

# 不同生态条件对人工林杨树木材物理力学性质的影响\*

查朝生 王嘉楠 方宇 刘盛全\*\*

(安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

**【摘要】** 在施肥与未施肥、淹水与未淹水两种生态条件下,以杨树人工林木材 I-69 杨为对象,对木材年轮宽度、基本密度、干缩性质、主要力学性质进行了测试,并对数据进行了统计、对比和分析。结果表明,施肥处理后,木材年轮宽度、静态抗弯弹性模量和顺纹抗压强度分别增大 0.99%、2.73% 和 1.06%;全干时和气干时的径向、弦向、体积全干干缩率分别降低了 4.2%、7.7%、6.6%、15.6%、6.3% 和 11.1%;木材密度、抗弯强度、动态抗弯弹性模量则分别降低了 2%、1.79%、8.13%。与未淹水相比,季节性淹水对 I-69 杨木材密度、木材干缩率和力学性质的影响较大,二者差异显著( $P < 0.05$ )。其中木材密度、全干时和气干时的径向、弦向、体积干缩率、抗弯强度、抗弯弹性模量以及顺纹抗压强度分别降低了 5.5%、11.1%、9.2%、9.6%、16.7%、10.9%、8.5%、24.29%、18.18% 和 16.81%。

**关键词** 施肥处理 季节性淹水 I-69 杨 物理力学性质 木材变异

**文章编号** 1001-9332(2005)11-2012-07 **中图分类号** S781.29 **文献标识码** A

**Physicomechanical properties of plantation poplar wood under different eco-environments.** ZHA Chaosheng, WANG Jianan, FANG Yu, LIU Shengquan (College of Forestry and Gardening, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(11): 2012~2018.

The measurement of the physicomechanical properties of 9 plantation poplar I-69 (*Populus deltoides* CV. I-69/55) woods under fertilization and seasonal flooding showed that compared with no fertilization, fertilization increased the ring width, static modulus of elasticity, and compressive strength parallel to the grain by 0.99% ( $P > 0.05$ ), 2.73% ( $P < 0.05$ ) and 1.06% ( $P < 0.05$ ), while decreased the air-dry radial, tangential, volumetric shrinkage, oven-dry radial, tangential, volumetric shrinkage, basic density, MOR, and dynamic modulus of elasticity by 4.2%, 7.7%, 6.6%, 15.6%, 6.3%, 11.1%, 2%, 1.79% and 8.13%, respectively. Seasonal flooding decreased the basic density, air-dry radial, tangential, volumetric shrinkage, oven-dry radial, tangential, volumetric shrinkage, MOR, MOE, and compressive strength parallel to the grain by 5.5%, 11.1%, 9.2%, 9.6%, 16.7%, 10.9%, 8.5%, 24.29%, 18.18% and 16.81%, respectively, in comparing with non-flooding.

**Key words** Fertilization, Seasonal flooding, Poplar I-69, Physicomechanical properties, Wood variation.

## 1 引言

杨树(*Populus* spp.)因其生长快、适应性强、繁殖容易、木材用途广而引起世界各国的关注,成为人工林中的一种优良速生树种,是我国重要的速生丰产林和短周期工业用材林首选树种,也是世界人工林发展的重要三大速生树种之一。1995年我国杨树营造面积为  $6.66 \times 10^6$   $\text{hm}^2$ ,超过了世界其它国家杨树人工林面积的总和<sup>[16]</sup>。施肥是人工林速生丰产的关键技术措施之一,能增加土壤养分,加速林木的生长,特别是早材细胞的生长。过去的许多研究已证明了施肥对人工林的速生丰产效应。但是对于人工用材林而言,光考虑速生丰产还不够,还必须考虑木材的性能和质量,只有优质高产才是人工用材林经营的完整目标。

近年来关于施肥对人工林材性影响的研究也取

得了一定的进展。Gray<sup>[6]</sup>研究表明,对红松进行施肥处理,可增加早材细胞壁厚度,相对降低晚材细胞壁厚度,而使木材结构趋于均匀。罗建举<sup>[9]</sup>发现,施肥处理使尾叶桉木材纤维宽度显著增大,木材密度显著降低。柴修武等<sup>[1,2]</sup>曾对混合肥料和单一肥料的施肥处理对杨树材性影响的进行了研究。李飞云等<sup>[8]</sup>发现,施肥对杉木材性的改善作用不明显。施肥处理对杨树人工林木材的性能和质量的影响,国内研究报道较少,并且结论不一致。

关于淹水对杨树的影响,已有的研究更多地侧重于对杨树生长量等生长性状影响的研

\* 国家科技部中法合作先进项目(PRA-BT00-04)、瑞典国际科学基金组织国际科学基金项目(IFS-D/2778-2F)、安徽省自然科学基金项目(01011104)和安徽省优秀青年科技基金资助项目。

\*\* 通讯联系人。

2005-01-25 收稿,2005-05-31 接受。

究<sup>[14,20~22,24]</sup>.研究表明,淹水时间在3个月以内,且淹水深度在3m以下,使用杨树大苗造林,不影响林木成活,但生长受到影响;水淹在45d以内,水深在1.5m以下,对杨树生长不仅没有影响,反而有利,这说明淹水对杨树生长有一定程度的影响<sup>[7]</sup>.淹水对杨树木材性质的影响研究甚少,且主要集中在对解剖特征<sup>[9]</sup>的研究上.

