

不同含水率对四倍体刺槐抗弯强度 及弹性模量的影响

赵雪松, 俞国胜*, 朱建国, 德雪红
(北京林业大学 工学院, 北京 100083)

摘要: 为研究四倍体刺槐在弯曲负荷作用下破裂或折弯的变化规律, 用数理统计的方法在万能力学试验机上对不同含水率的四倍体刺槐枝条的弯曲力学特性进行了研究。结果表明, 4 种含水率水平下, 四倍体刺槐在弯曲载荷作用下的抗弯强度为 54.12~94.42 MPa、弹性模量为 4.81~9.30 GPa。四倍体刺槐枝条的最大载荷在各个含水率水平下均随枝条直径的增大呈线性提高。四倍体刺槐的抗弯强度及弹性模量与含水率水平成一元线性相关关系, 随含水率水平的降低四倍体刺槐的抗弯强度及弹性模量呈线性增大。

关键词: 四倍体刺槐; 弯曲试验; 抗弯强度; 弹性模量

中图分类号: S792.27 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2013)05-0177-04

Effects of Different Moisture Content on Bending Strength and Elastic Modulus of Tetraploid *Robinia pseudoacacia*

ZHAO Xue-song, YU Guo-sheng*, ZHU Jian-guo, DE Xue-hong
(Technology College of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To study the variation of tetraploid *Robinia pseudoacacia* rupturing or bending in bending load, statistical methods were used to research the bending mechanical properties of tetraploid *Robinia pseudoacacia* with different moisture content on a universal testing machine. The results showed that in bending load, the bending strength of tetraploid *Robinia pseudoacacia* was between 54.12 Mpa and 94.42 Mpa, and elastic modulus range was between 4.81 Gpa and 9.30 Gpa. The maximum load of tetraploid *Robinia pseudoacacia* increased linearly with the branch diameter at various moisture content levels. The bending strength and elastic modulus presented a linear correlation with moisture content, and they increased linearly with the lowering of moisture content level.

Key words: tetraploid *Robinia pseudoacacia*; bending experiment; bending strength; elastic modulus

四倍体刺槐是我国于 1997 年从韩国山林厅林木育种研究所引进的刺槐新品种, 呈灌木状, 主干不明显, 叶片是普通刺槐的 2 倍以上, 属优良饲料树种。四倍体刺槐耐贫瘠、耐低温, 速生丰产抗病能力强, 根萌蘖性强, 具有根瘤菌, 可以起到改良土壤、增加土壤有机质含量和形成土壤团粒结构的作用, 是水土保持、防风固沙、改良土壤、营造饲料型灌木林

的优良树种^[1]。对 3 年生四倍体刺槐可采取平茬复壮工艺, 增强植株的萌蘖能力, 进而快速恢复种植地的植被。平茬下来的木质化枝条具有质地坚硬、密度大、热值高等优点, 经清华大学热能工程实验室检测, 其高位发热量为 20 929.44 kJ/kg, 枝条粉碎后, 在常温下采用致密成型方法(密度 1.0~1.2 g/cm³)生产林业生物质燃料, 作为清洁能源完全可以替代煤

收稿日期: 2012-11-20

基金项目: 国家林业公益性行业专项基金项目(200904007)

作者简介: 赵雪松(1972-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 讲师, 在读博士研究生, 主要从事营林与园林机械研究。

E-mail: zhao_xuesong555@163.com

* 通讯作者: 俞国胜(1956-), 男, 北京人, 教授, 博士, 主要从事营林与园林机械研究。E-mail: sgyzh@bjfu.edu.cn

炭提供给生物质电厂用于发电^[2]。作为退耕还林的重要推广树种,四倍体刺槐种植和开发利用对加快西部生态建设、促进西部畜牧业和生物质能源产业发展、巩固退耕还林成果具有现实意义。

研究四倍体刺槐在弯曲负荷作用下破裂或折弯时的弯曲力学特性,可在设计阶段确定四倍体刺槐削片粉碎机的工作情况,通过调整切削组件结构参数和合理匹配动力,提高四倍体刺槐枝条的切断率,减少设备研发成本,缩短研发周期^[3]。由于含水率对四倍体刺槐力学性能有较大影响^[4],研究了不同含水率水平对四倍体刺槐的抗弯强度及弹性模量的影响规律,为进一步研究削片机的切割系统结构及技术参数奠定理论基础。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料于 2011 年 11 月 5 日采自北京林业大学实验林场种植的 5 年生四倍体刺槐,选择生长良好、枝干通直、根部直径 20 mm 左右、长度为 2 m 以上的 20 根枝条,采伐时应注意避免切割面的机械损伤,试样采伐后运至实验室。

