm左右,树高8 m左右。

## 1.4 气象资料

1990年10月至1991年5月、1991年10月至1992年5月,熏蒸处理期间的气象资料由江苏省江宁县气象站提供。

## 1.5 熏蒸处理方法

本试验采用林间帐幕熏蒸处理方法<sup>1)</sup>。

1.5.1 选择熏蒸场地 在林间选择一块地势平坦、土壤紧密、阳光较充足、通风良好、交通方便、远离居民区的地方作为熏蒸场地。

1.5.2 熏蒸布置 将病死木去掉枝叉及树根(另作处理)后在熏蒸场地上推垛。垛高一般为1.5 m左右,堆垛大小为30~80 m<sup>3</sup>不等。堆垛四周挖一圈宽20 cm以上、深30 cm以上的沟,挖出的土堆放在沟外侧。本试验堆积一般在70 m<sup>3</sup>以上,多为1个投药点,设在堆垛上部中央处,在投药点将一块50 cm×50 cm的塑料布吊起四角,形成一个中间下凹的蒸发盘,然后将投药管的一端置于蒸发盘内,另一端伸出沟外。在堆垛上覆盖帐幕,帐幕四周边埋入沟中,用沟外侧的土回填,适当加水,踩紧踏实。

1.5.3 投药 根据试验所要求的投药量和丈量好的堆积计算整个堆垛的总投药量,检查确认封闭严密后开始投药。操作人员站在上风头处缓缓打开置于磅称上的钢瓶阀门,使溴甲烷通过投药管进入堆垛,直到磅秤上显示已放完所需要的药量即关闭阀门,取出投药管,封好进药口,保持密闭至试验所要求的熏蒸时间。

1.5.4 散毒 熏蒸完毕先将帐幕四周边打开,再揭去整个帐幕充分散毒。

## 1.6 浓度测定

使用沈阳光学电子仪器厂生产的AQG-1光干涉型甲烷测定器测定投药后溴甲烷浓度变化。一般在投药后2 h第1次测定,在24、48、72 h后必测,此外,根据具体情况测定若干次。

## 1.7 帐幕内外温度的测定

将最低最高温度计分别放置帐幕内外,测定熏蒸过程帐幕内外的最低、最高温度。

## 1.8 效果检查

熏蒸效果采用杀死松褐天牛幼虫百分率和线虫密度两项指标来评价。熏蒸结束后在堆垛的上、中、下不同部位分别取一长约50 cm的样段,劈开检查松褐天牛死亡情况,在样段上取样带回实验室作贝尔曼(Baermann)漏斗分离,镜检线虫死亡情况。天牛死亡率达到100%时为天牛合格,线虫密度为0时为线虫合格,两项指标均合格为两项合格。

1)中华人民共和国动植物检疫总所. 美国植物保护与植物检疫手册. 1989. (3).

## 2 试验结果

### 2.1 影响熏蒸效果的单因素分析

由于生产实际不能实现每项单因素分析时其它各项条件完全同等的严格试验条件,因此,本项分析在客观上或多或少地存在着各种因素的综合作用,但通过尽量多的调查分析,仍可基本上反映出各种因素对熏蒸效果的影响。

2.1.1 温度 1990年11月至1991年5月对不同温度条件下熏蒸的29堆熏蒸效果的调查表明(表1),温度是影响熏蒸效果的重要因素。熏蒸过程的低温不利于溴甲烷的扩散和渗透,导致药剂吸附沉降在堆垛底部,从而降低了熏蒸效果。

表1 温度对熏蒸效果的影响

温度条件(°C)			调查堆数	合格率(%)		
最高	最低	平均		天牛	线虫	两项
4.1~11.3	-2.5~6.6	0.6~7.7	12	75.0	75.0	58.3
7.4~9.5	0.3~4.4	3.0~5.8	5	40.0	80.0	40.0
11.5~16.5	2.3~4.5	7.3~9.8	8	100.0	87.5	87.5
20.6~23.5	9.0~14.0	16.0~17.4	4	75.0	100.0	75.0

