

吴 晶,蔡正清,许忠祥,等. 热处理松材线虫在实际生存环境中的致死温度[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):123-125.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.07.042

# 热处理松材线虫在实际生存环境中的致死温度

吴 晶<sup>1</sup>,蔡正清<sup>2</sup>,许忠祥<sup>1</sup>,韩鸣花<sup>1</sup>,王建斌<sup>3</sup>,李玉秀<sup>4</sup>,宋 杰<sup>1</sup>

(1. 南京出入境检验检疫局,江苏南京 210001; 2. 南京林业大学,江苏南京 210037;

3. 苏州出入境检验检疫局,江苏苏州 215000; 4. 上海市林业总站,上海 200072)

**摘要:**研究松材线虫在其生存环境中的致死温度,为热处理企业的实际生产提供有效的指导。在恒温恒湿箱内放置 1 台检疫热处理模拟试验测控仪,风速恒定为 2.5 m/s,湿度设置为 40%、60%,温度设置为 46、48、50、52、54、56、58、60、62、64、66 ℃ 11 个梯度,选用粗细 0.1 cm 的病木进行试验热处理,处理时间设定为 31 min。为验证线虫在实际生存环境与其他环境中的致死温度的不同,增加水浴热处理线虫液试验,验证线虫在非生存环境下热处理的致死温度。湿度 40%、病木木心温度达到 62 ℃ 时,持续加热 31 min,线虫死亡率达 100%;湿度 60%、病木木心温度达到 60 ℃ 左右时,持续加热 31 min,线虫死亡率达 100%;水浴热处理线虫液,在水温达 43 ℃,持续加热 31 min 后,线虫全部死亡。结果表明,在其他环境参数相同时,40% 湿度下致死温度高于 60% 湿度。在相同湿度热处理条件下,线虫的致死率与处理温度呈正相关。当湿度为 60% 时,病木的处理条件更接近实际大窑热处理情况,木心温度达 60 ℃ 时,线虫死亡率可达 100%;水浴热处理线虫液在 43 ℃ 时,线虫死亡率达到 100%。由于环境湿度过大与实际热处理环境不同而引起了致死温度的变化,不能作为线虫热处理致死温度的参考。环境参数对线虫的致死的影响有待进一步研究,检疫热处理中执行国际标准时应考虑环境参数的影响。

**关键词:**热处理;松材线虫;生存环境;致死温度

**中图分类号:** Q958.112+.4;S432.4+5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)07-0123-03

松材线虫病[*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhrer) Nickle] 是松树的一种毁灭性病害,能导致树木快速死亡,传播蔓延迅速、防治难度大,被世界各国列为头号植物检疫对象。该病自 1982 年在我国首次发现后已成为我国较为严重的森林病害。随着我国进出口贸易的繁荣,木质包装已成为松材线虫传播的主要途径之一<sup>[1-2]</sup>。保证木质包装的有效处

理成为抑制松材线虫扩散的重要手段。国际标准中规定热处理必须使木材中心温度达到 56 ℃,并持续 30 min 以上,在这个标准下能有效杀死木质包装中各类植物线虫。但近年全国多次发生在热处理过的进境木质包装中截获松材线虫的案例<sup>[3-5]</sup>。松材线虫属线虫纲生物,其对温度相当敏感,高温处理可以高效杀死线虫个体<sup>[6]</sup>。热处理温度是影响热处理效果的关键因素,研究松材线虫在其生存环境中的致死温度,将为热处理企业生产提供有效指导。近年来有许多关于松材线虫在水浴加热处理下致死温度的研究。有关文献报道,将松材线虫从木材中分离放在水浴环境下,当温度达 51 ℃ 时处理 1 min,线虫死亡率达到 100%,静置 2 h 后无复活现象<sup>[7]</sup>。松材线虫在水浴环境下的致死温度与国际标准要求的温度相差甚远,其原因主要是因为松材线虫寄生于木材中,水浴加热情

收稿日期:2014-08-11

基金项目:国家质检总局项目(编号:2012IK277);江苏出入境检验检疫局项目(编号:2009KJ47)

作者简介:吴 晶(1981—),女,云南昆明人,硕士,农艺师,主要从事植物检疫与包装热处理研究。E-mail:wuj2@jsci.gov.cn。

通信作者:宋 杰,硕士,工程师,主要从事植物检疫与包装热处理研究。E-mail:songj@jsci.gov.cn。

[4] 吴青君,徐宝云,张治军,等. 京、浙、滇地区植物薊马种类及其分布调查[J]. 中国植保导刊,2007,27(1):32-34.