将 20 根枝条均分为 4 组,第 1 组试样为刚刚采伐下来的湿材,第 2 组试样在室内自然干燥 2 d,第 3 组试样在室内自然干燥 1 周,第 4 组试样在室内自然干燥 4 周。将所有试样枝条每隔 160 mm 截断,端面垂直于纵向轴线的试样用于试验^[5]。

万能力学试验机采用深圳瑞格尔公司生产的 100 KN 电子控制试验机 RGE-2100,测定精度达 0.5 级(示值的±0.5%内),具有球面滑动支座。选择试验机量程为 2 000 N,荷载传感器精度为 0.1 N,位移传感器测量精度为 0.001 mm,自动采样时间间隔为 0.05 s。

1.2 试验方法

采用三点弯曲方法测定各组枝条不同径级试样

的抗弯弹性模量值和抗弯强度值。首先在试样长度中央测量枝条直径,2 个方向测 4 次算出平均值并精确至 0.01 mm,然后采用中央加载,将试样放在试验装置的两支座上,支点距离为 100 mm,下支点圆柱直径为 15 mm,上支点圆柱直径为 8 mm。在支座间试样中部以均匀速度加荷,加载速度设定为 4 mm/min,记录最大载荷值,精确至 10 N。试验后立即在试样靠近破坏处截取 1 个 20 mm 长的木块,按 GB/T 1931—2009 测定试样含水率^[6],并按以下公式计算抗弯弹性模量及抗弯强度值^[7-8]。

$$\text{抗弯弹性模量计算公式为: } E_w = \frac{PL^3}{48YI}$$

式中: E_w —试样含水率为 W 时的抗弯弹性模量,单位为 MPa; P —上、下限载荷之差,单位为 N; L —两支座间跨距,单位为 mm; Y —弯曲挠度; I —截面惯性矩,对于圆形截面 I 计算公式为: $I = \frac{\pi D^4}{1\,024}$,故 $E_w = \frac{PL^3}{48YI} = \frac{64PL^3}{3\pi YD^4}$, D —试样直径,单位为 mm。

$$\text{抗弯强度计算公式为: } \sigma_{bw} = \frac{M_{\max}}{W}, \text{ 式中: } \sigma_{bw} \text{—}$$

试样含水率为 W 时的抗弯强度,单位为 MPa; M_{\max} —最大弯矩, $M_{\max} = \frac{1}{2}F_{\max}L$, F_{\max} —最大破坏载荷,单位为 N, L —两支座间跨距,单位为 mm; W —试样抗弯截面系数,对于圆形截面 W 计算公式为:

$$W = \frac{\pi D^3}{32},$$

$$\text{故 } \sigma_{bw} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{32M_{\max}}{\pi D^3} = \frac{16F_{\max}L}{\pi D^3},$$

D —试样直径,单位为 mm^[9]。

2 结果和分析

根据弯曲试验记录的载荷与位移关系,可得到四倍体刺槐的抗弯强度、弹性模量(表 1)。

表 1 四倍体刺槐的抗弯强度、弹性模量值

含水率/%	直径/mm	最大载荷/N	抗弯强度/MPa	弹性模量/GPa	含水率/%	直径/mm	最大载荷/N	抗弯强度/MPa	弹性模量/GPa
12.2	20.3	1 312.43	79.95	12.66	31.4	21.6	983.60	49.73	1.45
	19.3	1 323.92	93.83	14.53		16.3	597.34	70.28	9.55
	13.6	307.29	62.25	13.92		16.7	627.50	68.65	6.10
	13.4	400.62	84.84	7.60		15.3	428.42	60.95	8.25
	12.3	344.62	94.37	8.84		11.6	228.31	74.53	4.21
	12.2	380.52	106.78	12.39		10.4	163.69	74.15	7.72
	11.3	344.62	121.70	4.09		10.7	114.87	47.78	5.85
	8.6	64.62	51.77	7.84		9.4	84.72	51.97	8.10
	7.0	90.46	134.39	6.65		8.7	48.82	37.78	3.31
	5.5	37.33	114.33	4.47		7.1	38.77	55.20	0.75

