

不同树龄秃杉与杉木人工林木材物理力学性质的比较

梁宏温¹, 黄恒川², 黄承标¹, 黄海仲², 梁欣¹, 蒙跃环²

(1. 广西大学 林学院, 广西 南宁 530005; 2. 广西壮族自治区南丹县山口林场, 广西 南丹 547003)

摘要: 对采自广西南丹县山口林场 8 年生、14 年生和 28 年生的秃杉 *Taiwania flousiana* 和杉木 *Cunninghamia lanceolata* 人工林木材进行了主要物理力学性质的测定和比较。结果表明: 秃杉和杉木的木材密度及主要力学强度均随树龄增加而增大。秃杉木材的气干密度(含水率为 12%)、基本密度、径向干缩系数、弦向干缩系数、体积干缩系数、弦面硬度、抗弯弹性模量、顺纹抗压强度、径面抗剪强度和弦面抗剪强度的平均值与杉木相比分别低 2.3%, 4.4%, 1.6%, 2.6%, 1.5%, 3.6%, 3.8%, 3.4%, 17.5% 和 14.4%, 但其端面硬度、径面硬度、抗弯强度、冲击韧性、径面抗劈力和弦面抗劈力的平均值与杉木相比则分别高 6.6%, 6.1%, 3.4%, 2.3%, 15.0% 和 16.3%。差异显著性 *t* 检验表明, 秃杉与杉木人工林的木材密度、硬度、顺纹抗压强度、抗弯弹性模量、抗弯强度、顺纹抗剪强度和抗劈强度均差异显著或极显著, 但干缩系数和冲击韧性均差异不显著。图 2 表 3 参 12

关键词: 林业工程; 秃杉; 杉木; 人工林; 木材; 物理力学性质; 比较

中图分类号: S792; S781.29

文献标志码: A

文章编号: 1000-5692(2008)02-0137-06

Wood physical-mechanical properties of *Taiwania flousiana* compared to *Cunninghamia lanceolata* for plantation development

LIANG Hong-wen¹, HUANG Heng-chuan², HUANG Cheng-biao¹,

HUANG Hai-zhong², LIANG Xin¹, MENG Yue-huan²

(1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530005, Guangxi, China; 2. Shankou Forest Farm, Nandan 533001, Guangxi, China)

Abstract: Researches in wood physical-mechanical of *Taiwania flousiana* were few, in order to judge the wood, wood physical-mechanical properties for 8, 14, and 28 years old *T. flousiana* grown on the Shankou Forest Farm of Nandan, Guangxi Province were studied and compared to *Cunninghamia lanceolata*. Generally, wood density and mechanical properties of both trees increased as tree age increased. Results of a *t* test for the two wood types showed highly significant ($P < 0.01$) or significant ($P < 0.05$) differences for wood density (including air-dried density ($P < 0.05$) and basic density ($P < 0.01$)), hardness ($P < 0.01$), bending strength ($P < 0.05$), the modulus of elasticity in static bending ($P < 0.01$), compression strength parallel to the grain ($P < 0.05$), shearing strength parallel to the grain ($P < 0.01$), and cleavage strength along the grain ($P < 0.01$), but no significant differences for shrinkage coefficient or toughness. When compared to *C. lanceolata*, the following properties of *T. flousiana* were lower: air-dried density (moisture content of wood is 12%) (2.3%), basic density (4.4%), radial shrinkage coefficient (1.6%), tangential shrinkage coefficient (2.6%), volumetric shrinkage coefficient (1.5%), tangential section hardness (3.6%), the modulus of elasticity in static bending (3.8%), compression strength parallel to the grain (3.4%), radial shearing strength parallel to the grain (17.5%), and tangential shearing strength parallel to the grain (14.4%), but greater for the following properties: cross section hardness (6.6%), radial section hardness (6.1%), bending strength (3.4%), toughness (2.3%), radial cleavage strength along the grain (15.0%), and tangential

收稿日期: 2007-04-23; 修回日期: 2007-07-23

基金项目: “十五”广西壮族自治区林业科技项目(2001 [27])

作者简介: 梁宏温, 副研究员, 从事木材学和森林生态学等研究。E-mail: lhwen@gxu.edu.cn

cleavage strength along the grain (16.3%). These results could provide a scientific basis for plantation establishment and rational utilization of *T. flousiana*. [Ch, 2 fig. 3 tab. 12 ref.]