本文通过比较和分析施肥处理以及淹水条件对I-69杨木材主要物理力学性质的影响,旨在为滩地I-69杨速生丰产高质的营林模式以及木材的合理加工利用,提供科学的理论依据和指导.

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 研究地区概况

试材采集地位于安徽省天长市.该市位于安徽省江淮丘陵的东部,与江苏苏北的扬州、仪征等毗邻,东接高邮湖,是典型的平原水网地区.气候为北亚热带季风气候,阳光充足、气候温和、雨量适中.年平均气温14.8℃,1月均温1.17℃,7月均温27.6℃,降水量1041mm,日照时数2197.6h,无霜期220d.林地于1991年开始造林,种植密度为4m×5m.施肥处理地从第4年开始施肥,1hm<sup>2</sup>施120kg的钾肥,600kgN和P混合肥.其中钾肥为氯化钾,有效成分按56%K<sub>2</sub>O计;氮肥为尿素,有效成分按46%N计;磷肥为钙镁磷肥,有效成分按14%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>计.试验地属高邮湖畔红草湖滩地,由于内圩的影响,有季节性淹水的特点,部分地区每年淹水2个月左右,淹水深度1m左右.样地自然条件及林分生长情况见表1.

表1 人工林杨树样木基本情况

Table 1 Outdoors records of samples of plantation poplar

编号 Number	处理条件 Treatment	树龄 Age (yr)	胸高直径 DBH (cm)	树高 Height (m)	枝下高 Branch height (m)
6901	K120+T	12	24.5	14.5	7.8
6902		12	24.6	15.0	8.2
6903		12	23.5	13.5	6.4
6904	未施肥	12	24.1	14.0	7.2
6905	Unfertilization	12	23.9	13.8	6.7
6906		12	23.7	14.2	7.5
6907		12	23.4	12.6	6.2
6908	淹水 Flooding	12	21.9	11.2	5.8
6909		12	22.1	13.0	6.5

K120:钾肥120kg·hm<sup>-2</sup> Means 120kg K fertilizers per hm<sup>2</sup>; T:(氮肥+磷肥)600kg·hm<sup>-2</sup> Means 600kg nitrogen fertilizer and phosphate fertilizer per hm<sup>2</sup>; 采集时间为2003年12月,地形为湖滩,土壤为粘壤土,有机质含量中,年平均日照1800~2500h,年均温度15.4~16.6℃,年降水量1041mm,无霜期220~240d The time of sample collection was in December, 2003; geological type is lake beach; soil type is sticky and of middle organism; the year average sunlight is 1800~2500h; the year average temperature is 15.4~16.6℃; the year precipitation is 1041mm; the frostless seasons is 220~240d.

试材采集按照国家标准《木材物理力学试材采集方法》(GB1927-97)<sup>[4]</sup>,共采集9株,分别采自3块相邻的试验地,其中样木标号6901~6903的试材进行了施肥处理,6904~6906的试材既未施肥,又未被淹水,6907和6908的试材每

年有2个月左右的水淹.样木除施肥处理外,其他因素都尽量控制在同一水平,以便进行不同条件下的材性对比研究.

### 2.2 研究方法

将每株伐倒样木距树基部1.3m处向上的木段,沿南北方向通过髓心锯解成中心板,气干后按照GB1929-39<sup>[4]</sup>木材物理力学试材锯解试样截取方法加工成木材基本密度、顺纹抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量试样,然后按GB1930-33-91、GB1935-36-1、2的测试方法,分别测定木材生长轮宽度、含水率、干缩率、基本密度、顺纹抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量.

原始数据用Excel软件进行方差分析、回归分析和相关分析.

## 3 结果与分析

### 3.1 施肥处理对I-69杨物理力学性质的影响

**3.1.1 年轮宽度** 年轮的宽窄是生长率的标志,年轮宽度是林木生长量的主要指标,其大小反映了树木生长速度的快慢,直接影响木材材积和年生长量.探讨年轮宽度的径向变异,对培育速生、丰产优质木材意义重大.柴修武等<sup>[1,2]</sup>对杨树年轮宽度研究表明,肥料明显促进杨树生长.由表2可见,未施肥处理的年轮宽度均值为10.1mm,施肥处理的年轮宽度均值为10.2mm,比未施肥处理大0.99%.可见肥料对杨树生长有促进作用,与柴修武等的结论相符.