[5] 郑长英,刘云虹,张乃芹,等. 山东省发现外来入侵有害生物——西花薊马[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2007,24(3):172-174.

[6] 袁成明,邹军锐,李景柱,等. 贵州省蔬菜薊马的种类、分布及综合防治[J]. 湖北农业科学,2008,47(12):1442-1444.

[7] 刘 佳,张 林,卢焰梅,等. 湖南外来入侵害虫西花薊马初步调查[J]. 安徽农业科学,2010,38(25):13800-13801,13804.

[8] 任 洁,雷仲仁,张令军,等. 北京地区西花薊马发生为害调查研究[J]. 中国植保导刊,2006,26(5):5-7.

[9] 袁成明,邹军锐,郑珊珊,等. 西花薊马在贵阳地区发生危害调查研究[J]. 西南师范大学学报,2010,35(1):142-145.

[10] Wu X Y, Zhang H R, Li Z Y. Occurrence and seasonal pattern of

western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in Yunnan Province[J]. Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica, 2009, 44(1):135-146.

[11] 张宏瑞, Okajima S J, Mound L A. 薊马采集和玻片标本的制作[J]. 昆虫知识, 2006, 43(5):725-728.

[12] Mound L A, Kibby G. An identification guide[M]. 2nd ed. United Kingdom: CAB International, 1998:24-35.

[13] 韩运发. 中国经济昆虫志:第五十五册——缨翅目[M]. 北京:科学出版社, 1997:29-34.

[14] 蒋小龙, 白 松, 肖 枢, 等. 为中国昆明国际花卉节把关服务[J]. 植物检疫, 2001, 15(2):115-117.

[15] Bryan D E, Smith R F. The *Frankliniella occidentalis* (Pergande) complex in California (Thysanoptera: Thripidae) [J]. University of California Publications in Entomology, 1956, 10:359-410.

况下松材线虫在水中的致死温度不能代表其在实际生存环境中的致死温度。为进一步摸清楚热处理过程中松材线虫在实际生存环境中的致死温度,本试验利用恒温恒湿箱等仪器模拟热处理窑开展此项研究<sup>[8]</sup>。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

线虫寄生于木材内,木材内的环境为线虫的实际生存环境。因不同含水率的木材在热处理中对松材线虫的致死产生一定影响<sup>[9-10]</sup>,所以本试验选取松材线虫大量侵染的含水率约 30% 的马尾松病木为供试材料。

试验仪器有恒温恒湿箱、风速仪、水浴锅、双通道温度湿度检测仪(误差±0.5℃)、筛网、玻璃培养皿、线虫分离器、可调电源、检疫热处理模拟试验测控仪、奥林巴斯显微镜、人工气候箱等。

1.2 试验方法

为排除热处理过程中木材厚度、气干密度、含水率对试验的影响,同时较准确检测木心温度,将含水率为 30% 且携带松材线虫的侵染病木劈剪成 1 mm×1 mm×30 mm 的细木条 50 g 作为试验材料,随机平均分成 2 份,标记为供试样(Ⅰ)和对照样(Ⅱ)。

在热处理过程中环境湿度对木材热量吸收有较大影响<sup>[10]</sup>。为了使试验条件更接近生产实际,根据热处理窑实际情况,拟设定 40%、60%、80% 3 个湿度梯度。本研究用粗细 1 mm 的病木进行热处理,环境湿度在试验过程中直接影响试验病木本身,因此,环境湿度直接影响试验材料木心湿度。当环境湿度为 40% 时,试验材料在处理过程中水分有散失,在实际生产过程中接近热处理窑加湿设备停止工作的状态;当环境湿度为 60% 时,试验材料在处理过程中水分基本保持平衡或略有增加,该条件下接近热处理窑实际生产情况;当环境湿度达 80% 时,试验材料处理后含水率变化明显,在实际热处理生产过程中根本无法实现,所以在试验过程中对环境湿度 80% 的条件进行了删减。

