

文章编号:1001-7380(2019)03-0029-05

## 尾巨桉无性系 DH32-26 号干燥特性 及其干燥基准初探

陈松武,陈柏旭,蒙芳慧,刘晓玲\*,姚瑞芳

(广西壮族自治区林业科学研究院,广西 南宁 530002)

**摘要:**利用百度试验法对尾巨桉无性系 DH32-26 号 4 年生、6 年生、8 年生木材的干燥特性进行研究。研究结果表明,4 年生、6 年生、8 年生木材初期开裂等级分别为 3,2,3 级;内裂等级分别为 3,5,5 级;截面变形等级分别为 4,5,5 级;扭曲等级分别为 3,3,3 级;干燥速度等级分别为 3,4,4 级。内裂和截面变形是尾巨桉无性系 DH32-26 号木材的主要干燥缺陷,根据木材干燥特性的研究结果,分别制定了厚度为 25mm 的 4 年生、6 年生、8 年生木材的干燥基准,为尾巨桉无性系 DH32-26 号木材实际生产过程中干燥工艺提供参考。

**关键词:**尾巨桉;百度试验法;干燥特性

**中图分类号:**S782.31;S792.39

**文献标志码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2019.03.007

## Study on drying characteristics and drying criteria of *E.urophylla*×*E.grandis* clone DH32-26

Chen Songwu, Chen Baixu, Meng Fanghui, Liu Xiaoling\*, Yao Ruifang

(Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Research Institute, Nanning 530002, China)

**Abstract:** The drying characteristics of 4-, 6- and 8-year-old timber of *E.urophylla*×*E.grandis* clone DH32-29 were studied by 100 °C test method. The results showed that the initial cracking was categorized into Grade 3, 2, and 3, the internal cracking into Grade 3, 5, and 5, the section deformation into Grade 4, 5, and 5, the distortion into Grade 3, 3, and 3, and the drying speeds were categorized into Grade 3, 4 and 4 respectively of 4-, 6- and 8-year-old timber. The internal cracking and the section deformation were the main drying defects of *E.urophylla*×*E.grandis* clone DH32-26. Based on the research results of wood drying characteristics, their drying criteria with thickness of 25 mm was established, which could provide reference for the drying process of *Eucalyptus urophylla* clone DH32-26 in the actual production process.

**Key words:** *E.urophylla*×*E.grandis*; 100°C test method; Drying characteristics

尾巨桉(*Eucalyptus urophylla*×*E.grandis*)是桉树属尾叶桉(*E. urophylla*)和巨桉(*E. grandis*)杂交的速生树种,具有生长快、适应性强、经济价值高等特点,是我国南方重要的造林树种之一<sup>[1]</sup>。近些年,尾巨桉木材主要用于生产高质量的实木地板、混凝土模板等产品<sup>[2]</sup>,但由于尾巨桉生长应力大、渗透性差,导致在干燥过程中容易产生开裂、变形、内裂、皱缩等缺陷,因此,如何克服尾巨桉木材干燥缺

陷,是提高其木材加工利用率及附加值的关键。目前,针对桉树的干燥特性已有一定程度的研究,主要是采用百度试验法研究桉树的干燥特性,并根据干燥等级制定合理的干燥基准,如刘元等<sup>[3]</sup>对圆角桉和柠檬桉人工林木材干燥特性进行了研究,并制定了两种板材的常规、真空及常规-真空联合干燥基准;黄俊等<sup>[4]</sup>对尾赤桉木材干燥特性进行了研究,并制定 60mm 厚尾赤桉板材干燥基准;龙传文<sup>[5]</sup>比

收稿日期:2019-04-08;修回日期:2019-05-03

基金项目:广西创新驱动发展专项资金项目“桉树实木加工利用关键技术研究示范”(桂科 AA17204087-12)

作者简介:陈松武(1977-),男,广西陆川人,高级工程师,硕士。主要研究方向为木材加工技术。E-mail: 291961165@qq.com。

\* 通信作者:刘晓玲(1989-),女,广西鹿寨人,工程师,硕士。主要研究方向为木材材性及其功能改良。E-mail: liuxiaolinggy@163.com。