Key words: forest engineering; *Taiwania flousiana*; *Cunninghamia lanceolata*; plantation; wood; physical-mechanical properties; comparison

有关杉木 *Cunninghamia lanceolata* 的木材物理力学性质及其变异规律, 国内已有较多报道^[1-4], 而对秃杉 *Taiwania flousiana* 木材的报道则较少^[5]。秃杉在植物分类上隶属杉科 Taxodiaceae 台湾杉属 *Taiwania*, 是生物进化史上古老的孑遗植物, 属国家一级保护植物。野生秃杉最早是在云南、贵州、湖北等省被发现^[5]。秃杉树干通直, 树皮薄, 材质轻软细致, 易加工, 其早晚材紫黄相间, 具有美丽的材色和花纹。自 1979 年起, 广西南丹县山口林场先后开展秃杉引种试验和较大面积的推广造林试验, 发现它具有速生丰产特性, 且后期生长速度比杉木快, 适宜密植, 可作为杉木多代连栽林地更新造林的替代树种。迄今, 在山口林场的秃杉造林面积已超过 1 500 hm²。本文针对山口林场 1979 年、1993 年和 1999 年人工种植的秃杉和杉木试验林取样, 进行材性试验测定和比较, 以揭示秃杉人工林木木材物理力学性质的优劣, 为科学评价秃杉人工速生丰产林质量及探讨其木材合理利用途径提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试材采集与试件制作

试材于 2006 年 12 月采自广西壮族自治区南丹县山口林场 8 年生、14 年生和 28 年生的秃杉和杉木试验林。在林地内, 各选取林分中等木 3~5 株作为试材采集样本。各林分的基本情况见表 1。

表 1 林分的基本情况

Table 1 The basic situation of stands

林分	样地号	年龄/a	平均胸径/cm	平均树高/m	林分密度/(株·hm ⁻²)	海拔/m	坡向	坡位
秃杉	1	28	19.1	18.4	2 100	997	西北坡	中坡
	2	14	14.3	13.5	1 700	1 125	西坡	上坡
	3	8	8.6	7.8	2 100	947	东北坡	中坡
杉木	4	28	18.2	17.2	1 800	986	西北坡	中坡
	5	14	12.8	12.2	1 980	1 120	西坡	上坡
	6	8	9.6	8.3	2 250	990	东北坡	中坡

木材基本密度试件用生材制作^[6], 即分别样本, 于各树干高度(0, 1.3, 3.3, 5.3, 7.3, 9.3, 11.3, 13.3 m, ……)的新锯并经刨光圆盘的北向各截取 1 个完整的扇面。扇面的大小视圆盘的大小而定, 一般控制取样的质量为 50~60 g, 其中 8 年生的样本对其树高 1.3 m 处圆盘再按年轮位置 1~3, 4~6, 7~8 轮分别制样; 14 年生的样本对其树高 1.3 m 处圆盘, 按年轮位置 1~3, 4~6, 7~10, 11~14 轮分别制样; 28 年生的样本对其树高 1.3 m 处圆盘, 按年轮位置 1~3, 4~6, 7~10, 11~16, 17~22, 23~28 轮分别制样。

其余试件用气干材制作, 即试材在室内气干后, 木材含水率达到广西南宁市的木材平衡含水率(15%左右), 然后按照 GB/T 1927~1930-1991 木材工业标准^[7]的有关规定进行制样。

1.2 木材物理力学性质的测定

除木材基本密度采用排水法测定外^[8], 其他的木材物理力学性质均依据 GB/T 1931~1942-1991 木材工业标准^[7]规定的方法进行测定。各项力学性质指标均在欧姆斯诺(Amsler)4 t 木材力学试验机上测定, 有效样本数均达到 30 个以上; 除冲击韧性和抗劈力外, 气干密度和其他力学强度均已调整为含水率 12% 时的数值。

2 结果与分析

2.1 秃杉木材物理性质与杉木比较

2.1.1 密度 木材密度是木材重要的品质因子，也是判断木材各项力学强度的重要指标。研究木材密度对掌握木材的相关材性及其合理利用意义重大。由表 2 看出：秃杉和杉木的木材密度均随着树龄的增加而增大；就平均值而言，秃杉木材的气干密度和基本密度分别为 332.7 和 282.0 kg·m⁻³，依次占杉木的 97.7% 和 95.6%，即秃杉的木材密度在总体上比杉木的小；对两者的平均值进行差异显著性 *t* 检验，表明秃杉与杉木的基本密度差异极显著，气干密度差异显著。