图1为2种施肥处理条件下年轮宽度的径向变异曲线.由图1可见,1~3年2种处理条件下的年轮宽度基本相近;4~5年,未施肥的年轮宽度上升较快,大于施肥处理;5年以后施肥处理的年轮宽度大于未施肥处理.究其原因,是由于施肥处理地是从第4年开始施肥的,前3年生长相近,4~5年肥料还未表现效应,第5年以后肥料对杨树生长才起到明显的促进效应.由图1还可以看出,施肥与未施肥条件下年轮宽度径向变异总体趋势基本相似,由髓心向外呈增大的趋势.这种趋势可能与所取12年生杨树仍处于生长期,生长还较旺盛有关.

**3.1.2 木材的基本密度** 施肥条件下的I-69杨的基本密度为0.378g·cm<sup>-3</sup>,比未施肥条件下的基本密度0.386g·cm<sup>-3</sup>小2%.施肥促进了树木的生长,但同时使木材密度有所降低.这主要是由于施肥后,树木形成层原始细胞分裂加快,形成层后作用减小,导管比量增加,木纤维比量减小,使得木材密度减小,这与罗建举等<sup>[10]</sup>、徐永吉等<sup>[22]</sup>的研究结果相似,即木材密度与树木生长速度之间存在负相关性.施肥和未施肥条件下木材密度的径向变异规律相似(图2),均为从髓心到树皮在波动中缓慢增加. Panshin

表2 施肥与未施肥条件下杨树木材材性

Table 2 Wood properties of poplar in different fertilizations

施肥处理 Fertilization	施肥 Fertilized				未施肥 Unfertilized				总平均值 Average
	6901	6902	6903	平均值 Average	6904	6905	6906	平均值 Average	
年轮宽度 Annual ring width(mm)	11.4	10.8	8.8	10.2	10.3	9.2	11.0	10.1	10.1
变异系数 CV(%)	51.95	56.33	49.59	52.87	38.61	42.39	30.83	36.89	45.31
基本密度 Basic density( $g \cdot cm^{-3}$ )	0.38	0.38	0.38	0.38	0.39	0.38	0.39	0.39	0.38
变异系数 CV(%)	11.0	18.7	8.7	13.3	9.1	11.3	10.2	10.0	11.9

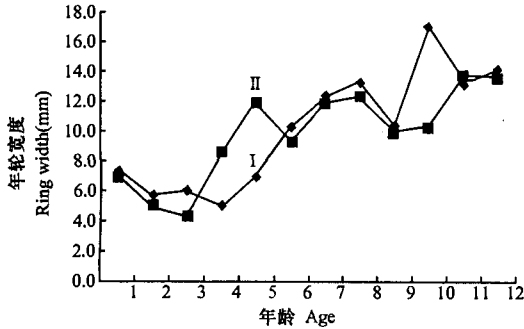


图1 施肥与未施肥条件下年轮宽度的径向变异

Fig. 1 Radial variation of annual ring width in different fertilization. I. 施肥 Fertilizer; II. 未施肥 Unfertilizer. 下同 The same below.

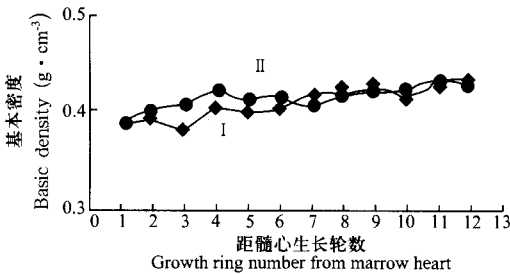


图2 施肥与未施肥条件下基本密度的径向变异

Fig. 2 Radial variation of density in different fertilizations.

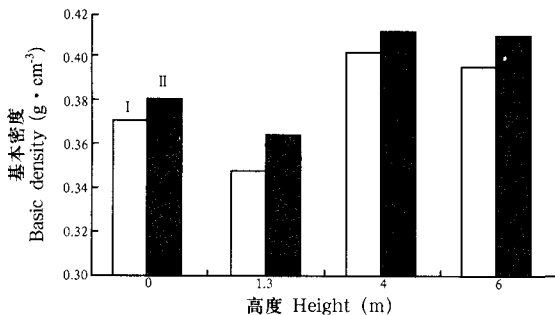


图3 施肥与未施肥条件下基本密度的轴向变异

Fig. 3 Longitude variation of density in different fertilizations.

等<sup>[12]</sup>在总结大量变异规律的基础上将木材密度径向变异划分为3种类型: I. 自髓心向外递增; II. 自髓心向外, 最初递减, 然后向外层再增加; III. 髓心附近密度高于树皮附近密度, 密度自髓心到树皮以直线或曲线形式降低。结果表明, 施肥与未施肥条件下密度的径向变异, 均符合 Pashin I 的变异规律。轴向变异也呈现相近的变异规律(图3): 从树干基部向上逐渐减小, 在1.3 m处达到最小值, 以后随着高度

