

淹水程度对枫杨木材力学性质与气干密度、  
解剖特征间关系的影响

汪佑宏<sup>1</sup>， 肖成宝<sup>2</sup>， 刘杏娥<sup>1</sup>， 徐 斌<sup>1</sup>

(1.安徽农业大学 森林利用学院,安徽 合肥 230036 2.安徽省滁州市南谯林业局,安徽 滁州 239000)

摘 要 对 2 组不同淹水程度下的枫杨木材力学性质与其气干密度、解剖特征间的关系进行了研究。结果表明,枫杨木材气干密度与抗弯强度、抗弯弹性模量、顺纹抗压强度和横纹(全部)抗压强度间的二项式回归效果比直线回归、指数回归及幂函数回归都好,第 1 组回归效果优于第 2 组,但总体上相关性不太高。木材抗弯强度等力学指标与木材解剖特征间具有较高的相关性,横纹(全部)抗压强度与双壁厚间的相关性在径、弦向上存在着较大的差异。

关键词 淹水程度;枫杨;力学性质;气干密度;解剖特征

中图分类号 S781.3 文献标识码 A 文章编号 1001-7461(2003)02-0080-04

Effect of Flooding Degree on the Relation Between the Mechanic Properties and Air-dry  
Density, Anatomy Features of *Pterocarya stenoptera*

WANG You-hong<sup>1</sup>, XIAO Cheng-bao<sup>2</sup>, LIU Xing-e<sup>1</sup>, XU Bin<sup>1</sup>

(1. College of Forest Utilization, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui, 230036, China;

万方数据

2. Nanqiao Forest Bureau, Chuzhou, Anhui, 239000, China)

**Abstract** The relationships between the flooding degree and the main mechanical properties, air-dry density, anatomy features were researched. The results indicate that the binomial regressions between the air-dry density and the bending strength, modulus of bending, compression strength parallel to grain and compression strength perpendicular to grain are better than linear regression, exponential regression and power functional regression. At the same time, the regression result of No.1 group is better than that of No.2, the correlativity isn't very close generally. The correlations between the mechanic indexes such as bending strength etc., and the anatomy features are closer, while the correlations between the compression strength perpendicular to grain and double wall thickness are different.

**Key words** flooding degree; *Pterocarya stenoptera*; mechanical property; air-dry density; anatomy features

自从 1919 年 Newlin 和 Wilson 提出木材密度与力学性质间存在着  $Y = aX^b$  的关系以来,很多学者相继研究过密度对木材力学强度的影响,认为二者间存在着紧密的关系。密度与木材力学强度间采用何种函数形式,不同的研究者有所争论。枫杨(*Pterocarya stenoptera*)为长江滩地抑螺防病林树种之一,每年均要受到灾害性水淹伤害。水淹对木材力学性质与其密度、木材解剖特征间关系有何影响,还未见有报道。因此,通过对该方面内容进行研究,对于滩地枫杨木材科学、合理地加工利用,特别是“三滩”的综合治理等都具有重要意义<sup>[1]</sup>。

1 材料与方法

1.1 材料

本文研究的滩地枫杨试材,是按照国家标准《木材物理力学试材采集方法》(GB1927-91)规定<sup>[2]</sup>,采集于安徽省贵池市,共 6 株。根据每年水淹时间长短即淹水程度不同分为 2 组:第 1 组每年水淹 1 个月左右,第 2 组每年水淹 2 个月左右(表 1)。采集地年均温 16.1℃,年降水量 1 400 mm,地处东经 117°,北纬 30°。土壤为山地黄壤,呈微酸性,质地为干枚岗和花岗岩。地形为圩区。

① 收稿日期 2002-05-30  
基金项目 国家“九五”林业科技攻关专题“长江中下游不同类型滩地综合治理与开发配套技术研究示范”(96-01-02-06)  
作者简介 汪佑宏(1970-),男,安徽繁昌人,讲师,南京林业大学在读博士,主要从事木材干燥及木材基础理论研究。