较了预东处理和未预冻处理的粗皮桉人工林的干燥特性,分别制定了 25mm 厚预东处理材和未预冻处理材的干燥基准。尾巨桉无性系 DH32-26 号是生产上广泛培育的桉树品种之一,所以研究尾巨桉无性系 DH32-26 号的干燥特性,对提高尾巨桉木材的利用价值有重要的意义。本实验主要是利用百度试验法对尾巨桉无性系 DH32-26 号的干燥特性进行研究,制定出合理的干燥基准,为尾巨桉的干燥工艺提供科学的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

尾巨桉无性系 DH32-26 号试材采集于广西扶绥县七坡林场,分别采伐 4 年生、6 年生、8 年生的样木各数株,试验样木根据 GB/T 1927-2009《木材物理力学试件采集方法》<sup>[6]</sup>的相关要求进行采集。选取树干通直、无病虫害的木段进行制取试件(见表 1),由于 4 年生、6 年生、8 年生的样木平均胸径为 15.0、18.7、20.6 cm,本试验只选取弦切板和中心板试件,所有试件的初含水率介于 89.52%—140.95% 之间,均高于 45%,符合百度试验法的要求。本试验弦切板用来评判木材干燥特性的等级,中心板作对比试验。

表 1 尾巨桉无性系 DH32-26 号试件

编号	试件类型	数量	规格(L×W×H)	平均初含水率/%
4 a	弦切板	6	200 mm×100 mm×20 mm	116.17
4 a	中心板	2	200 mm×100 mm×20 mm	120.07
6 a	弦切板	6	200 mm×100 mm×20 mm	128.94
6 a	中心板	2	200 mm×100 mm×20 mm	138.39
8 a	弦切板	6	200 mm×100 mm×20 mm	115.50
8 a	中心板	1	200 mm×100 mm×20 mm	124.28

1.2 试验器材

UF260 型电热鼓风干燥箱(德国 Memmert)、刻度尺(精度 1 mm)、数显卡尺(精度 0.01 mm)、电子千分尺(精度 0.001 mm)、JJ1000 型电子天平(精度 0.01 g)、塞尺(0.02—1.00 mm)等。

1.3 试验方法

采用百度试验法进行试验<sup>[6-10]</sup>,具体方法如下:

- (1)干燥前。测量试件的实际尺寸(长、宽、厚,精确至 0.01 mm),称量(精确至 0.01 g);
- (2)干燥过程。将电热鼓风恒温干燥箱调至(103±2)℃,试件横立放置于干燥箱内进行干燥,

干燥过程中观测试件端表裂、表裂、贯通裂、端裂的长宽(以最长的裂纹做记录)及数量。最初 0.5 h 小时观测 1 次,1h 后每隔 1h 观测 1 次,裂纹停止增加开始愈合后每隔 2 h 观测 1 次,裂纹停止愈合并且裂纹无变化后每 4h 测 1 次,直至烘干。每次观测还需称量试件的重量,记录重量变化情况。

(3)干燥结束。试件连续两次称量的重量基本不变时,停止烘干。①测量试件的长、宽、厚;②测量试件的扭曲、翘曲情况;③沿试件长度方向的中央锯取 15 mm 宽的含水率试片,测定其含水率,计算试件的全干重。在截断面观测试件内裂及截面变形的情况。