续表 1 四倍体刺槐的抗弯强度、弹性模量值

含水率/%	直径/mm	最大载荷/N	抗弯强度/MPa	弹性模量/GPa	含水率/%	直径/mm	最大载荷/N	抗弯强度/MPa	弹性模量/GPa
19.0	16.1	881.65	107.65	2.66	39.8	19.6	1 160.22	78.52	6.74
	15.7	840.01	110.61	11.53		19.3	666.27	47.22	1.36
	15.5	489.65	67.00	8.10		13.6	145.03	29.38	3.18
	14.8	433.65	68.16	7.60		13.5	376.21	77.91	2.88
	12.4	179.49	47.97	2.39		12.8	211.08	51.29	4.46
	12.3	333.13	91.20	4.41		12.2	248.41	69.71	7.57
	11.3	331.70	117.14	7.14		11.5	81.85	27.4	9.76
	10.8	275.70	111.52	7.80		9.1	99.08	67.00	2.37
	10.4	198.16	89.76	5.08		8.4	75.82	65.18	8.28
	9.6	172.31	99.24	4.71		6.2	12.92	27.62	1.51

由表 1 试验数据可得到四倍体刺槐在不同含水率水平下的物理特性平均值,抗弯强度值为 $\sigma_{b12.2\%}=94.42\text{ MPa}$ 、 $\sigma_{b19.0\%}=90.03\text{ MPa}$ 、 $\sigma_{b31.4\%}=59.10\text{ MPa}$ 、 $\sigma_{b39.8\%}=54.12\text{ MPa}$;弹性模量值为 $E_{12.2\%}=9.30\text{ GPa}$ 、 $E_{19.0\%}=6.14\text{ GPa}$ 、 $E_{31.4\%}=5.53\text{ GPa}$ 、 $E_{39.8\%}=4.81\text{ GPa}$ 。

2.1 四倍体刺槐最大载荷的分析

由图 1 可知,四倍体刺槐所承受最大载荷与枝条直径存在明显的线性关系,随直径的增大而显著提高。

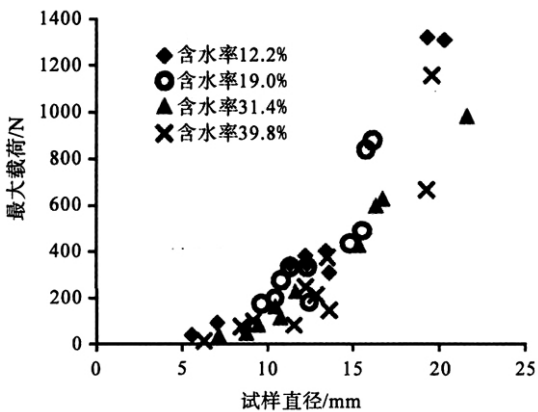


图 1 四倍体刺槐最大抗弯载荷与试样直径的关系

为分析不同含水率水平下的四倍体刺槐枝条直径(x)与所承载的最大载荷(y)之间的变化规律,对

表 1 中的数据进行线性回归分析,得到以下方程,即含水率 39.8%四倍体刺槐: $y=72.11x-602.4$ ($R^2=0.769$);

含水率 31.4%四倍体刺槐: $y=69.24x-553.2$ ($R^2=0.972$);

含水率 19.0%四倍体刺槐: $y=91.18x-761.8$ ($R^2=0.738$);

含水率 12.2%四倍体刺槐: $y=92.38x-685.8$ ($R^2=0.881$)。

由回归方程可知,四倍体刺槐的直径均与外加最大载荷呈线性正相关关系,随直径的增大其最大承载力成比例线性提高。

2.2 四倍体刺槐抗弯强度的分析

采用无重复双因素方差分析方法对表 1 中四倍体刺槐抗弯强度数据进行分析研究,结果如表 2 所示。

方差结果表明,不同直径间 F 统计量 ($0.535\ 884$) $<F$ 临界值 ($2.250\ 131$),显著性分析的概率值 ($0.835\ 399$) >0.05 ,所以接受不同直径间等均值假设,认为不同枝条直径对抗弯强度无影响。不同含水率间 F 统计量 ($8.749\ 935$) $>F$ 临界值 ($2.960\ 351$),显著性分析的概率值也仅有 ($0.000\ 323$),所以拒绝不同含水率间等均值假设,认为不同的含水率对抗弯强度有显著影响。

表 2 四倍体刺槐的抗弯强度方差分析

差异源	SS	df	MS	F	P	F 临界值
直径	2 429.01	9	269.890	0.535 884	0.835 399	2.250 131
含水率	13 220.32	3	4 406.773	8.749 935	0.000 323	2.960 351
误差	13 598.14	27	503.635			
总计	29 247.47	39				

