

## 近海迎风面毛竹林竹材物理力学性质的研究

杨清平<sup>1</sup>, 陈双林<sup>1</sup>, 郭子武<sup>1</sup>, 李迎春<sup>1</sup>, 林世奎<sup>2</sup>, 杨伟真<sup>2</sup>, 张全幸<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省象山县农林局, 浙江 象山 315700)

关键词: 毛竹; 竹材; 物理性质; 力学性质; 近海

中图分类号: S795.7 文献标识码: A

## Study on the Physical and Mechanical Properties of *Phyllostachys edulis* Timber at Coastal Windward Side

YANG Qing-ping<sup>1</sup>, CHEN Shuang-lin<sup>1</sup>, GUO Zi-wu<sup>1</sup>, LI Ying-chun<sup>1</sup>,  
LIN Shi-kui<sup>2</sup>, YANG Wei-zhen<sup>2</sup>, ZHANG Quan-xing<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Agriculture and Forestry Bureau of Xiangshan County, Zhejiang Province, Xiangshan 315700, Zhejiang, China)

**Abstract:** To clarify the effect of coastal environment on quality of *Phyllostachys edulis* timber, comparison and analysis on physical and mechanical properties of bamboo timber from coastal windward side stand and inland stand was carried out. The results showed that the basic density, air-dry density, oven-dry density, compressive strength parallel to grain, bending strength, elastic modulus in bending of bamboo timber increased with bamboo age increasing on the whole. Effect of coastal windward environments on basic density, air-dry density, oven-dry density, compressive strength parallel to grain, bending strength and elastic modulus in bending of bamboo timber was not obvious, that on timber shrinkage was significant and bending strength of young bamboo (1 a and 3 a) increased remarkably. All results indicated that coastal windward environments was in favor of enhancement in mechanical properties and resistance to wind stress of *Ph. edulis* forest, and *Ph. edulis* can be used to construct eco-economic protective forests system at coastal region.

**Key words:** *Phyllostachys edulis*; bamboo timber; physical property; mechanical property; coastal region

竹子是集经济、生态和社会效益于一体的优良林种,有着繁殖容易、成林快、一次造林科学经营可持续利用等优点,是区域社会经济发展和生态环境保护的重要资源,其中,毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie)为我国所特有的最重要的经济竹种,具有分布广、面积大、利用领域广、效益好等特点。全国现有毛竹林面积720万hm<sup>2</sup>,其中,毛竹纯林约占300万hm<sup>2</sup>,竹材蓄积量40亿株<sup>[1]</sup>,年砍伐量约800~900万t,其中商品材600万t左右<sup>[2]</sup>,

在竹产业中起到举足轻重的作用。

竹材密度和力学强度等物理力学性质是竹材重要的品质因子,直接关系到竹材的利用价值和加工性能。鉴于蓬勃发展的竹材加工业需求,竹材材性受到人们的广泛关注<sup>[3-4]</sup>。已有研究表明,竹材品质不仅受到竹种<sup>[5]</sup>、地理种源<sup>[6]</sup>、立竹年龄<sup>[7]</sup>、病虫害<sup>[8]</sup>等的影响,而且与海拔高度<sup>[9]</sup>、坡向<sup>[10]</sup>、立地等级<sup>[11]</sup>等环境因子及立竹密度、灌溉和施肥<sup>[12]</sup>等经营措施有着密切的关系,说明竹材品质除受自身的

收稿日期: 2012-08-07

基金项目: 浙江省林业科技计划项目“海岛优良竹种筛选与培育技术研究”(07A01); 浙江省农业科技成果转化项目“毛竹林高效生态可持续经营技术示范推广”(2012T201-02)

作者简介: 杨清平(1976—),男,江西鄱阳人,硕士,助理研究员,主要从事竹林生态与培育研究。

遗传特性制约外,也受到环境因素的强烈影响。近海地区常年处于多风、强风的环境中,尤其是迎风面,与海岛内陆环境有较大的差异,这种差异是否会造成近海环境与海岛内陆环境中毛竹林竹材的物理力学性质的差异?这方面尚未见有报道。为此,本文对立地条件和经营水平基本一致的近海迎风面、海岛内陆毛竹林不同年龄立竹竹材的密度、干缩率、顺纹抗压强度和抗弯强度及其弹性模量等进行了测定,比较其间的差异,旨在摸清近海环境对毛竹竹材品质的影响,为近海毛竹林资源培育和生态建设提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