表 1 样木野外记录

Table 1 The outdoors records of samples

样木 编号	树龄 /a	胸高带皮 直径/cm	树高中部带 皮直径/cm	树高/m		林 分		试 材			淹水时 间/月
				全高	枝下高	组成	郁闭度	截取高度/m	长度/m	小头去皮直径/cm	
9701	11	21.8	15.0	17.0	5.4	混交	0.5	1.3~3.3	2.0	17.4	1
9702	11	20.4	13.0	15.1	5.7	混交	0.5	1.3~3.3	2.0	16.4	1
9703	15	17.5	11.1	11.9	5.8	混交	0.5	1.3~3.3	2.0	12.8	1
9704	10	16.1	10.2	13.7	5.1	混交	0.5	1.3~3.3	2.0	13.0	2
9705	9	16.7	13.1	9.8	5.2	混交	0.5	1.3~3.3	2.0	13.2	2
9706	10	16.4	11.6	11.8	5.2	混交	0.5	1.3~3.3	2.0	13.1	2

1.2 试材采集

枫杨伐到后 ,分别在 0.3、1.3、3.3、5.3 和 7.3 m 处截取圆盘 ,沿南北向分别切取 2 cm×2 cm 的通心试条 3 根 ,按照国家标准 ,截取成标准试样 ,用于木材密度、纤维形态特征(切取时 ,自髓心向外 ,每隔 1 a 取样 ,用离析法测定纤维长度等 )和木材解剖特征 (纤维壁厚、腔径、组织比量、微纤丝角、导管分布频率和弦向直径、木射线高和宽度等 )<sup>[3]</sup>的测定。

在伐倒样木上 ,自 1.3 m 处向上截取 2 m 长的木段 1 根 ,量出小头去皮直径 ,标上相应的样木编号。再将 2 m 长的木段锯成 6 段南北向通过髓心的中心板 ,气干数日后 ,加工成标准力学试件 ,按国家标准 GB1935-1936.2-91 和 1939-91 物理力学测试方法 ,在瑞士制 4 t 力学试机上分别对枫杨木材的抗弯强度、抗弯弹性模量、顺纹抗压强度及横纹抗压强度等进行测定<sup>[2]</sup>。

2 结果与分析

2.1 淹水对枫杨木材力学性质与气干密度间关系的影响

滩地枫杨木材力学强度与木材密度间回归方式采用了 4 种不同的函数形式(表 2)。相关系数表明 ,二次多项式( $y = a + bx + cx^2$ )回归比直线( $Y = a + bx$ )、指数( $Y = ab^x$ )和幂函数( $Y = ax^b$ )回归效果好 ,说明密度与木材力学强度间关系采用何种函数表达与树种有关。

枫杨木材气干密度与抗弯强度间关系的几种函数表达式(表 2)表明 ,每种回归方式中均是第 1 组相关性比第 2 组高 ;不论在 0.001 水平上的相关系数检验 ,还是在 0.05 水平上的  $F$  检验 ,回归显著性也表明第 1 组回归显著 ,而第 2 组回归不显著。

木材气干密度与抗弯弹性模量间回归结果表明 ,尽管两组间回归均显著 ,但第 1 组的相关性比第 2 组高。

木材气干密度与顺纹抗压强度间回归 ,经 2 种相关性检验表明 ,回归均显著 ,但木材气干密度与抗弯强度和抗弯弹性模量间回归不同的是 ,第 2 组的回归相关性比第 1 组高。