2.1.2 投药量 1990年11月至1991年5月对71堆不同投药量熏蒸效果的调查表明(表2),投药量的增加有提高熏蒸效果的作用。

表2 投药量对熏蒸效果的影响

投药量(g/m <sup>3</sup> )	调查堆数	合格率(%)		
		天牛	线虫	两项
50	6	50.0	33.3	33.3
60	20	75.0	70.0	60.0
70	7	71.4	57.1	42.9
80	18	88.9	83.3	77.8
90	8	87.5	100.0	87.5
100	12	91.7	91.7	83.3

2.1.3 熏蒸时间 1990年11月至1991年5月对79堆不同熏蒸时间熏蒸效果的调查结果(表3)表明,熏蒸时间以72h为好。

表3 熏蒸时间对熏蒸效果的影响

熏蒸时间(h)	调查堆数	合格率(%)		
		天牛	线虫	两项
24	6	16.7	0	0
48	9	77.8	44.4	44.4
72	64	85.9	85.9	78.1

2.1.4 病木含水率 两年同时期比较可见(表4),由于降水量相差近一倍,导致病木含水率也有很大差异,且含水率高熏蒸效果差。这主要是由于溴甲烷难溶于水,病木含水率高阻止了溴甲烷渗透之故。

2.1.5 堆垛部位 1990年11月至1992年5月分别调查了堆垛上、中、下不同部位的117个样段,结果表明(表5)熏蒸下部略好于中部,中部好于上部。这主要是由于溴甲烷比重比空气重,熏蒸过程中下部药剂浓度高于中、上部的缘故。

表4 病木含水率对熏蒸效果的影响

调查日期(年—月)	降水量(mm)	病木含水率(%)	调查堆数	合格率(%)		
				天牛	线虫	两项
1990-11~1991-02	237.9	66.4	35	60.0	60.0	48.6
1991-11~1992-02	119.4	38.6	37	86.5	97.3	83.8

表5 堆垛不同部位的熏蒸效果

堆垛部位	调查样段数	合格率(%)		
		天牛	线虫	两项
上部	39	100.0	79.5	79.5
中部	42	100.0	92.9	92.9
下部	36	94.4	100.0	94.4

2.1.6 堆垛大小 1991年11月至1992年5月对堆垛大小不同的86堆熏蒸效果的调查表明(表6),效果比较好的集中在堆积为50~70m<sup>3</sup>之间,堆垛过小、过大都会对熏蒸效果带来一定影响。

2.1.7 径级大小 1991年11月至1992年5月对36堆熏蒸效果的调查表明(表7),小头直径范围在6.0~17.1 cm之间,多为6.0~8.0 cm,对熏蒸效果的影响不论是单项指标还是两项指标均无显著影响。

表6 堆垛大小对熏蒸效果的影响

堆 积 (m <sup>3</sup> )	调查堆数	合 格 率 (%)		
		天 牛	线 虫	平 均
40 以下	22	68.2	63.6	54.5
40.1~50	15	73.3	73.3	66.7
50.1~60	20	95.0	85.0	80.0
60.1~70	10	100.0	100.0	100.0
70 以上	19	73.7	63.2	52.6

表7 径数大小对熏蒸效果的影响

小头直径 (cm)	调查堆数	合 格 率 (%)		
		天 牛	线 虫	两 项
6.0~8.0	23	61.0	56.0	43.5
8.1~10.0	10	40.0	60.0	40.0
10.1 以上	3	66.7	33.3	33.3

## 2.2 影响熏蒸效果的多因素综合分析

在上述7项因素中,堆垛大小、堆垛部位、径级大小及病木含水率属于病木自身或熏蒸本身因素,而温度的高低、熏蒸时间的长短、投药量多少是环境或人为因素造成的,是影响熏蒸效果的重要因素,三者之间相互关联、相互影响,为此,对这3个因素进行综合分析。

2.2.1 正交分析 设温度、投药量和熏蒸时间为试验的3个因素,每个因素取3个水平。第1、2、3水平分别为熏蒸当天的最高温度10℃以下,10~20℃、20℃以上;投药量60 g/m<sup>3</sup>以下、60~80 g/m<sup>3</sup>、80 g/m<sup>3</sup>以上;熏蒸时间24、48、72 h。以两项指标合格率为熏蒸效果。取L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交设计表进行分析(表8)。