毛竹竹材试材分别采自浙江省象山县(121°34′~122°20′ E, 28°45′~29°49′ N)墙头镇方前村(近海迎风面,离海边500 m左右)和西周镇上芭蕉村(避风的海岛内陆地)的试验毛竹林。2个试验毛竹林相距20 km,坡向均为东南向,坡度15°左右,土壤均为红壤,土壤厚度60 cm以上,土壤速效钾、水解氮、全氮、有机质含量分别为33.25~34.54 mg·kg<sup>-1</sup>、302.31~308.05 mg·kg<sup>-1</sup>、0.96~1.61 g·kg<sup>-1</sup>、23.27~23.43 g·kg<sup>-1</sup>,2个试验林土壤养分含量总体上差异不显著。试验毛竹林经营措施相同,经营较为粗放,实行季节性伐竹和采笋,不实施林地垦复和土壤养分补充。近海迎风面、海岛内陆毛竹林林分密度分别为2 850±12、2 790±10 株·hm<sup>-2</sup>,也无显著差异。所有的毛竹竹材试材均按国家标准 GB/T15780—1995“竹材物理力学性质试验方法”规定采集<sup>[13]</sup>。在近海迎风面、海岛内陆毛竹林中分别伐取立竹胸径10 cm左右、生长良好、无病虫害的1~3度样竹各5株,共30株。近海迎风面、海岛内陆样竹分别以JH、NL标识。样竹齐地伐倒后,离竹秆基部1.5 m处向上截取2 m竹段作为试材,运回实验室供物理力学性质测定。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试件准备 将样竹圆筒对称剖开取材,保留试材2个弦面竹青与竹黄的原状。每一段试材自下部至上部依次截取密度、干缩率、顺纹抗压强度、抗弯强度和弹性模量的试件。每个物理性能测试项目做6个试件,每个力学性能测试项目做12个试件。

试件加工按照国家标准 GB/T15780—1995“竹材物理力学性质试验方法”进行。

1.2.2 测定方法 竹材的密度、干缩率、顺纹抗压强度、抗弯强度和弹性模量等物理力学性质按照国家标准 GB/T15780—1995“竹材物理力学性质试验方法”进行测定。顺纹抗压强度、抗弯强度和弹性模量采用MWD-50微机控制电子式木材万能力学试验机(济南时代试金仪器有限公司生产)测定。力学强度测试时,将试件放入温度(20±2)℃、相对湿度65%±5%条件下的ESPECER-10AGP调温调湿箱中,调整试件含水率至12%时进行测定。

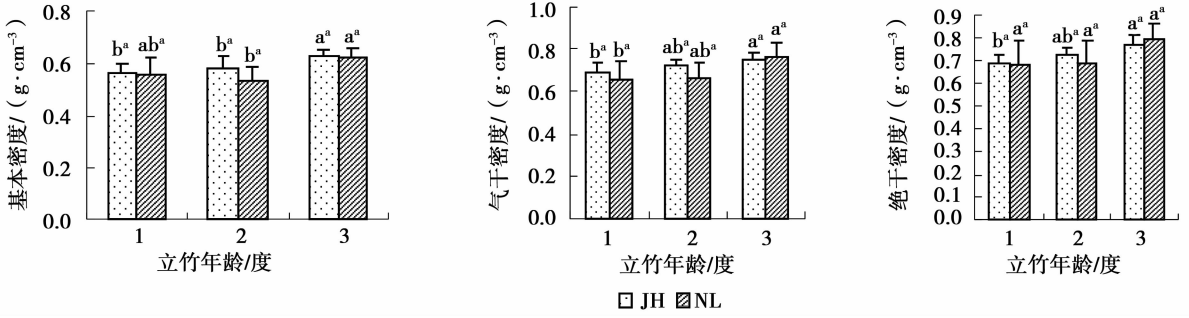
### 1.3 数据处理与分析

试验数据利用Excel 2003软件进行整理与作图,采用DPS v3.01统计软件进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 近海迎风面、海岛内陆毛竹林竹材密度比较