的增加又逐渐增大。

**3.1.3 木材干缩率** 木材作为一种有机材料, 在空气中受气温和湿度等自然因子的影响, 发生干缩和湿胀, 改变原有尺寸和形状, 影响木材及其制品的使用。对干缩性质变异的研究, 可以为杨树木材的干燥、加工利用提供科学依据。

施肥对 I-69 杨的干缩性质的影响明显。从表3可以看出, 各项干缩指标都有不同程度的降低。其中, 径向全干干缩率和弦向全干干缩率分别下降4.2%和7.9%; 径向气干干缩率和弦向气干干缩率分别下降15.6%和6.3%; 体积全干干缩率和体积气干干缩率则分别下降6.6%和11.1%; 说明施肥处理使杨树木材的干缩性能有了一定程度的改善, 即木材干燥时会减少变形、开裂, 提高了木材尺寸的稳定性。对2种条件下各干缩率指标径向变异规律的研究(表3)发现, 施肥与未施肥条件下表现出相似的规律: 径向全干干缩率从髓心到树皮呈递减趋势; 弦向全干干缩率先增大后减小, 以7~9轮处最大; 径向气干干缩率先减小后增大, 以7~9轮处为最小; 弦向气干干缩率从髓心到树皮呈递增趋势。

**3.1.4 木材力学性质的差异** 施肥与未施肥条件下的杨树木材力学性质见表4。其中抗弯强度和动态弹性模量未施肥材大于施肥材, 差异相对值为1.79%和8.13%, 而静态弹性模量和顺纹抗压强度施肥材大于未施肥材, 差异相对值为2.73%和1.06%。这是由于施肥处理改变了木材的结构或使斜纹理倾斜的角度增大, 或是由于施肥导致木材密度减小, 而力学性质又与密度成正相关。这与 Gray 等<sup>[13]</sup>研究结论(施肥提高红松木材抗弯弹性模量)相似, 而与方文彬等<sup>[5]</sup>的研究结果相反, 与柴修武等<sup>[2]</sup>发现的肥料对杨木材性的负效性, 亦不完全一致。因此, 施肥方式、施肥时间、施肥种类以及施肥量对针叶树材和阔叶树材材性的影响, 是正效应还是负效应, 还有待于进一步研究。

对2种条件下 I-69 杨木材抗弯强度、弹性模量和顺纹抗压强度等3项主要力学性质与基本密度的相关性分别进行了一元线性回归分析(表5)。结果

表 3 2 种条件下 I-69 杨木材干缩性质的比较

Table 3 Comparison of wood shrinkage in different fertilizations

测定项目 Item	措施 Fertilization	计数 Number	均值 Average	最大值 Maximum	最小值 Minimum	变异系数 CV(%)	标准偏差 Standard deviation
全干干缩率 Shrinkage in oven-dry(%)	径向 Radial	F	41	3.88	5.97	3.03	16.0
		UF	33	4.05	7.35	3.00	24.2
		总计 Total	74	3.94	7.35	3.00	20.3
	弦向 Tangential	F	41	7.67	8.99	3.20	14.3
		UF	33	8.33	11.15	4.69	13.1
		总计 Total	74	7.96	11.15	3.20	14.2
气干干缩率 Shrinkage in air-dry(%)	体积 Volumetric	F	41	11.52	12.97	6.89	9.8
		UF	33	12.34	14.49	10.01	8.3
		总计 Total	74	11.88	14.49	6.89	9.6
	径向 Radial	F	41	1.89	3.97	0.64	27.5
		UF	33	2.24	4.65	1.56	32.6
		总计 Total	74	2.03	4.65	0.64	32.5
气干干缩率 Shrinkage in air-dry(%)	弦向 Tangential	F	41	4.88	6.10	2.83	19.3
		UF	33	5.21	7.53	1.40	22.6
		总计 Total	74	5.02	7.53	1.40	20.9
	体积 Volumetric	F	41	7.35	12.11	3.61	24.5
		UF	33	8.27	14.5	3.11	27.3
		总计 Total	74	7.74	14.5	2.18	26.7

F: 施肥 Fertilization; UF: 未施肥 Unfertilization. 下同 The same below.

表 4 人工林 I-69 杨木材的力学性质

Table 4 Wood mechanical properties of poplar

测定项目 Item	措施 Fertilization	计数 Number	均值 Average	最大值 Maximum	最小值 Minimum	标准偏差 Standard deviation	变异系数 CV(%)
抗弯强度 Modulus of rupture(MPa)	F	41	74.83	90.61	49.92	9.42	12.6
	UF	33	76.19	94.80	61.67	8.61	11.3
	总计 total	74	75.44	94.80	49.92	9.03	12.0
静态抗弯弹性模量 Static modulus of elasticity(MPa)	F	41	6 666.73	10 812.03	3 884.12	1 580.07	23.7
	UF	33	6 646.90	9 382.96	4 377.99	1 244.32	18.7
	总计 Total	74	6 657.89	10 812.03	3 884.12	1 430.67	21.5
动态抗弯弹性模量 Dynamic modulus of elasticity(MPa)	F	82	9761.12	1313.55	6449.56	1647.76	16.9
	UF	50	10 625.12	12779.10	7 927.79	981.5	9.2
	总计 total	132	10 088.39	13 135.53	6 449.56	1 488.67	14.8
顺纹抗压强度 Compressive strength parallel to the grain(MPa)	F	20	42.31	49.62	36.41	3.63	8.6
	UF	10	41.86	46.38	36.08	3.18	7.6
	总计 total	30	42.16	49.62	36.08	3.43	8.1

实验室温度为  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  The temperature is  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ; 实验室相对湿度为  $65\% \pm 5\%$  The humidity is  $65\% \pm 5\%$ .