为模拟热处理窑实际情况,在恒温恒湿箱内放置 1 台检疫热处理模拟试验测控仪,风速恒定为 2.5 m/s,来模拟大窑热处理情况<sup>[11-13]</sup>。根据松材线虫死亡温度的研究文献和实际经验,恒温恒湿箱内温度参数设置为 46、48、50、52、54、56、58、60、62、64、66℃ 11 个梯度,环境湿度设定为 40%、60% 2 个梯度。国际标准中处理时间为 30 min,根据文献研究得出病木中心温度到达环境温度所需要时间约为 1 min<sup>[14-15]</sup>,故热处理时间设定为 31 min。将供试样(Ⅰ)放入筛网内并放置在风速仪出风口处,将感温探头放置在筛网细木中,所测量的温度可视为木心温度。按照以上所述温度梯度,进行 2 组不同湿度的热处理试验,每组试验重复 3 次。处理结束后,将病木放入线虫分离器分离线虫,同时将对照样(Ⅱ)浸泡在线虫分离器进行线虫分离,静置 24 h 后镜下检测线虫存活情况,记录结果。若对照样(Ⅱ)中未发现活体松材线虫,将此组数据剔除。

为验证线虫在实际生存环境与其他环境中致死温度的不同,本次研究增加了水浴热处理线虫液试验,重新验证线虫在非生存环境下热处理的致死温度。将水浴锅设置 40、42、44、

46、48、50℃ 6 个温度梯度,在水浴锅内放置 1 个装有水的指形管,管内插入温度探头。待温度恒定后将线虫液滴入指形管内加热 31 min 后取出,倒入培养皿静置 24 h 后观察线虫的存活情况。

2 结果与分析

2.1 40% 湿度热处理木包装松材线虫的死亡温度

在湿度为 40% 时,按设定温度对供试样(Ⅰ)进行不同温度热处理,每组试验 3 次重复,每次重复设定对照组。将处理后病木放入线虫分离器内静置 8 h 后,观察线虫液。结果表明,当筛网内探头温度(处理病木木心温度)达到 62℃ 时,持续加热 31 min,线虫死亡率达 100%,无活虫存在(表 1)。

表 1 40% 湿度下不同温度热处理线虫存活情况

设定温度 (℃)	探头温度 (℃)	松材线虫死亡情况			
		供试样(Ⅰ)			对照样(Ⅱ)
		重复 1	重复 2	重复 3	
46	45	活	活	活	活
48	47	活	活	活	活
50	49	活	活	活	活
52	51	活	活	活	活
54	53	活	活	活	活
56	54	活	活	无虫*	活
58	56	无虫*	活	活	活
60	58	活	活	活	活
62	60	活	死	活	活
64	62	死	死	死	活
66	64	死	死	死	活

注:“\*”表示在对照样中发现活虫,供试样处理后未分离出线虫。

2.2 湿度 60% 热处理木包装松材线虫的死亡温度

在湿度为 60% 时,设定 11 个温度梯度对供试样(Ⅱ)进行热处理,每组试验 3 次重复,每次重复设定对照组。将处理后病木放入线虫分离器内静置 8 h 后,观察线虫液。结果表明,当筛网内探头温度(处理病木木心温度)达到 60℃ 时,持续加热 31 min,线虫死亡率达 100%,无活虫存在(表 2)。

表 2 60% 湿度不同温度热处理线虫存活情况

设定温度 (℃)	探头温度 (℃)	松材线虫死亡情况			
		供试样(Ⅰ)			对照样(Ⅱ)
		重复 1	重复 2	重复 3	
46	45	活	活	活	活
48	47	活	活	活	活
50	49	活	活	活	活
52	51	活	活	活	活
54	54	活	活	活	活
56	56	活	活	活	活
58	58	死	活	死	活
60	60	死	死	死	活
62	62	死	死	死	活
64	64	死	死	死	活
66	66	死	死	死	活

2.3 水浴热处理线虫液

水浴热处理线虫液,在水温达 43℃,持续加热 31 min 后,线虫全部死亡(表 3)。

表 3 水浴热处理线虫液的情况

设定温度 (℃)	感温探头 温度(℃)	松材线虫死亡情况		
		供试样( I )		
		重复 1	重复 2	重复 3
40	39	活	活	活
42	41	活	活	死
44	43	死	死	死
46	45	死	死	死
48	47	死	死	死
50	49	死	死	死