表 2 秃杉与杉木木材物理性质的比较

Table 2 The timber physical properties of *Taiwania flousiana* and *Cunninghamia lanceolata*

项目		基本密度/ (kg·m ⁻³)		气干密度/ (kg·m ⁻³)		径向干缩系数 /%		弦向干缩系数 /%		体积干缩系数 /%		差异干缩 (弦: 径)	
		秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木
统 计 量	<i>n</i>	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	<i>x</i>	282.0	294.7	332.7	341.0	0.127	0.129	0.259	0.266	0.398	0.404	2.10	2.11
	<i>S_x</i>	21.0	27.5	25.9	24.8	0.013	0.011	0.019	0.029	0.021	0.035	0.13	0.17
	<i>v</i>	7.48	9.33	7.78	7.27	10.24	8.53	7.34	10.90	5.28	8.66	6.33	8.06
	<i>p</i>	1.58	1.97	1.64	1.53	2.16	1.80	1.55	2.30	1.11	1.83	1.34	1.70
<i>t</i>		3.54 a		2.11 b		1.11		1.91		1.39		1.02	
随 年 龄 变 化	8 年生	273.0	267.0	309.0	313.0	0.122	0.120	0.256	0.253	0.392	0.389	2.10	2.11
	14 年生	281.0	289.0	331.0	329.0	0.127	0.129	0.248	0.258	0.389	0.393	1.95	2.00
	28 年生	292.0	328.0	358.0	381.0	0.131	0.137	0.273	0.286	0.414	0.431	2.08	2.08

说明：*n* 为试件数，*x* 为平均值，*S_x* 为标准差，*v* 为变动系数/%，*p* 为准确指数/%，*t* 为检验值(*t*_{0.01} = 2.58，*t*_{0.05} = 1.96，a 为差异极显著，b 为差异显著)。

2.1.2 干缩性 木材的干缩性能影响木材的加工利用，差异干缩(弦向干缩与径向干缩的比值)则反映了木材弦向干缩与径向干缩的差别程度，差异干缩越小，木材的尺寸稳定性越好。由表 2 得出：14 年生和 28 年生秃杉的木材干缩系数比同龄杉木的稍小，而 8 年生的秃杉木材干缩系数则比同龄杉木的稍大，其差异干缩数值为 2 左右，与杉木的相近，居国产木材的中等水平^[9]。可见，秃杉木材的尺寸稳定性较好。就平均值而言，秃杉木材的径向、弦向、体积干缩系数分别为 0.127%，0.259% 和 0.398%，依次占杉木的 98.4%，97.4% 和 98.5%；对两者的平均值进行差异显著性 *t* 检验，表明秃杉与杉木的径向、弦向和体积干缩系数均差异不显著。

2.2 秃杉木材力学性质与杉木比较

2.2.1 硬度 由表 3 看出，秃杉的木材端面和径面硬度比同龄杉木的大，而弦面硬度则比同龄杉木的小；就平均值而言，秃杉木材的端面、径面和弦面硬度分别为 25.86，14.03 和 16.59 MPa，依次占杉木的 106.6%，106.1% 和 96.4%；对两者的平均值进行差异显著性 *t* 检验，表明秃杉与杉木的端面、径面和弦面硬度均差异极显著。

2.2.2 抗弯强度和抗弯弹性模量 由表 3 看出，秃杉的木材抗弯强度比同龄杉木的大，而抗弯弹性模量则比同龄杉木的小(8 年生秃杉弹性模量比同龄杉木的稍大除外)；就平均值而言，秃杉木材的抗弯强度和弹性模量分别为 61.64 MPa 和 8.11 GPa，依次占杉木的 103.4% 和 96.2%；对两者的平均值进行差异显著性 *t* 检验，表明秃杉与杉木的抗弯强度差异显著和抗弯弹性模量差异极显著。

2.2.3 顺纹抗压强度和冲击韧性 由表 3 看出，秃杉的木材顺纹抗压强度比同龄杉木的小，而冲击

表 3 秃杉与杉木木材力学性质的比较

Table 3 The timber mechanical properties of *Taiwania flousiana* and *Cunninghamia lanceolata*