表明, 3 项力学性质与密度都存在较高的相关性, 抗弯强度与密度、抗弯弹性模量与密度的相关性在未施肥材中不如在施肥材中表现显著, 而顺纹抗压强度则相反。究其原因, 施肥后木材的早材管胞壁增厚, 晚材管胞壁变薄, 使得木材的早材率增加, 而晚材率降低, 因而木材的结构比较均匀。施肥处理对林木生长的影响机理、木材形成内在影响机理与未施肥对照处理的不同, 还有待于进一步研究。

### 3.2 淹水对 I-69 杨物理力学性质的影响

淹水与未淹水条件下 I-69 杨的主要物理性质见表 6。由表 6 可见, 在淹水条件下生长的杨树主要物理力学性质均比未淹水的小。与未淹水相比, 淹水后木材的基本密度、抗弯强度、抗弯弹性模量、顺纹抗压强度分别下降 5.5%、24.29%、18.18% 和 16.81%, 全干和气干时的径向、弦向和体积干缩率则分别降低 11.1%、9.2%、9.6%、16.7%、10.9% 和 8.5%。

季节性淹水系灾害水位, 对 I-69 杨木材物理力学性质影响较大。方差分析(表 7)表明, 所有的指标, 仅径向全干干缩率在 0.05 水平下差异不显著, 其中体积全干干缩率、基本密度、抗弯强度、抗弯弹性模量以及顺纹抗压在 0.001 水平下差异显著。

表 5 人工林杨树木材力学性质与基本密度的相关关系

Table 5 Relationship between the density and the mechanical properties of poplar

相关关系 Relationship	施肥条件下 Fertilized		未施肥条件下 Unfertilized		施肥 + 未施肥 Total	
	样本数 Number	相关系数 Correlation coefficient	样本数 Number	相关系数 Correlation coefficient	样本数 Number	相关系数 Correlation coefficient
抗弯强度与密度 MOR/density	33	0.677**	33	0.49**	66	0.59**
抗弯弹性模量与密度 MOE/density	33	0.54**	33	0.16	66	0.38*
顺纹抗压强度与密度 Compressive strength parallel to the grain/density	17	0.40**	10	0.57**	27	0.45**

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

表 6 淹水与未淹水条件下 I-69 杨的主要物理力学性质

Table 6 Main physico-mechanical properties of poplar in flooding and drying condition

物理力学性质 Physico-mechanical properties		未淹水 Drying	淹水 Flooding	物理力学性质 Physico-mechanical properties		未淹水 Drying	淹水 Flooding
全干干缩率	径向 Radial	4.049 557	3.600 056	基本密度 Basic density( $g \cdot cm^{-3}$ )		0.389 596	0.368 169
Shrinkage in oven-dry (%)	弦向 Tangential	8.331 906	7.565 371	MOR Modulus of rupture(MPa)		76.194 49	57.686 85
气干干缩率	体积 Volumetric	12.341 46	11.156 68	MOE Modulus of elasticity(MPa)		8.255 086	6.754 311
Shrinkage in air-dry (%)	径向 Radial	2.237 028	1.863 444	顺纹抗压强度		41.855 25	34.819 38
	弦向 Tangential	5.206 955	4.639 397	Compressive strength parallel to the Tangential grain(MPa)			
	体积 Volumetric	8.087 753	7.400 294				

表 7 淹水与未淹水条件下 I-69 杨主要物理力学性质的方差分析

Table 7 Variance analysis of main physico-mechanical properties of poplar in flooding and drying condition