木材气干密度与横纹抗压强度间相关性很低 ,相关系数都在 0.3 以下 ,表明枫杨木材横纹抗压强度与气干密度间关系不大。

木材抗弯强度、抗弯弹性模量、顺纹抗压强度与气干密度间相关性均较高 ,方程回归也均显著 ,说明了它们与枫杨木材气干密度间关系较为密切。

从表 2 可以看出 ,多项式回归比其他几种函数回归效果更好 ,这与任海青等<sup>[2]</sup>的观点是一致的。各项力学指标与密度间相关性减小的原因 ,是由于较长时间的淹水改变了枫杨木材的结构或使斜纹理倾斜的角度增大 ,同时水淹时间愈长 ,木材密度(如浸提物、吸着水含量改变而导致木材密度的变化)、细胞排列方向、胞壁率、组织比量等变异愈大<sup>[4]</sup>以及脆性等共同作用的结果。

2.2 枫杨木材主要力学性质与解剖特征的关系

对枫杨木材主要力学性质和解剖特征间进行相关矩阵分析(表 3)结果表明 ,木材抗弯强度与轴向薄壁组织比量及单位体积中木射线分子平均边界面积间有较高的负相关关系 ;与纤维比量间呈正相关 ,而与纤维长度几乎没有关系。抗弯弹性模量与木射线、轴向薄壁组织比量以及单位体积中木射线分子平均边界面积间呈负相关 ,相关性较高 ,而与纤维比量间呈正相关 ,相关系数为 0.45。顺纹抗压强度与抗弯弹性模量一样 ,主要也受上述 4 个因子的影响 ,但相关性较高 ,其中与轴向薄壁组织比量及单位体积中木射线分子平均边界面积具有很高的负相关性 ,相关系数分别为 -0.5 和 -0.6。这主要是因为轴向薄壁组织、木射线均属于薄壁组织 ,由薄壁细胞组成 ,其细胞腔大、细胞壁薄 ,比较脆弱 ,而壁厚的

表 2 木材力学性质与气干密度间相互关系

Table 2 The correlations between mechanical properties and air-dry density of wood