2 结果与分析

2.1 干燥特性分析及干燥缺陷等级的确定

分析百度试验法的试验数据,根据“100℃ 试验干燥缺陷及干燥速度分级标准”<sup>[7]</sup>确定巨桉无性系 DH32-26 号木材的干燥缺陷等级。

(1)初期开裂。在干燥初期,木材表面的水分蒸发较快,其含水率低于纤维饱和点,而木材内部的含水率仍高于纤维饱和点,导致木材内外含水率梯度过大,木材表面形成的拉伸应力,当拉伸应力超过其拉伸强度时,木材出现端裂、端表裂、表裂、贯通列<sup>[11-12]</sup>。试件在第一次观测就已经开始出现裂纹,随着干燥的进行,裂纹的数量、长度、宽度不断增加,8 年生的试件在第 8 小时左右,裂纹发展到最大值,4 年生和 6 年生的试件在第 12 小时左右,裂纹发展到最大值,随后,裂纹趋于稳定,且部分裂纹随着干燥的进行逐渐愈合。根据观测结果得知,在初期开裂中,端裂和端表裂是尾巨桉无性系 DH32-26 号木材的主要开裂缺陷,4 年生、6 年生、8 年生试件初期开裂等级分别为 3 级、2 级、5 级。中心板的初期开裂现象较弦切板严重,主要是沿髓心向四周发散的端裂和端表裂的现象较为明显。

(2)内裂。指木材内部沿木射线发生的裂纹,主要发生在干燥后期。当木材表面发生硬化,干燥后期温度高,内部张应力过大时,木材就会产生内裂。内裂与干燥初期的温度、干湿球温度差和后期的温度关系较大<sup>[13]</sup>。干燥结束后,将试件从中间锯开观测断面,发现所有的试件均有内裂缺陷,6 年生、8 年生试件较为严重,最严重的试件多达 21 条内裂,最宽的内裂达 6.0 mm,4 年生、6 年生、8 年生试件内裂等级分别为 3 级、5 级、5 级,内裂是尾巨桉

无性系 DH32-26 号的主要干燥缺陷。弦切板的内裂现象较中心板严重,中心板的宽内裂( $\geq 2$  mm)基本都只有1—2条,而大部分的弦切板宽内裂多达5—10条。

(3)截面变形。截面变形与木材皱缩特性有关<sup>[14]</sup>,皱缩主要是由于干燥过程中温度高,木材内部自由水移动过快,从而产生的干燥应力和毛细管张力大于材细胞的横纹抗压强度引起的。试验表明,4年生、6年生、8年生弦切板的截面变形值分别介于2.1—4.9,5.0—6.1,3.1—5.3 mm,截面变形平均值分别为3.2,5.4,4.3 mm,截面变形等级分别为4级、5级、5级;4年生、6年生、8年生中心板的截面变形平均值分别为5.1,5.6,3.4 mm。总体上,中心板的截面变形较弦切板严重。截面变形是尾巨桉无性系 DH32-26 号的主要干燥缺陷。由于幼龄材密度低、干缩性大,成熟材密度大、干缩性小,中心板靠近髓心部分的木材密度较小,板材密度不均匀皱缩较明显,导致中心板的板材皱缩差异大,因此截面变形程度相对较严重。

(4)扭曲。木材在干燥后产生扭曲的现象主要是木材自身构造不正常导致的。试验表明,4年生、6年生、8年生弦切板的扭曲值分别介于1.0—8.5,2.0—7.0,1.0—9.0 mm,扭曲平均值分别为5.2,4.4,4.6 mm,扭曲等级分别为3级、3级、3级。4年生、6年生、8年生中心板的扭曲值平均值分别为3.8,3.5,3.0 mm,较弦切板的扭曲程度低。

(5)干燥速度。在百度试验法中,干燥速度是指木材含水率从30%降至5%所需的时间。4年生、6年生、8年生弦切板干燥过程中含水率变化曲线如图1,本试验干燥总时长为62 h,4年生、6年生、8年生弦切板的初始含水率平均值分别为116.17%,128.94%,115.50%,含水率由30%降至5%的平均用时分别为19.47,20.30,22.14 h,干燥速度分别为每小时1.28%,1.23%,1.13%,干燥速度等级分别为3级、4级、4级。4年生、6年生、8年生中心板的初始含水率平均值分别为120.07%,138.39%,124.28%,含水率由30%降至5%平均用时分别为24.59,21.20,22.07 h,含水率由30%降至5%平均干燥速度分别为每小时1.02%,1.18%,1.13%,其干燥速度基本与弦切板处于同一个水平。尾巨桉无性系 DH32-26 号木材干燥速度较慢,属难干材。