物理力学性质 Physico-mechanical properties		差异源 Source	SS	自由度 df	MS	F	F 临界值 F crit
全干干缩率	径向	组间 Inter-group	3.333 841	1	3.333 841	3.869 452	3.990 92
	弦向	组内 Intra-group	55.14 109	64	0.86 158		
Shrinkage in oven-dry (%)	弦向	组间 Inter-group	9.695 012	1	9.695 012	9.018 768**	7.048 243
	体积	组内 Intra-group	68.798 84	64	1.074 982		
气干干缩率	体积	组间 Inter-group	23.161 13	1	23.161 13	24.267 63***	11.896 19
	径向	组内 Intra-group	61.081 87	64	0.954 404		
Shrinkage in air-dry (%)	弦向	组间 Inter-group	2.302 818	1	2.302 818	5.135 629*	3.990 92
	体积	组内 Intra-group	28.697 63	64	0.448 4		
基本密度	弦向	组间 Inter-group	5.315 016	1	5.315 016	4.256 156*	3.990 92
	体积	组内 Intra-group	79.922 13	64	1.248 783		
Basic density( $g \cdot cm^{-3}$ )	体积	组间 Inter-group	7.797 899	1	7.797 899	5.910 333*	3.990 92
	径向	组内 Intra-group	84.439 49	64	1.319 367		
MOR	弦向	组间 Inter-group	0.007 576	1	0.007 576	20.571 24***	11.896 19
	体积	组内 Intra-group	0.023 57	64	0.000 368		
Modulus of rupture(MPa)	弦向	组间 Inter-group	5 651.791	1	5 651.791	96.903 28***	11.896 19
	体积	组内 Intra-group	3 732.739	64	58.324 05		
MOE	弦向	组间 Inter-group	37.163 35	1	37.163 35	13.923 87***	11.896 19
	体积	组内 Intra-group	170.818 5	64	2.669 04		
顺纹抗压强度 Compressive strength parallel to the grain(MPa)	弦向	组间 Inter-group	247.517 2	1	247.517 2	28.934 67***	15.379 56
	体积	组内 Intra-group	153.978 3	18	8.554 347		

\*  $P < 0.5$ ; \*\*  $P < 0.01$ ; \*\*\*  $P < 0.001$ .

木材密度是木材性质的一项重要指标,是影响木材质量、木浆产量的重要因子,据此可以判断木材的工艺性质和物理力学性质(强度、硬度、干缩及湿胀等)<sup>[3,12,11]</sup>.季节性淹水使 I-69 杨木材基本密度降低 5.5%,经检验,0.001 水平下差异显著。

由表 6 可以看出,淹水后的杨树干缩率都有所降低,其降幅分别为径向全干干缩率 11.1%、弦向全干干缩率 9.2%、体积全干干缩率 9.6%、径向气干干缩率 16.7%、弦向气干干缩率 10.9%、体积气干干缩率 8.5%。究其原因,可能是季节性淹水,使得木材的晚材率降低,淹水后木材所含的浸提物较多,导致木材干缩性变小;也有可能是因为淹水使木质素含量上升,由于木质素占据木材细胞壁之间的吸水空间,对木材尺寸具有一定的稳定性,因此木材的干缩性变小。这与汪佑宏<sup>[18]</sup>研究淹水后枫杨的干缩率有相同的结果。一定程度的淹水反而有利于 I-69 杨木材尺寸的稳定。

由表 6 可以看出,淹水的木材各项力学指标也均有降低,降低的幅度从顺纹抗压强度的 16.81%

到抗弯强度的 24.29% 不等,影响木材力学性质的主要因素,除与木材构造之外,还与木材中的水分、密度和纹理等因素有关。木材强度随吸着水的增加而下降<sup>[23]</sup>,而淹水使得木材的吸着水含量增大,故力学强度下降。一般而言,木材密度较大,其抗弯强度、抗弯弹性模量、顺纹抗压强度、冲击韧性等力学性质也较大。淹水使木材的基本密度下降,致使其抗弯强度、抗弯弹性模量以及顺纹抗压强度也随之下降。这也与汪佑宏等<sup>[17]</sup>、陶仁中<sup>[14]</sup>等研究结果一致。

对两种条件下 I-69 杨木材抗弯强度、弹性模量和顺纹抗压强度等 3 项主要力学性质与基本密度的相关性分别进行了一元线性回归分析(表 8)。结果表明,3 项力学性质与密度都存在较高的相关性。但淹水使得各项力学指标与密度间相关性减小,这主要是由于较长时间的淹水改变了木材结构,改变了木材密度、浸提物及吸着水含量,而且细胞排列方向、胞壁率、组织比量等变异增大的缘故。

表 8 木材力学性质与基本密度的相关关系

Table 8 Correlations between mechanical properties and basic density of wood

力学性质 Mechanical properties	N	回归方程 Regression equations	R
MOR	32	$y = 7.2292x + 83.0540$	0.5721 *
Modulus of rupture(MPa)	32	$y = 3.8034x + 62.8802$	0.4611 *
MOE	32	$y = 0.7873x + 7.9872$	0.7642 *
Modulus of elasticity(MPa)	32	$y = 0.6817x + 6.5352$	0.6775 *
顺纹抗压 Compressive strength parallel to the grain(MPa)	32	$y = 3.2645x + 40.7950$	0.5348 *
	32	$y = 2.8738x + 33.9373$	0.4336 *

\* 方程回归显著 Significant regression.