3 结论与讨论

线虫在不同环境参数下致死温度表现出明显差异。研究显示,热处理过程中线虫致死温度的敏感性受环境参数影响,在除湿度以外其他环境参数相同时,40% 的环境湿度下的致死温度高于 60% 环境湿度。在相同湿度热处理条件下,线虫的致死率与处理温度呈正相关。在含水率约 30% 的线虫病木中,当环境湿度为 40% 时,木心温度升高至 62 ℃ 后,病木中的线虫死亡率可达 100% ,可能由于病木在处理过程中水分的蒸发会带走热量,尤其对于厚度大的木材,表明在此条件下线虫在生存环境的致死温度为 62 ℃。当环境湿度为 60% 时,木心温度达 60 ℃ 后,病木中的线虫死亡率可达 100% ,在此条件下病木与环境中水分交换接近平衡,病木的处理条件更接近实际大窑热处理情况,表明在此条件下线虫在生存环境的致死温度为 60 ℃。

水浴热处理线虫液的结果表明,在水浴温度升高至 43 ℃ 时,线虫死亡率达到 100%。由此可见,改变了线虫的生存状态后,环境湿度过大,线虫与周围环境的水分蒸发形成水分正交换,引起了致死温度的变化。由于在热处理过程中,木材中心的湿度不可能达到 70% 以上。本试验中的水浴环境和湿度 80% 的高湿环境下线虫热处理致死温度无法反映线虫在实际生存环境下的致死温度,在水浴和高湿环境下得到的结果并非线虫在病木中的致死温度,对生产并无实际意义。而模拟热处理实际环境和线虫实际生存环境试验条件下得到的试验结果,更真实地反映了线虫的实际致死温度,对实际生产具有科学的指导意义。

在本试验中,线虫在实际生存环境中热处理 30 min,其最低致死温度为 58 ℃ ,高于国际标准的致死温度 56 ℃。由此可知,在检疫热处理中执行国际标准时应考虑环境参数的影

响。在实际热处理中,空气流动性、木材本身的性质等都热处理效果有直接或间接影响;但现有国际标准中未明确环境参数、具体步骤、操作要求等,可能会影响到实际处理效果,建议在国际标准修订时明确相关参数。目前有关热处理环境参数影响热处理效果的相关文献报道甚少,环境参数对线虫的致死影响有待进一步研究。

参考文献:

[1]王明旭. 日本松材线虫病文献资料的研究与分析[J]. 中南林业学院学报,2004,24(5):132-137.

[2]王仕利,曹福祥,王 猛,等. 松材线虫基因研究进展[J]. 中南林业科技大学学报,2009,29(3):195-198.

[3]李一农,李芳荣,郑文华,等. 国外木质包装热处理除害失效原因分析[J]. 植物检疫,2005,19(5):283-286.

[4]张方文,于文吉,哈密提,等. 入境木质包装材料检疫除害处理现状与分析[J]. 包装工程,2007,28(10):20-23.

[5]熊延坤,王春林. 木质包装物的检疫问题[J]. 中国植保导刊,2004,24(11):39-41.

[6]杨振德,赵博光,郭 建. 松材线虫行为学研究进展[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2003,27(1):87-92.

[7]王 林. 松材线虫瞬间致死温度的研究[J]. 安徽林业科技,2006(增刊1):8-10.

[8]郑光华,廖太林,李百胜,等. 进境木质包装湿度与携带线虫规律的探索[J]. 植物检疫,2004,18(4):198-200.

[9]王宏宝,李艳华,林何燕,等. 不同含水率木质包装材料对松材线虫存活率的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2010,34(5):63-66.

[10]戚龙君,宋绍伟,严振汾,等. 热处理杀灭木质包装中松材线虫的技术研究[J]. 植物检疫,2005,19(6):325-329.

[11]俞自涛,胡亚才,洪荣华,等. 温度和热流方向对木材传热特性的影响[J]. 浙江大学学报:工学版,2006,40(1):123-125,166.

[12]张瑞雪,曹 军,孙丽萍. 木材干燥窑内部风速场的数值模拟研究[J]. 森林工程,2010,26(1):25-28.

[13]刁秀明,王彦发,马秀华. 循环风速对木材干燥速度的影响[J]. 木材工业,1994,8(4):32-34.

[14]李贤军,张璧光,杨 涛,等. 木材干燥预热时间初探[J]. 北京林业大学学报,2004,26(2):90-93.

[15]陈其生,方丹阳. 试述木质材料热处理中心温度确定方法[J]. 植物检疫,1999,13(6):27-29.