试验结果表明:近海迎风面、海岛内陆毛竹林竹材的基本密度、气干密度和绝干密度均总体上随着立竹年龄的增大呈升高的变化趋势(图1)。引起这一现象的主要原因是,自竹笋长成竹后,竹秆的体积不再有明显的变化,但竹材纤维的胞壁在不断加厚,薄壁细胞中的内含物质也在增加,致使其密度增大。近海迎风面毛竹林3度立竹竹材的基本密度(0.627 g·cm<sup>-3</sup>)、气干密度(0.752 g·cm<sup>-3</sup>)和绝干密度(0.773 g·cm<sup>-3</sup>)均较1度立竹竹材的基本密度(0.563 g·cm<sup>-3</sup>)、气干密度(0.688 g·cm<sup>-3</sup>)和绝干密度((0.691 g·cm<sup>-3</sup>))有显著提高。海岛内陆毛竹林3度立竹竹材的基本密度(0.618 g·cm<sup>-3</sup>)、绝干密度(0.793 g·cm<sup>-3</sup>)与1度立竹竹材的基本密度(0.550 g·cm<sup>-3</sup>)、绝干密度(0.685 g·cm<sup>-3</sup>)均无显著差异,而3度立竹竹材的气干密度(0.765 g·cm<sup>-3</sup>)显著高于1度立竹竹材的气干密度(0.651 g·cm<sup>-3</sup>)。近海迎风面、海岛内陆毛竹林2度立竹与3度立竹竹材基本密度间均差异显著,而气干密度和绝干密度均无显著差异,1度立竹与2度立竹竹材的基本密度、气干密度和绝干密度间均差异不显著。近海迎风面、海岛内陆毛竹林相同年龄立竹的竹材基本密度、气干密度和绝干密度均无显著差异。



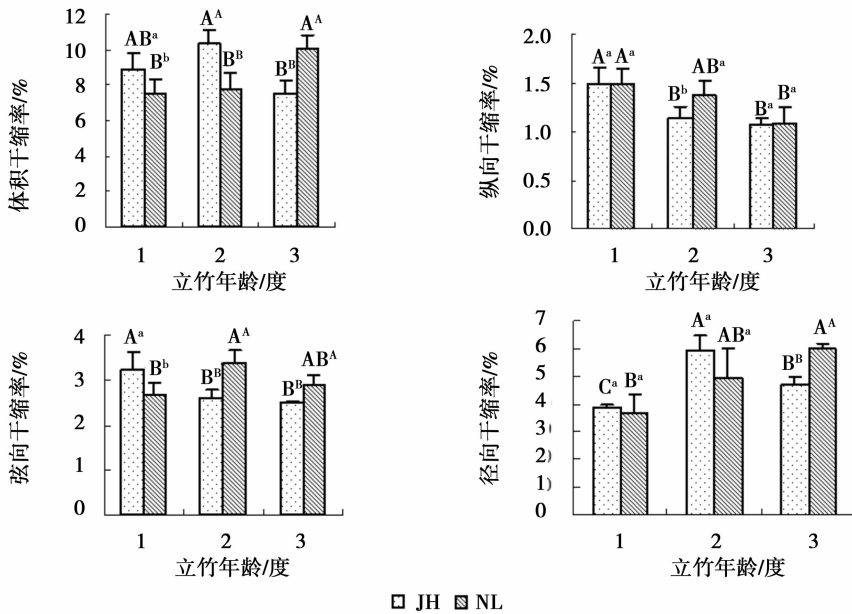
注:不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ ),相同小写字母表示差异不显著( $p > 0.05$ );上标字母为近海迎风面、海岛内陆毛竹林相同年龄立竹比较,其余字母为同一立地条件不同年龄立竹间比较,下同。

图1 近海迎风面(JH)、海岛内陆(NL)毛竹林不同年龄立竹竹材密度

### 2.2 近海迎风面、海岛内陆毛竹林竹材干缩率比较

从图2分析可知:近海迎风面、海岛内陆毛竹林不同年龄立竹竹材的干缩性总体上为体积干缩率 > 径向干缩率 > 弦向干缩率。随着立竹年龄的增大,近海迎风面毛竹林竹材纵向干缩率、弦向干缩率以及海岛内陆毛竹林竹材的纵向干缩率减小,近海迎风面毛竹林竹材体积干缩率、径向干缩率以及海岛内陆毛竹林竹材的弦向干缩率均为先增大后减小,海岛内陆毛竹林竹材的体积干缩率和径向干

缩率则逐渐增大。近海临风面毛竹林1度立竹与3度立竹竹材纵向干缩率,弦向干缩率和径向干缩率间差异极显著,海岛内陆毛竹林1度立竹与3度立竹竹材间体积干缩率,纵向干缩率和径向干缩率差异极显著。近海临风面毛竹林和海岛内陆毛竹林相比,除1度立竹、3度立竹竹材的纵向干缩率和1度立竹、2度立竹竹材的径向干缩率无显著差异之外,其他各年龄立竹竹材的体积干缩率、纵向干缩率、弦向干缩率和径向干缩率均有显著或极显著差异。