### 3.3 两种生态条件下材质等级的评价

木材是一类自然长成的物质.性质是用来描述物质的,即反映它们的本质.从木材利用角度来说,木材品质因子是指对木材使用价值有影响的那部分木材性质,并且它们在木材间还有差异,这样才能构成对木材质量的影响.木材是用途广泛的材料,一般用影响木材产品质量的一些木材性质指标来衡量木材品质,但对尚未肯定其最终用途的木材,只得采用

表 9 材质等级及评估

Table 9 Grade of wood quality and evaluation

项目 Item	级 别 Rank				
基本密度 Basic density	甚轻 Very light < 0.35	轻 Light 0.351~0.550*/**/*	中 Middle 0.5511~0.750	重 Heavy 0.751~0.950	甚重 Very heavy >0.950
抗弯强度(MPa) Modulus of rupture	甚低 Very low < 50	低 Low 50~80*/**/*	中 Middle 81~120	高 High 121~170	甚高 Very high >170
抗弯弹性模量(GPa) Modulus of elasticity	甚低 Very low < 9*/**/*	低 Low 9.1~11.8	中 Middle 11.9~14.7	高 High 14.8~18.6	甚高 Very high >18.7
顺纹抗压强度(MPa) Compressive strength parallel to the grain	甚低 Very low < 24.5	低 Low 24.6~34.3	中 Middle 34.4~54.9*/**/*	高 High 55.0~82.4	甚高 Very high >82.4

含水率均为 12% Moisture = 12%; \*/\*\*/\* 分别代表施肥、未施肥、淹水 3 种条件物理力学性质所在的级别 The rank of the physical and mechanical properties.

## 4 结 论

4.1 施肥处理对杨树生长有促进作用.施肥处理后,木材的静态抗弯弹性模量和顺纹抗压强度有所增大,但木材密度、抗弯强度、动态抗弯弹性模量及木材干缩性质均降低.

4.2 淹水对 I-69 杨木材物理力学性质影响较大,与未淹水相比,所有力学指标均有所下降.方差分析表明,除径向全干干缩率外,其他均差异显著,其中体积全干干缩率、基本密度、抗弯强度、抗弯弹性模量以及顺纹抗压在 0.001 水平下差异显著.

4.3 两组条件下的木材各项指标基本上均属于中等偏下.虽然施肥处理使静态抗弯弹性模量和顺纹抗压强度有所增大,抗弯强度和动态抗弯弹性模量有所降低,淹水使得所有的指标都下降,但不影响木材等级的划分,各种指标仍在同一个等级.

几个对多种用途均有影响的因子,主要包括木材的密度、强度、天然耐腐性、尺寸稳定性和易裂状况<sup>[24]</sup>等.因此,本文以木材密度、抗弯强度、抗弯弹性模量、顺纹抗压强度等作为施肥与未施肥杨树材质的评估因子,评价木材品质的好坏<sup>[3,17,23]</sup>.

由表 9 可见,两组木材(施肥与未施肥,淹水与未淹水)的各项指标基本上均属于“中等”偏下,虽然施肥处理或淹水条件对木材的基本密度、抗弯强度、抗弯弹性模量和顺纹抗压强度均有影响,但不影响木材等级的划分,并且力学强度并不因为施肥处理或淹水而在等级上有所降低.从木材利用强度指标的角度而言,施肥处理在速生的同时,对“质”产生的“不良影响”还是可以忽略的.同时虽然淹水对木材力学性质造成的影响比施肥处理的影响大,但同样也不会使杨树木材的使用范围降低.

## 参考文献

- Chai X-W(柴修武), Lu X-X(陆熙娴). 1991. Study on the fertilization effect upon the wood properties of Poplar I-214. *For Res* (林业科学研究), 4(3):297~301(in Chinese)
- Chai X-W(柴修武), Li Y-Q(李贻铨), Chen D-D(陈道东). 1993. Study on the fertilization effect upon the wood properties of *Populus deltoides* cv. "LUX" ex I-69/55. *Sci Silv Sin* (林业科学), 29(2):145~151(in Chinese)
- Cheng J-Q(成俊卿). 1985. Wood Science. Beijing: China Forestry Press. (in Chinese)
- Chinese National Technique Monitoring Bureau(中国国家技术监督局). 1991. National Standard GB 1927-1943-91. Beijing: China Standard Press. (in Chinese)
- Fang W-B(方文彬), Wu Y-Q(吴义强), Luo J-J(罗建举), et al. 1995. Effect of fertilization on wood properties of plantation-grown *Eucalyptus urophylla*. *World For Res* (世界林业研究), 8: 344~349(in Chinese)
- Gray RL. 1970. Effects of Tassium Fertilizer on Wood Density and Related Anatomical Characteristics of Red Pine. M. S. Thesis. New York: Suny College of Forestry.
- Jiang Z-H(江泽慧). 1995. Proceedings of Flourishing Forests and Out-wiping Oncomelania. Beijing: China Forestry Press. 327 (in Chinese)
- Li F-Y(李飞云), Liu Y(刘元), Zhu L-F(朱林峰), et al. 1994.