项目		端面硬度/ MPa		径面硬度/ MPa		弦面硬度/ MPa		抗弯强度/ MPa		抗弯弹性模量/ GPa		顺纹抗压强度/ MPa	
		秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木
统计量	n	98	95	98	95	98	95	98	98	98	98	99	99
	$\bar{x}$	25.86	24.26	14.03	13.22	16.59	17.21	61.64	59.61	8.11	8.43	31.72	32.82
	S_x	1.34	2.12	1.10	1.62	1.02	1.81	5.35	5.73	0.67	0.75	2.78	3.32
	v	5.18	8.73	7.82	12.22	6.17	10.51	8.67	9.61	8.22	8.94	8.77	10.10
	p	1.05	1.79	1.58	2.51	1.25	2.16	1.75	1.94	1.66	1.81	1.76	2.03
t		6.26 a		4.06 a		2.93 a		2.55 b		3.17 a		2.52 b	
随年龄变化	8年生	25.14	23.38	13.59	12.26	16.17	16.32	60.19	57.91	8.17	8.06	30.91	31.24
	14年生	25.66	23.23	13.84	12.82	15.98	16.41	61.78	58.35	7.95	8.15	31.46	32.57
	28年生	26.79	26.17	14.67	14.57	17.63	18.91	62.96	62.56	8.20	9.08	32.78	34.65
项目		冲击韧性/ ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)		径面顺纹抗剪强度/ MPa		弦面顺纹抗剪强度/ MPa		径面顺纹抗劈强度/ ($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$)		弦面顺纹抗劈强度/ ($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$)			
		秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木	秃杉	杉木
统计量	n	99	99	96	96	96	96	93	93	93	93	93	93
	$\bar{x}$	23.77	23.24	3.95	4.75	4.82	5.63	6.19	5.38	8.50	8.50	3.31	3.31
	S_x	2.31	2.56	0.36	0.47	0.45	0.51	0.53	0.48	0.83	0.83	0.73	0.73
	v	9.71	11.02	9.16	9.79	9.23	9.04	8.53	8.84	9.76	9.76	9.94	9.94
	p	1.95	2.21	1.87	2.00	1.88	1.85	1.77	1.83	2.02	2.02	2.06	2.06
t		1.52		13.23 a		11.68 a		10.93 a		10.36 a			
随年龄变化	8年生	22.79	21.93	3.52	4.43	4.74	5.18	6.12	5.08	8.34	8.34	6.87	6.87
	14年生	23.22	21.88	3.99	4.59	4.65	5.68	6.03	5.23	8.19	8.19	7.14	7.14
	28年生	25.29	25.91	4.35	5.36	5.06	6.02	6.43	5.84	8.96	8.96	7.91	7.91

说明： n 为试件数， $\bar{x}$ 为平均值， S_x 为标准差， v 为变动系数/%， p 为准确指数/%， t 为检验值($t_{0.01}=2.58$ ， $t_{0.05}=1.96$ ，a 为差异极显著，b 为差异显著)。

韧性则比同龄杉木的稍大(28 年生秃杉冲击韧性比同龄杉木的稍小除外)；就平均值而言，秃杉木材的顺纹抗压强度和冲击韧性分别为 31.72 MPa 和 23.77 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ，依次占杉木的 96.6% 和 102.3%；对两者的平均值进行差异显著性 t 检验，表明秃杉与杉木的顺纹抗压强度差异显著、而冲击韧性差异不显著。

2.2.4 顺纹抗剪强度和抗劈力 由表 3 看出，秃杉木材的径面抗剪强度和弦面抗剪强度均比同龄杉木的小，而径面抗劈力和弦面抗劈力均比同龄杉木的大；就平均值而言，秃杉木材的径面抗剪强度、弦面抗剪强度分别为 3.95，4.82 MPa，占杉木的 82.5% 和 85.6%；径面抗劈力和弦面抗劈力分别为 6 193 和 8 497 $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ，依次占杉木的 115.0% 和 116.3%；对两者的平均值进行差异显著性 t 检验，表明秃杉与杉木的顺纹抗剪强度和抗劈力均差异极显著。

2.3 秃杉木材物理力学性质的变化及相关性与杉木比较

2.3.1 木材基本密度沿年轮和树高的变化 28 年生、14 年生和 8 年生秃杉和杉木木材基本密度沿年轮的径向分布(以树高 1.3 m 处为例)见图 1。由图 1 表明，第 10 轮之前，随着年轮的增加，秃杉木