力学性质	回归方式	<i>N</i>	回 归 方 程	<i>R</i>	<i>r</i> <sub>0.001</sub>	<i>F</i>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	
抗弯强度	多项式回归	60	$y = -63.106\ 4 + 533.379\ 9x - 487.455\ 4x^2$	0.514 2 *	0.407 8	10.456 *	3.15	
		60	$y = -130.247\ 5 + 824.565\ 3x - 838.052\ 0x^2$	0.275 5		2.383		
	直线回归	60	$y = 28.339\ 1 + 109.723\ 5x$	0.507 0 *				
		60	$y = 45.210\ 0 + 56.075\ 3x$	0.232 5				
	幂函数回归	60	$y = 128.081\ 7x^{0.629\ 4}$	0.511 5 *				
		60	$y = 94.316\ 3x^{0.370\ 2}$	0.240 7				
	指数回归	60	$y = 40.300\ 8(4.2589)^x$	0.508 8 *				
		60	$y = 49.120\ 4(2.2060)^x$	0.234 6				
抗弯弹性模量	多项式回归	60	$y = 15\ 435.461\ 9 - 46\ 215.339\ 8x + 80\ 602.054\ 7x^2$	0.570 9 *	0.418 5	14.02 *	3.15	
		57	$y = 18\ 423.029\ 3 - 60\ 274.668\ 0x + 89\ 258.617\ 2x^2$	0.478 5 *		8.57 *	3.17	
	直线回归	60	$y = 389.541\ 4 + 23\ 658.460\ 0x$	0.566 4 *				
		57	$y = -616.811\ 8 + 22\ 328.620\ 0x$	0.482 7 *				
	幂函数回归	60	$y = 23\ 473.65x^{0.953\ 3}$	0.552 1 *				
		57	$y = 218\ 06.03x^{1.057\ 8}$	0.456 2 *				
	指数回归	60	$y = 4\ 019.22(9.258\ 4)^x$	0.555 5 *				
		57	$y = 3\ 310.77(10.057\ 3)^x$	0.458 8 *				
顺纹抗压强度	多项式回归	60	$y = 27.623\ 3 - 18.073\ 6x + 84.989\ 3x^2$	0.492 9 *	0.411 4	9.31 *	3.15	
		59	$y = -0.246\ 6 + 118.544\ 9x - 100.809\ 8x^2$	0.836 8 *		66.58 *	3.16	
	直线回归	60	$y = 11.758\ 3 + 55.603\ 7x$	0.492 1 *				
		59	$y = 3.436\ 4 + 64.792\ 5x$	0.806 2 *				
	幂函数回归	60	$y = 62.438\ 1x^{0.667\ 6}$	0.496 4 *				
		60	$y = 18.174\ 9(4.7329)^x$	0.498 2 *				
横纹全部抗压强度	多项式回归	30	$y = -13.594\ 4 + 75.385\ 5x - 84.186\ 6x^2$	0.296 5	0.554 1	1.35	3.34	
		30	$y = 8.694\ 7 - 27.315\ 4x + 35.552\ 9x^2$	0.202 2		0.60		
	直线回归	30	$y = 1.788\ 0 + 3.133\ 1x$	0.299 0				
		30	$y = 1.537\ 1 + 4.648\ 1x$	0.193 4				
	幂函数回归	30	$y = 4.350\ 0x^{0.403\ 6}$	0.198 7				
		30	$y = 5.729\ 5x^{0.593\ 3}$	0.184 1				
	指数回归	30	$y = 2.092\ 5(2.476\ 1)^x$	0.190 3				
		30	$y = 1.940\ 6(3.860\ 8)^x$	0.187 5				
	多项式回归	30	$y = -6.133\ 5 + 36.889\ 9x - 36.947\ 3x^2$	0.264 7		0.554 1	1.05	3.34
		30	$y = 24.771\ 8 - 91.365\ 3x + 94.240\ 8x^2$	0.315 5			1.55	
	直线回归	30	$y = 0.967\ 3 + 4.411\ 4x$	0.254 8				
		30	$y = 4.272\ 0 - 3.255\ 3x$	-0.206 9				
	幂函数回归	30	$y = 5.026\ 7x^{0.685\ 7}$	0.281 8				
		30	$y = 1.806\ 8x^{-0.535\ 5}$	-0.207 7				
	指数回归	30	$y = 1.448\ 6(4.706\ 2)^x$	0.279 4				
		30	$y = 4.543\ 6(0.333\ 6)^x$	-0.198 2				

注 表中每项回归第 1、2 行分别为第 1、2 组 ;力学单位 :MPa ;密度单位 :g/cm<sup>3</sup> ;\* 表示方程回归显著。

纤维主要机能是机械支持,其比例愈高,木材的强度愈大<sup>[5]</sup>。横纹(全部)抗压强度与轴向薄壁组织比量相关性较高,在径向和弦向上的相关系数分别为 0.44 和 0.51,主要是因为成熟的轴向薄壁组织为长方体细胞,其横端壁对外界作用力抵制。此外,在径向上还与木射线比量呈正相关,这正是横纹(全部)抗压强度在径、弦向上产生差异的原因所在。木射线是木材中唯一横向的、呈径向排列的细胞,其细胞壁中的微纤丝与木材轴向垂直,微纤丝长轴方向上分子间的化学键对外界的作用力产生很大的抵抗力,故表现为木射线在径向上对木材受压产生一定

的抵制作用,而在弦向上几乎不起作用,所以横纹(全部)抗压强度在径向上与木射线比量间呈现出较高的正相关。

由表 3 可知,横纹(全部)抗压强度与双壁厚间的相关性在径、弦向上存在着较大的差异,原因在于双壁厚是在弦向测量的,是指纤维的径壁,其壁愈厚,壁上实质性的物质愈多,抵抗径向上的作用力愈强,而在弦向情况却不同,故产生了上述结果。横纹(全部)抗压强度在径向上与导管比量间存在着较高的负相关性,这是因为导管比量越多,单位面积上的木材实质性物质越少,因而对外力的抵抗作用也就