- Study on the planting measure on the wood properties of Chinese Fir. *World For Res* (世界林业研究), 10(7): 215~226 (in Chinese)
- 9 Liu S-Q(刘盛全). 1999. Effect of seasonal flooding on wood properties and variation of poplar 69 grown in the beaches of Changjiang River. *J Anhui Agric Univ* (安徽农业大学学报), 26(1): 9~15 (in Chinese)
  - 10 Luo J-J(罗建举), Fang W-B(方文彬), Dai X-Z(代秀珍), et al. 1995. Effect of fertilization on the wood prosperities of *Eucalyptus urophylla*. *World For Res* (世界林业研究), 8: 336~343 (in Chinese)
  - 11 Packman DF, Ladilaw RA. 1967. Pulping of British-grown softwoods IV. A study of juvenile, mature and top wood in a large Sitka spruce tree. *Holz Forschung*, 21(2): 38~45
  - 12 Panshin AJ, de Zeeuw C. 1980. Textbook of Wood Technology, 4th edition. Now York: McGraw-Hill Book Company.
  - 13 Gray RL, Kyanka GH. 1974. Potassium fertilization effects on the static bending properties of red pine wood. *For Prod J*, 24(9): 92~96
  - 14 Tang Y-X(汤玉喜), Wu L-X(吴立勋), Xu S-F(徐世风). 2002. The effect on the poplar growth from beach flooding. *Hunan For Technol* (湖南林业科技), 29(1): 14~17 (in Chinese)
  - 15 Tao R-Z(陶仁中), Jiang Z-H(江泽慧), Fei B-H(费本华). 1998. A study on effect of intermittent flood upon the wood physical and mechanical properties of the wood of *Taxodium ascendens*. *Sci Silv Sin* (林业科学), 34(3): 110~114 (in Chinese)
  - 16 Wang S-J(王世绩). 1995. Progress in Poplar Research. Beijing: China Forestry Press. (in Chinese)
  - 17 Wang Y-H(汪佑宏), Cao R-Z(曹仁中), Xu B(徐斌), et al. 2003. Effect of flooding degree on the main mechanical properties of *Pterocarya stenoptera* grown in the beaches. *J Anhui Agric Univ* (安徽农业大学学报), 30(2): 168~172 (in Chinese)
  - 18 Wang Y-H(汪佑宏), Liu X-E(刘杏娥), Xu B(徐斌). 2003. Effect of flooding on the wood density and wood shrinkage of *Pterocarya stenoptera* grown in the beaches. *Chin For Sci Technol* (林业科技开发), 17(1): 18~20 (in Chinese)
  - 19 Wu Z-M(吴泽民), Sun Q-X(孙启祥), Chen M-G(陈美工). 2001. Biomass and nutrient accumulation of poplar plantation on beach land in Yangtze River in Anhui Province. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12(6): 806~810 (in Chinese)
  - 20 Wu Z-M(吴泽民), Sun Q-X(孙启祥), Duan W-X(段文秀). 2000. Relationship between flooded situation and poplar growth on beach land of Yangtze River in Anhui. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(1): 25~29 (in Chinese)
  - 21 Xiang Y(项艳), Sun Q-X(孙启祥), Wei C-L(韦朝领). 1999. Analysis of the growth factors of Poplar by polygenesis regression. *J Biomathem* (生物数学学报), 14(3): 355~358 (in Chinese)
  - 22 Xu Y-J(徐永吉), Li D-G(李大纲), Zhang Y-L(张耀丽), et al. 1995. Effect of intensive cultivation on the wood properties of *Populus chifeng*. *World For Res* (世界林业研究), 36(8): 365~369 (in Chinese)
  - 23 Yin S-C(尹思慈). 1996. Wood Science. Beijing: China Forestry Press. (in Chinese)
  - 24 Zhang X-D(张旭东), Wu G(吴刚), Cai Q-H(蔡庆华), et al. 1999. A study of the growth rule of Poplar on the seasonal river beaches of Changjiang River. *J Biomathem* (生物数学学报), 14(3): 322~326 (in Chinese)

---

作者简介 查朝生,男,1978年生,博士生.主要从事木材科学、木材材质改良等方面的研究. Tel: 13965059799; E-mail: zhacs@163.com, zhacs@ahau.edu.cn

---

## 欢迎订阅 2006 年《生态学杂志》

《生态学杂志》(1982年创刊)是由中国生态学会主办、中国科学院沈阳应用生态研究所承办和科学出版社出版的学术期刊,亦是全国中文核心期刊,2001年入选中国期刊方阵.读者对象为从事生态学、生物学、地学、林农牧渔、海洋、气象、环保、经济、卫生和城建部门的科研、教学、科技工作者、有关决策部门的科技管理人员、大专院校师生和中学教师.

本刊主要刊登具有创新性的生态学研究论文以及有关专题的综述和评论,研究方法和新技术的应用,学术讨论与争鸣,国内外学术信息和动态,生态学论坛和生态学新书刊介绍等.

《生态学杂志》为A4开本,月刊,112页,每册定价40元,全年480元.国内外公开发行.国内邮发代号:8-161,全国各地邮局均可订阅.如未能在当地邮局订到,可与编辑部直接联系订阅.

地址:沈阳市文化路72号中国科学院沈阳应用生态研究所《生态学杂志》编辑部 邮编:110016

电话:024-83970394 通用网址:生态学杂志

传真:024-83970394 E-mail: cje@iae.ac.cn