(6)翘曲。按弯曲方向的不同可分为顺弯、横

弯和翘弯<sup>[12]</sup>。本试验中的试件主要翘曲变形为翘弯,基本没有出现顺弯和横弯现象,4年生、6年生、8年生弦切板的翘弯值分别介于3.5—6.0,1.5—5.5,2.5—4.5 mm之间,平均值分别为4.4,3.8,3.9 mm;中心板的翘弯平均值分别为5.0,3.3,4.0 mm。试验表明,尾巨桉无性系 DH32-26 号木材的翘弯变形程度较为严重。

(7)干缩性。干缩现象主要在含水率小于纤维饱和点的情况下发生<sup>[12]</sup>。一般木材的纵向、径向、弦向和体积的干缩率数值分别介于0.1%—0.3%,3%—6%,6%—12%和1%—20%之间,本试验的尾巨桉无性系 DH32-26 号4年生、6年生、8年生木材的纵向平均干缩率均为0.3%,径向平均干缩率分别为4.4%,6.3%,4.5%,弦向平均干缩率分别为7.6%,7.4%,8.2%,体积平均干缩率分别为19.0%,21.9%,20.3%。木材纵向干缩小,而径向和弦向干缩大,主要原因是木材构造中绝大部分细胞是纵向排列,且细胞壁的次生壁 $S_2$ 层微纤丝角与主轴方向成 $10^\circ$ — $30^\circ$ 夹角,因此纵向干缩很小,对木材加工利用影响不大;弦向干缩率是径向干缩率的1—2倍,主要是径向存在木射线,木射线细胞呈径向排列,抑制木材径向收缩,使得木材径向收缩小于弦向。本试验的木材体积干缩现象较显著,表现出明显的方向性,干燥不均匀,说明尾巨桉无性系 DH32-26 号木材异产生变形、开裂现象。

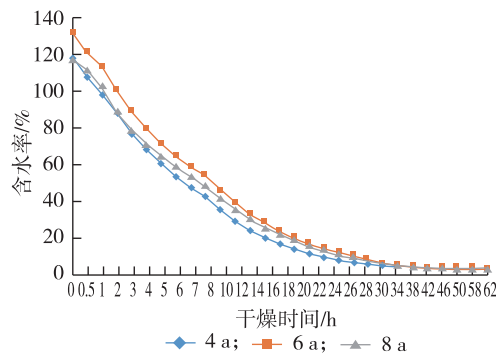


图1 尾巨桉无性系 DH32-26 号弦切板含水率变化曲线

综上所述,4年生、6年生、8年生的尾巨桉无性系 DH32-26 号试件干燥缺陷等级如表2:

本试验的研究结果与刘媛等<sup>[15]</sup>对5年生尾巨桉木材干燥特性的研究结果(初期开裂1级、内裂2级、截面变形3级、扭曲2级、干燥速度1级)和刁海林等<sup>[16]</sup>对巨尾桉系木材干燥特性的研究结果(初期开裂1级、内裂2级、截面变形3级、扭曲2级、干燥



表 2 尾巨桉无性系 DH32-26 号试件干燥缺陷等级

树龄	初期开裂	内裂	截面变形	扭曲	干燥速度	综合特性
4 a	3	3	4	3	3	4
6 a	2	5	5	3	4	5
8 a	5	5	5	3	4	5

速度 2 级)有明显差异,说明桉属中的木材在干燥特性方面具有较大的个性差异,但本试验尾巨桉无

性系 DH32-26 号木材的主要干燥缺陷(内裂、截面变形)具有桉树木材干燥缺陷的共性。

2.2 干燥基准

根据尾巨桉无性系 DH32-26 号 4 年生、6 年生、8 年生的初期开裂、截面变形、内裂等级程度,参考相关文献<sup>[7]</sup>中“干燥缺陷等级对应的干燥条件”,确定 4 年生、6 年生、8 年生试件的干燥初步条件(干燥初期温度、初期干湿球温度差和干燥末期温度),如表 3 所示。