表8 正交试验结果分析

试 验 号	温度(℃)	投药量(g/m <sup>3</sup> )	熏蒸时间(h)	熏蒸效果
1	10 以下	60 以下	24	0.33
2	10 以下	60~80	48	0.50
3	10 以下	80 以上	72	0.79
4	10~20	60 以下	48	0.80
5	10~20	60~80	72	0.80
6	10~20	80 以上	24	1.00
7	20 以上	60 以下	72	1.00
8	20 以上	60~80	24	0.75
9	20 以上	80 以上	48	1.00
I <sub>j</sub> (各列第1水平之和)	1.62	2.13	2.08	
II <sub>j</sub> (各列第2水平之和)	2.60	2.05	2.30	
III <sub>j</sub> (各列第3水平之和)	2.75	2.79	2.59	
$\bar{I}_j$ (平均值)	0.54	0.71	0.69	
$\bar{II}_j$ (平均值)	0.87	0.68	0.77	
$\bar{III}_j$ (平均值)	0.92	0.93	0.86	
R( $\bar{I}_j$ 、 $\bar{II}_j$ 、 $\bar{III}_j$ 中最大最小之差)	0.38	0.25	0.17	

这里,因素极差R值的大小说明该因素对熏蒸效果影响的大小,从表8可见,温度、投药量、熏蒸时间的R值顺次为0.38、0.25、0.17,因此,可排列出3个因素对熏蒸效果影响的主次顺序:

主—————→次  
 温度————→投药量————→熏蒸时间

2.2.2  $CT$  值分析 以上有关分析看出,在一般情况下加大投药量或延长熏蒸时间可提高熏蒸效果,而在一定温度条件下要达到同样的熏蒸效果,在一定范围内提高投药量则可以缩短熏蒸时间;延长熏蒸时间则可以降低投药量。两者的关系用投药量  $C$  与熏蒸时间  $T$  的乘积  $CT$  值表示。分析结果见表 9。表中的温度为投药当天的最高温度,熏蒸效果为两项指标合格率。

表 9 不同温度下  $CT$  值与熏蒸效果的关系 (单位:%)

$CT$ 值	温 度 (°C)		
	10 以下	10~20	20 以上
2 000 以下	33.3		
2 000~3 000	50.0	33.3	100.0
3 000~4 000	85.7	100.0	
4 000~5 000	85.7		
5 000~6 000	100.0		

### 2.3 熏蒸处理的规范化试验

在对影响熏蒸效果的单因素分析和多因素综合分析的基础上,根据南京地区的气象资料分析,对 1991 年 11 月至 1992 年 5 月的熏蒸采用规范化试验(见表 10)。在方案要求处理的 70 堆中除 1992 年 4 月的 10 堆因故未完成外,其它 60 堆的熏蒸效果两项合格的为 56 堆,总合格率为 93.3%。这一试验结果为松材线虫病木处理标准化提供了科学依据。

表 10 熏蒸处理规范化试验结果

熏蒸日期 (年-月)	温度条件(°C)		投药量 (g/m <sup>3</sup> )	熏蒸时间 (h)	$CT$ 值	熏蒸堆数	合格率 (%)
	月平均	最 高					
1991-11	11.1	9.8~24.8	60	48	2 880	5	82.0
				72	4 320	5	100.0
1991-12	5.0	-4.0~19.5	80	48	3 840	5	100.0
				72	5 760	5	100.0
1992-01	3.0	2.2~19.8	90	48	4 320	5	82.0
				72	6 480	5	71.0
1992-02	6.3	2.0~26.5	80	48	3 840	5	100.0
				72	5 760	5	100.0
1992-03	7.6	2.9~21.0	70	48	3 360	5	100.0
				72	5 040	5	100.0
1992-04	16.0	14.5~29.4	60	48	2 880	—	—
				72	4 320	—	—
1992-05	20.3	13.0~33.9	50	24	1 200	5	100.0
				48	2 400	5	100.0

## 3 结论和讨论

本研究经 1990 年 10 月至 1992 年 5 月两个冬春与当地生产熏蒸相结合,共完成了 292 个堆次,16 408.7 m<sup>3</sup> 的熏蒸量,基本上达到检疫要求。