注:不同大写字母表示差异极显著( $p < 0.01$ ),相同大写字母表示差异未达极显著( $p > 0.01$ ),下同。

图2 近海迎风面(JH)、海岛内陆(NL)毛竹林不同年龄立竹竹材干缩率

### 2.3 近海迎风面、海岛内陆毛竹林竹材力学性能比较

近海迎风面、海岛内陆毛竹林竹材顺纹抗压强

度均随着立竹年龄的增大而提高(图3)。近海迎风面毛竹林3度立竹竹材顺纹抗压强度(62.72 MPa)显著高于1度立竹(53.42 MPa),2度立竹竹材顺纹

抗压强度(55.24 MPa)比1度立竹稍大,差异不显著;海岛内陆毛竹林3度立竹竹材顺纹抗压强度(61.74 MPa)显著高于1度立竹竹材顺纹抗压强度(45.26 MPa)和2度立竹竹材顺纹抗压强度(49.32 MPa),而1度立竹与2度立竹间差异不显著。不同年龄立竹竹材顺纹抗压强度均为近海迎风面毛竹林较海岛内陆毛竹林大,但均无显著差异。

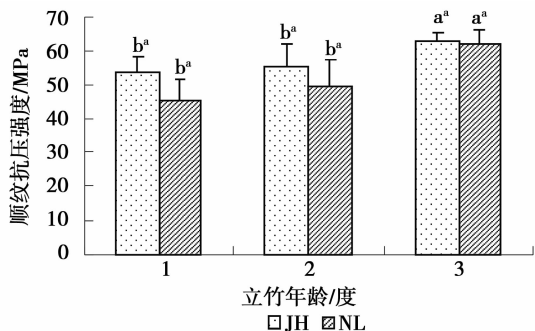


图3 近海迎风面(JH)、海岛内陆(NL)毛竹林不同年龄立竹竹材顺纹抗压强度

近海迎风面、海岛内陆毛竹林竹材抗弯强度均随着立竹年龄的增大而提高(图4)。近海迎风面毛竹林3度立竹竹材抗弯强度(138.09 MPa)极显著地高于1度立竹竹材抗弯强度(115.73 MPa),1度立竹与2度立竹、2度立竹与3度立竹间差异不显著。海岛内陆毛竹林1度立竹竹材抗弯强度(96.07 MPa)与2度立竹竹材抗弯强度(105.95 MPa)差异不显著,均极显著地低于3度立竹竹材抗弯强度(133.71 MPa)。不同年龄立竹竹材抗弯强度均为近海迎风面毛竹林高于海岛内陆毛竹林,除3度立竹差异不显著外,1度立竹和2度立竹均差异显著。

从图4分析还可知:近海迎风面、海岛内陆毛竹林竹材抗弯弹性模量总体上随着立竹年龄的增大而提高。近海迎风面毛竹林2度立竹与3度立竹间竹材抗弯弹性模量差异不显著,均极显著地高于1度立竹。海岛内陆毛竹林3度立竹竹材抗弯弹性模量(8.72 GPa)极显著地高于2度立竹竹材抗弯弹性模量(7.08 GPa),而与1度立竹无显著差异,1度立竹与2度立竹间也无显著差异。除近海迎风面毛竹林2度立竹竹材抗弯弹性模量(8.92 GPa)极显著地大于海岛内陆毛竹林2度立竹竹材抗弯弹性模量(7.08 GPa)外,其他相同年龄立竹竹材弹性模量均无显著差异。

### 3 结论与讨论

竹材是一种毛细管多孔有限膨胀胶体,表面积

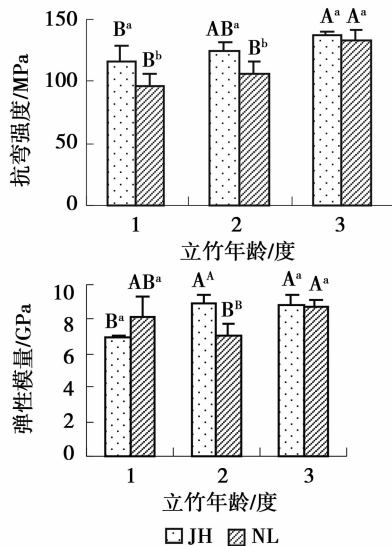


图4 近海迎风面(JH)、海岛内陆(NL)毛竹林竹材抗弯强度和弹性模量

大,孔隙率高,具有一定的吸水性<sup>[14]</sup>。密度和干缩率是竹材重要的物理性质,能直接影响竹材和竹制品的尺寸、形状、结构的稳定性。本研究表明,无论是近海迎风面毛竹林还是海岛内陆毛竹林,不同年龄立竹竹材的基本密度、气干密度和绝干密度均随着立竹年龄的增大而提高,与崔敏等<sup>[15]</sup>的研究结果一致,而近海迎风面毛竹林与海岛内陆毛竹林比较,虽然不同年龄立竹竹材的干缩率受环境条件的影响会表现出一定的差异性,但相同年龄立竹竹材的基本密度、气干密度和绝干密度均无显著差异,说明近海迎风环境对毛竹材的物理性质总体上并未产生明显的影响,这可能与毛竹的生物学遗传特性有关。