材的基本密度逐渐减小,但比杉木同期的高;第 10 轮以后,随着年轮的增加,秃杉木材基本密度则逐渐增大,但比杉木同期的低。对 28 年生秃杉和杉木进行了树干生长速率的测定(将另文报道),结果表明秃杉早期(10 年生之前)的生长速率较杉木的慢,而后期(15 年生之后)的生长速率比杉木的快。对于松杉类针叶树,其木材基本密度一般与立木的生长速度呈负相关^[9]。以上结果也验证了这一规律。

图 2 表明,28 年生秃杉的木材基本密度沿树干高度变化趋势与杉木相似,均随着树干高度的增加呈现先增后减的趋势,即以树干中部的密度较大,基部和梢端的较小。图 2 还表明,28 年生秃杉木材基本密度沿树干高度的分布与杉木相比有所不同,即在树干高度 9.6 m 以下,秃杉木材基本密度均比杉木的低;但在 9.6 m 以上则相反,均比杉木的高。

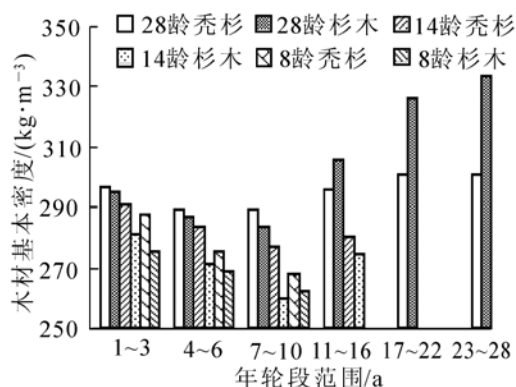


图 1 木材基本密度沿年轮分布

Figure 1 Timber basic density distribution with annual rings

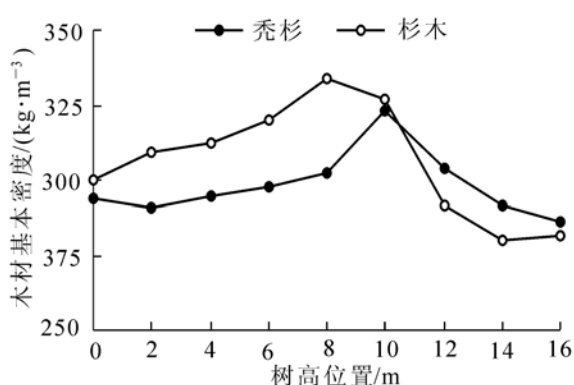


图 2 木材基本密度沿树高变化(28 年生)

Figure 2 Changes of timber basic density

综合图 1 和图 2 可以看出,在 10 年生之前,秃杉木材的基本密度尚不稳定。因此,秃杉作为实木利用的树龄一般不要小于 10 a。

2.3.2 木材径向(面)与弦向(面)力学强度之间的关系 木材径向(面)与弦向(面)力学强度之间的关系,可用径向(面)与弦向(面)强度的差值除以其中较小的强度值所得的百分数表示^[8]。经计算得到,秃杉木材顺纹抗剪强度径面与弦面的差异百分数为 22.0%,抗劈力和硬度的差异百分数分别为 37.3% 和 18.2%,杉木的依次为 18.5%,35.7% 和 30.2%,均比大叶栎 *Quercus griffithii* 木材^[6] 和 马占相思 *Acacia mangium* 木材^[9] 的高。由此可见,秃杉和杉木木材力学强度的各向异性比较明显。

2.3.3 木材密度与各项强度之间的关系 比强度即为木材各项力学强度与气干密度的比值^[9],用来反映材料强度与密度之间的关系,适用于既要求强度又限制质量的用途。对桥梁、建筑等用途选材时,除考虑其用材具有一定的强度之外,更注重其比强度和比弹性模量等材质指标,以较轻的结构支撑较大的荷载,充分发挥木质材料在强度比方面的优势,亦可以大大减轻施工用材运输的质量。经计算得到秃杉木材顺纹抗压强度、抗弯强度、弦面顺纹抗剪强度和抗弯弹性模量与其气干密度的比值分别为 95.3,185.1,14.5 和 24 339.3,杉木的依次为 96.2,174.8,16.5 和 24 721.4。可见,秃杉和杉木木材的强度品质系数都较高。