越弱,在弦向上未产生与径向上相同结果的原因,与导管在径、弦面壁上纹孔的分布及纤丝角的大小有关,至于是否还有其它的影响因素,还有待进一步研究。

表 3 力学性质与解剖特征间相关矩阵

Table 3 The correlative matrix between mechanical properties and anatomy features

	$2W$	$F$	$V$	$R$	$P$	$S_{VV}$	$S_{VR}$	$K_W$	$T_M$	$S_Y$	$H_R$	$H_T$
$L$	0.62	0.76	-0.47	-0.73	-0.23	-0.87	-0.82	-0.00	0.21	0.29	0.13	0.06
$2W$		0.44	-0.46	-0.37	-0.15	-0.35	-0.56	-0.25	-0.21	-0.03	0.58	-0.19
$F$			-0.19	-0.98	-0.59	-0.59	-0.78	0.22	0.45	0.48	-0.27	-0.20
$V$				0.14	-0.48	0.49	0.24	0.05	0.17	0.22	-0.63	0.11
$R$					0.51	0.53	0.73	-0.17	-0.48	-0.48	0.35	0.06
$P$						0.23	0.50	-0.35	-0.34	-0.50	0.44	0.51
$S_{VV}$							0.63	-0.05	-0.10	-0.15	-0.16	0.12
$S_{VR}$								-0.43	-0.52	-0.60	0.14	0.16
$K_W$									0.74	0.79	-0.40	-0.27
$T_M$										0.90	-0.70	0.02
$S_Y$											-0.52	0.01
$H_R$												-0.09

注： $L$ —纤维长度， $2W$ —双壁厚， $F$ —纤维比量， $V$ —导管比量， $R$ —木射线比量， $P$ —轴向薄壁组织比量， $S_{VV}$ —单位体积中导管分子平均边界面积， $S_{VR}$ —单位体积中木射线分子平均边界面积， $K_W$ —抗弯强度， $T_M$ —抗弯弹性模量， $S_Y$ —顺纹抗压强度， $H_R$ —横纹（全部）抗压强度（径向）， $H_T$ —横纹（全部）抗压强度（弦向）。

3 结论

回归结果表明，二项式回归效果比直线回归、指数回归及幂函数回归都要好，第 1 组回归结果比第 2 组好。力学性质与密度间相关性较小，除第 2 组木材顺纹抗压强度相关系数达 0.8 外，其余的各种相关系数均小于 0.6。

木材抗弯强度与轴向薄壁组织比量、单位体积中木射线分子平均边界面积间呈较高的负相关，与纤维比量间呈正相关。顺纹抗压强度、抗弯弹性模量与木射线、轴向薄壁组织比量、单位体积中木射线分子平均边界面积间具有较高的负相关性，与纤维比量间呈正相关，但顺纹抗压强度与它们间的相关性较高。横纹（全部）抗压强度与轴向薄壁组织比量相关性较高，在径向上还与木射线比量呈正相关、与

导管比量间有较高的负相关性，横纹（全部）抗压强度与双壁厚间的相关性在径、弦向上存在着较大的差异。

致谢：本文是在江泽慧教授指导下完成的，试验过程中得到卫广扬先生、柯曙华老师和王传贵副教授的热情帮助，在此表示感谢！

参考文献：

[1] 彭镇华,江泽慧.中国新林种——抑螺防病林研究[M].北京:中国林业出版社,1995.

[2] 国家技术监督局.木材物理力学性质试验方法[S].北京:中国标准出版社,1991.

[3] 任海青,誉兴中,刘秀梅.三角枫木材性质及用途的研究[J].安徽农业大学学报,1994,21(4):370-374.

[4] 汪佑宏,洪安东,徐斌,等.不同淹水程度对长江滩地枫杨组织比量的影响及变异[J].安徽农业大学学报,2000,27(4):380-383.

[5] 尹思慈主编.木材学[M].北京:中国林业出版社,1996.