顺纹抗压强度、抗弯强度和抗弯弹性模量是毛竹材重要的力学性质<sup>[16]</sup>。本研究表明,近海迎风面毛竹林和海岛内陆毛竹林竹材顺纹抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量总体上均随着立竹年龄的增大而提高。近海迎风面不同年龄毛竹林立竹竹材的顺纹抗压强度、抗弯强度均较海岛内陆毛竹林的大,但顺纹抗压强度无显著差异,而且近海迎风环境并没有明显改变毛竹材的抗弯弹性模量,但显著地增强了低龄级(1度、2度)立竹竹秆的抗弯强度,这可能是毛竹长期适应近海迎风环境的结果,以抵御强风的胁迫。这是否与风环境影响竹材胞壁纤丝角<sup>[17]</sup>有关,需进一步研究。

综上所述,近海迎风环境对毛竹材物理性质影响不大,但有利于增强毛竹材的力学性能。因此,毛竹作为我国最为重要的生态经济竹种,应该在沿海

适生区生态经济型沿海防护林体系构建中发挥作用,目前这方面研究工作还相当薄弱,需针对性地开展沿海毛竹林林分结构调控、土壤管理等培育技术和多功能效益评价等方面的研究。

### 参考文献:

- [1] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2002
- [2] 郑郁善. 21 世纪毛竹林生态经营战略[J]. 竹子研究汇刊, 2001,20(3):15-19
- [3] Kamruzzaman M, Saha S K, Bose A K, *et al.* Effects of age and height on physical and mechanical properties of bamboo[J]. Journal of Tropical Forest Science,2008,20(3):211-217
- [4] Yu H Q, Jiang Z H, Hse C Y, *et al.* Selected physical and mechanical properties of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) [J]. Journal of Tropical Forest Science,2008,20(4):258-263
- [5] 张宏健,杜凡,张福兴,等. 云南4种材用丛生竹的主要物理力学性质[J]. 西南林学院学报,1998,18(3):189-193
- [6] 刘亚迪,桂仁意,俞友明,等. 毛竹不同种源竹材物理力学性质初步研究[J]. 竹子研究汇刊,2008,27(1):50-54
- [7] 於琼花,俞友明,金永明,等. 雷竹人工林竹材物理力学性质[J]. 浙江林学院学报,2004,21(2):130-133
- [8] 黄金水,朱建华,叶剑雄,等. 竹笋象危害对竹材物理力学性质的影响[J]. 竹子研究汇刊,2005,24(4):14-17
- [9] 汪佑宏,田根林,刘杏娥,等. 不同海拔高度对毛竹主要物理力学性质的影响[J]. 安徽农业大学学报,2007,34(2):222-225
- [10] 汪佑宏,卞正明,刘杏娥,等. 坡向对毛竹主要物理力学性质的影响[J]. 西北林学院学报,2008,23(3):179-181
- [11] 俞友明,方伟,杨云芳,等. 不同立地条件红壳竹竹材物理力学性质的比较[J]. 浙江林学院学报,2001,18(4):380-383
- [12] 王水英. 种源和培育措施对人工林毛竹材性的影响[D]. 福州:福建农林大学,2008
- [13] GB/T 15780—1995. 竹材物理力学性质试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,1996
- [14] 周芳纯. 竹材物理力学性质的研究[J]. 南京林产工业学院学报,1981(2):1-32
- [15] 崔敏,殷亚方,姜笑梅,等. 不同竹龄毛竹材物理性质的差异分析[J]. 福建林学院学报,2010,30(4):338-343
- [16] 鲁顺保,丁贵杰,彭九生. 不同立地条件对毛竹力学性质的影响[J]. 贵州林业科技,2005,33(4):11-16
- [17] 郑兴峰,邱德勃,陶忠良,等. 巴西橡胶树不同抗风性品系木材胞壁纤维角[J]. 热带作物学报,2002,23(1):14-18