表 3 尾巨桉无性系 DH32-26 号木材干燥初步条件

缺陷名称	等级			干燥初期温度/℃			初期干湿球温度差/℃			干燥末期温度/℃		
	4 a	6 a	8 a	4 a	6 a	8 a	4 a	6 a	8 a	4 a	6 a	8 a
初期开裂	3	2	3	60	70	60	3~7	4~6	3~7	90	95	90
截面变形	4	5	5	50	40	40	2~4	2	2	75	70	70
内裂	3	5	5	50	38	38	3~5	2	2	75	65	65

选择干燥初期温度、初期干湿球温度差和干燥末期温度的最低条件作为确定尾巨桉无性系 DH32-26 号 4 年生、6 年生、8 年生木材干燥基准的基本条件。根据表 3 确定 4 年生、6 年生、8 年生木材干燥初期温度分别为 50,38,38℃,初期干湿球温差分别为 3,2,2℃,干燥末期温度分别为 75,65,65℃。尾巨桉无性系 DH32-26 号木材的初期开裂、内裂、截面变形、扭曲都较为严重,尤其是内裂和截面变形是最主要的干燥缺陷,因此在干燥过程中干燥温度不宜过高,尤其是在干燥初期,控制温度缓慢上升,减少初期开裂现象,避免由于温度过高水分移动过快使木材产生皱缩,从而出现严重的截面变形缺陷;初期要缩小干湿球温度差,减少内裂缺陷的出现;中后期可适当增大升温幅度,加快干燥速度,提高干燥效率。

参考相关文献<sup>[7]</sup>中的“干燥时间的估算图”估算尾巨桉无性系 DH32-26 号 4 年生、6 年生、8 年生木材的干燥时间。本试验干燥结束时所有试件的含水率为 1%左右,因此试件含水率降至 1%所需的时间约为 62 h,可得干燥时间约为 18 d,4 年生、6 年生、8 年生木材初期干湿球温差分别为 3,2,2℃,可得干燥时间分别为 14,20,20 d,计算两者的平均值分别为 14,19,19 d,即得尾巨桉无性系 DH32-26 号 4 年生、6 年生、8 年生板材(厚度 25 mm)在强制循环干燥窑内干燥至 10%所需的时间。

尾巨桉无性系 DH32-26 号为阔叶材,4 年

生、6 年生、8 年生弦切板的初含水率均大于 110%,参考相关文献<sup>[7]</sup>中的“含水率与干湿球温度差关系表(阔叶材)”,制定出 25 mm 厚尾巨桉无性系 DH32-26 号 4 年生、6 年生、8 年生木材的干燥基准,见表 4。

3 结论与讨论

在生产上,加工利用最多的是 4—8 年生的桉树,桉树在此段树龄间进行砍伐效益较高,因此本试验利用百度试验法研究了尾巨桉无性系 DH32-26 号 4 年生、6 年生、8 年生木材的干燥特性。试验结果表明,4 年生、6 年生、8 年生木材干燥缺陷程度相近,初期开裂、内裂、截面变形、扭曲现象都较为明显,4 年生的分别为 3,3,4,3 级;6 年生的分别为 2,5,5,3 级;8 年生的分别为 3,5,5,3 级;干燥速度也都相对较慢,4 年生、6 年生、8 年生分别为 3,4,4 级,属难干材。综上所述,4 年生、6 年生、8 年生的综合评定等级分别为 4,5,5 级。

内裂和截面变形是尾巨桉无性系 DH32-26 号木材最主要的干燥缺陷,说明尾巨桉无性系 DH32-26 号木材在干燥后期容易出现干缩变形和塌陷,这主要是干燥初期干燥条件偏硬,木材表面出现硬化,后期木材内部形成内拉外压应力所致。因此,尾巨桉无性系 DH32-26 号木材在干燥过程中初期宜采用软基准,中、后期可适当进行调湿处理,避免出现内裂和皱缩现象。