注:SS 为偏差平方和,df 为自由度,MS 为均方,P 为概率值。下同。

对表 1 抗弯强度数值分别进行两两配对样本 t 检验,检验结果表明,含水率 39.8%与 31.4%的试样、含水率为 19%与 12.2%的试样相比抗弯强度变化不显著,含水率为 31.4%与 19.0%的试样抗弯强度变化显著。

表 3 四倍体刺槐的弹性模量方差分析

差异源	SS	df	MS	F	P	F 临界值
直径	111.008 1	9	12.334 23	1.416 562	0.230 068	2.250 131
含水率	115.725 1	3	38.575 02	4.430 262	0.011 736	2.960 351
误差	235.093 4	27	8.707 17			
总计	461.826 6	39				

方差结果表明,不同直径间 F 统计量 ($1.416\ 562$) $< F$ 临界值 ($2.250\ 131$),显著性分析的概率值 ($0.230\ 068$) > 0.05 ,所以接受不同直径间等均值假设,认为不同枝条直径对抗弯弹性模量无影响。不同含水率间 F 统计量 ($4.430\ 262$) $> F$ 临界值 ($2.960\ 351$),显著性分析的概率值也仅有 ($0.011\ 736$),所以拒绝不同含水率间等均值假设,认为不同的含水率对弹性模量值有显著影响。

对表 1 中四倍体刺槐的弹性模量数值分别进行两两配对样本 t 检验,结果显示相邻含水率水平的弹性模量值变化趋势无显著差异。

由图 2 可知,四倍体刺槐的抗弯强度 (y_1) 及弹性模量 (y_2) 均与含水率成负相关关系,随含水率的降低抗弯强度及弹性模量成比例线性增大。回归模型如下:

$$y_1 = -175.0x + 119.5 \quad (R^2 = 0.935);$$

$$y_2 = -17.60x + 11.65 \quad (R^2 = 0.990).$$

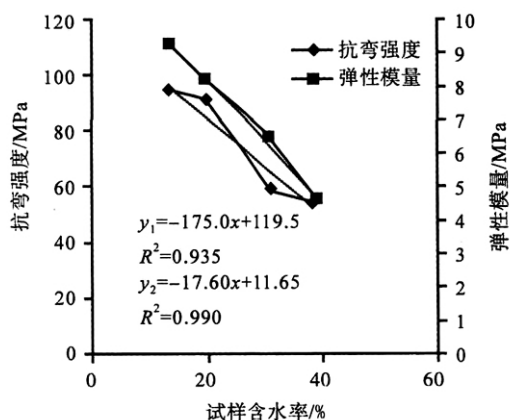


图 2 四倍体刺槐的抗弯强度、抗弯弹性模量与试样含水率的关系

2.3 四倍体刺槐抗弯弹性模量的分析

用无重复双因素方差分析方法研究四倍体刺槐不同的径级及含水率水平对其抗弯弹性模量的影响^[10],分析结果如表 3 所示。

3 结论

四倍体刺槐枝条所承受最大外加载荷与其直径大小成线性正相关关系,随直径的增大其最大承载力成比例线性提高。随含水率水平的下降,四倍体刺槐的抗弯强度值和抗弯弹性模量值不断增大,在含水率 31.4%~17.3%区间抗弯强度上升趋势明显,但弹性模量在 4 个含水率水平区间变化平稳,无明显增大或减少现象。试验中四倍体刺槐的抗弯强度、弹性模量与含水率水平成一元线性相关关系。

参考文献:

- [1] 王兵,周梅,德永军,等.四倍体刺槐不同栽培模式适应性评价[J].内蒙古农业大学学报,2007,28(1):9-12.
- [2] 俞国胜,袁湘岳,陈忠加.灌木资源产业化促进沙荒地植被恢复[C]//第二届中国林业学术大会特邀报告集,2009:254-259.
- [3] 苏工兵,刘剑英,王树才,等.苕麻茎秆拉伸力学性能的试验研究[J].农机化研究,2008(2):139-142.
- [4] 赵春花,张锋伟,曹致中.豆禾牧草茎秆的力学特性试验[J].农业工程学报,2009,25(9):122-125.
- [5] 刘庆庭,区颖刚,袁纳新.甘蔗茎在弯曲荷载下的破坏[J].农业工程学报,2004,20(3):6-9.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 1931-2009 国家木材含水率测定方法[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 1936.1-2009 国家木材抗弯强度试验方法[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 1936.2-2009 国家木材抗弯弹性模量试验方法[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [9] 刘鸿义.材料力学[M].北京:高等教育出版社,1991.
- [10] 王晓民.Excel 2002 高级应用——数理统计[M].北京:机械工业出版社,2003.