3 结论与讨论

广西南丹县山口林场秃杉的木材密度在总体上比当地杉木的稍小,其尺寸稳定性与杉木的相近,居国产木材的中等级水平。秃杉木材的弦面硬度、抗弯弹性模量、顺纹抗压强度和顺纹抗剪强度比当地杉木的略低,但其端面硬度、径面硬度、抗弯强度、冲击韧性和顺纹抗劈力比当地杉木的高。

秃杉木材基本密度沿年轮的径向变化,在第 10 轮之前比杉木同期的高,10 轮之后则相反;28 年生秃杉木材基本密度沿树干高度的分布,在 9.6 m 以下比同龄杉木的低,在 9.6 m 以上则相反。

木材作为建筑等承重构件用材,顺纹抗压强度和抗弯强度是2个很重要的指标。山口林场8年生、14年生和28年生秃杉的木材顺纹抗压强度为30.91~32.78 MPa,已达到建筑材承重结构木材(针叶树材)应力等级检验指标^[11]的最低等级A5级(29.9~32.2 MPa)要求;其木材抗弯强度范围为60.19~62.96 MPa,也达到针叶树材弦向静力弯曲检验标准^[12]的高等级TC16级(60~70 MPa)要求。因此,秃杉木材作为承重构件的质量是可以保证的,可作为房屋建筑、门窗、天花板、船、车、家具及室内装饰等用材。

参考文献:

- [1] 鲍甫成,江泽慧,朱林锋.中国主要人工林树种木材性质[M].北京:中国林业出版社,1998:162-209.
- [2] 蔡则谟.杉木径面及弦面的木材力学性质的差异[J].林业科学,1996,32(3):254-259.
- [3] 任海青,中井孝.人工林杉木和杨树木材物理力学性质的株内变异研究[J].林业科学,2006,42(3):14-20.
- [4] 肖祥希,杨宗武,叶忠华,等.福建柏与杉木、马尾松人工林木材材性比较分析[J].林业科技通讯,2000(2):3-5.
- [5] 林金国,陈瑞英,彭彪,等.福建秃杉木材物理力学性质的研究[J].福建林学院学报,1997,17(3):223-226.
- [6] 梁宏温,黄寿先,覃亚丽,等.23年生大叶栎木材物理力学性质的初步研究[J].西北林学院学报,2007,22(1):115-118.
- [7] 中国标准出版社第一编辑室.木材工业标准汇编:基础标准和方法标准[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [8] 尹思慈.木材学[M].北京:中国林业出版社,1996:116-220.
- [9] 尹思慈.木材品质和缺陷[M].北京:中国林业出版社,1990:6-60.
- [10] 梁宏温,徐峰,牟继平.马占相思木材物理力学性质的研究[J].广西农业生物科学,2004,23(4):325-328.
- [11] 建筑施工手册编写组.建筑施工手册(中)[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,1988:48-52.
- [12] 现行建筑结构规范大全编写组.现行建筑结构规范大全[M].北京:中国建筑工业出版社,1994:159-179.

“刨切微薄竹生产技术与应用”获国家技术发明奖二等奖

2008年1月8日上午,国家科学技术奖励大会在人民大会堂召开,浙江林学院“刨切微薄竹生产技术与应用”获2007年度国家技术发明奖二等奖。该成果由工程学院李延军、杜春贵、刘志坤等共同完成。

国家科学技术奖是我国科学技术的最高奖,分为国家最高科学技术奖、国家自然科学奖、国家技术发明奖、国家科学技术进步奖和中华人民共和国国际科学技术合作奖五个奖项,每年评审一次。由学校科技处组织申报的“刨切微薄竹生产技术与应用”是2007年度国家技术发明奖中唯一的林业类获奖项目,同时是浙江林学院建校以来在国家科技大奖上的首次突破。

“刨切微薄竹生产技术与应用”是浙江林学院科技工作者积极服务“三农”、加强实用科技研究所取得成果中的一个代表。研发刨切微薄竹能替代珍贵硬阔叶材用作贴面装饰材料,起到“以竹代木,以竹胜木”的作用,能极大地提高竹材的利用率和附加值,是竹材精深加工的新技术,对节约森林资源和保护生态环境,促进农民增收有着非常重要的意义。该技术填补了国内外竹材加工领域的空白,课题组在研究过程中先后获得近10项国家专利。

李 燕