在实际生产的干燥工艺中,树龄约为 4—8 年

表 4 25 mm 厚尾巨桉无性系 DH32-26 号木材干燥基准

阶段	含水率/%	干球温度/℃			干湿球温度差/℃			干燥时间/d		
		4 a	6 a	8 a	4 a	6 a	8 a	4 a	6 a	8 a
1	110 以上	50	38	38	3	2	2			
2	110-70	52	40	40	3	2	2			
3	70-60	54	42	42	4	3	3			
4	60-50	56	44	44	6	5	5			
5	50-40	58	49	49	10	8	8			
6	40-35	60	46	46	12	12	12	14	19	19
7	35-30	63	52	52	18	18	18			
8	30-25	66	55	55	18	18	18			
9	25-20	79	58	58	25	25	25			
10	20-15	72	61	61	25	25	25			
11	15 以下	75	65	65	30	30	30			

生的尾巨桉无性系 DH32-26 号木材(厚约 25 mm),可选择参考本试验中最低要求的干燥基准,即 6 年生和 8 年生的干燥基准,为了减少内裂和截面变形的发生,干燥初期温度和末期温度不宜过高,分别为 38,65 ℃,初期干湿球温度差也不且过大,以 2 ℃ 摄氏度为宜,中后期可适当加大干湿球温度差。由于桉树木材材性变异较大,在实际生产过程中仍需根据实际情况相应调整干燥工艺。

由于中心板的初期开裂和截面变形较弦切板严重,而初期开裂和截面变形是影响板材利用率的主要干燥缺陷,因此在企业的桉木加工利用中,尽量避免使用中心板,提倡使用弦切板,提高板材利用率,提高经济效益。

**参考文献:**

[1] 莫晓勇,朱成庆,余雷标.我国桉树引种与育种概述[C]//第六届全国林木遗传育种大会论文集.2008:2.

[2] 杨时桐.尾巨桉木材的开发利用探讨[J].福建林业科技,2008,35(3):161-164.

[3] 刘元,吴义强,乔建政,等.桉树人工林木材的干燥特性及干燥基准研究[J].中南林学院学报,2002,22(4):44-49.

[4] 黄俊,苏晓华,李重根,等.60 mm 厚尾赤桉干燥工艺初探

[J].广东林业科技,2013,29(1):27-30.

[5] 龙传文.粗皮桉木材的干燥特性与干燥基准制定[J].中南林业科技大学学报,2012,32(1):48-50,60.

[6] 中国木材标准化技术委员会.GB/T 1927-2009 木材物理力学试材采集方法[S].北京:中国标准出版社,2009.

[7] 杜洪双,唐朝发,李杉,等.百度试验确定干燥基准在铁木上的应用[J].木材加工机械,2003(4):19-23.

[8] 白卫国,陈柏旭,陈德洋,等.细叶云南松天然林和人工林木材干燥特性[J].福建林业科技,2016,43(2):106-111.

[8] 吴道念,陈柏旭,黄腾华,等.降香黄檀木材干燥特性研究[J].广东林业科技,2015,31(4):79-84.

[9] 严壮洧,陈柏旭,李炎,等.土贡松木材干燥特性研究[J].陕西林业科技,2015(3):4-7.

[11] 王喜明.木材干燥学.第 3 版[M].北京:中国林业出版社,1995.

[12] 徐有明.木材学[M].北京:中国林业出版社,2006.

[13] 何清慧.木材干燥基准简易确定法-百度试验法[J].木材工业,1998(6):38-40.

[14] 王喜明,贺勤,赵喜龙.桉树人工林木材干燥皱缩特性的研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2013,34(1):123-127.

[15] 刘媛,黄腾华,卢翠香.尾巨桉幼龄材干燥特性研究[J].桉树科技,2016,33(1):27-31.

[16] 刁海林,陈健波,罗建举,等.巨尾桉干燥特性研究[J].中国农学通报,2011,27(28):63-68.