(1) 利用溴甲烷熏蒸处理松材线虫病木是一种简便易行、经济有效的检疫处理法。它能较彻底消灭病木中的病原线虫和媒介昆虫,并使病材具一定利用价值。

(2) 温度、投药量、熏蒸时间是影响效果的主要因素。各疫区在进行病木检疫熏蒸处理时,为了达到 100% 的熏蒸效果,可根据当地的气温变化情况,参照本研究结果,选择适宜的投药量和熏蒸时间,在温度较低时可适当提高投药量或延长熏蒸时间。

南京地区 12 月下旬至 2 月上旬为一年中最寒冷的时期,尽管溴甲烷的沸点为 3.6 °C,但当最高气温低于 4 °C 时应暂时停止熏蒸工作。在最高气温为 5~10 °C 时,可在上午 10 时至下午 3 时投药。

(3)效果检查是签发检疫证书的依据,必须严格执行。两年来大量的熏蒸效果调查表明,松材线虫与松褐天牛合格的一致率为86.9%,因此,只检查松褐天牛一项标准不能完全反映出松材线虫死亡情况,故熏蒸效果需以两项指标合格为准。

对天牛幼虫的死活可根据以下特征判定:一般经烫、烤、刺等外界刺激后活虫动,死虫不动;活虫虫体较有弹性,死虫虫体较软,压后不能恢复或恢复缓慢;活虫体表有光泽,死虫无;活虫头部向腹面弯曲,死虫前伸;活虫虫体截面呈圆形,死虫呈扁圆形。

(4)堆积丈量是否准确对投药量的计算有着很大影响。因此,堆垛要尽量整齐,基本上形成一个长方体。若堆垛不整齐,有较明显的差异时,高度的丈量取其平均值来计算。

(5)目前生产上应用的熏蒸帐幕有两大类:农用薄膜(聚乙烯薄膜)和双面压延防水布。两种帐幕各有其优缺点,可根据具体情况选择使用。

### 参 考 文 献

- 1 赵菊林,孙家禄,王振德.溴甲烷熏蒸病材杀灭松褐天牛幼虫的试验.江苏林业科技,1989,(4):31~33.
- 2 王玉嫵,舒朝然,李海燕,等.溴甲烷熏蒸对松材线虫致死作用的初步试验.森林病虫通讯,1989,(2):26~27.
- 3 唐祖庭,王保章.松材线虫病熏蒸覆盖材料的选择.森林病虫通讯,1989,(2):28~29.

## Study on the Effect of Fumigation on the Wood Infested by Pine Wood Nematode with Methyl Bromide

Wang Yuyan      Song Yushuang      Zang Xiuqiang  
Liu Yang      Ge Minghong      Zhao Julin

**Abstract** Fumigation with methyl bromide ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ) is a major method to treat the wood infested by the pine wood nematode (PWN) (*Bursaphelenchus xylophilus*) at present. The important factors, such as temperature, dosage, duration of fumigation, the wood size, moisture of the wood, size of the wood stack, and the position of the wood in stack, were analyzed respectively. The effect of fumigation was retarded by low temperature and improved by the increase of dosage. The duration of 72 h fumigation was proper. The worse result was obtained while the wood moisture was higher. The fumigation effect of the stack in bottom was the best. The sizes between 50 to 70  $\text{m}^3$  was suitable for fumigation. The important factors affecting the results were temperature, dosage and duration of fumigation. The good results were achieved by increasing dosage and shortening duration of fumigation or prolonging the duration of fumigation and reducing dosage. The mortalities of PWN and *Monochamus alternatus* were 100% under  $CT$  value of 5 000~6 000 at 4~10  $^{\circ}\text{C}$ .

**Key words** *Bursaphelenchus xylophilus*, *Monochamus alternatus*, methyl bromide, fumigation treatment

Wang Yuyan, Senior Engineer, Song Yushuang, Zang Xiuqiang, Liu Yang (The General Station of Forest Pest Management, Ministry of Forestry, Shenyang 110034); Ge Minghong (Jiangsu Forest Protection Station); Zhao Julin (Nanjing Forest Protection Station).