

## 施肥对毛竹生长量和秆形的影响

王宏<sup>1</sup>, 金晓春<sup>2</sup>, 金爱武<sup>3</sup>, 宋艳冬<sup>3</sup>, 柴红玲<sup>2</sup>, 吴林森<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院 资源信息研究所, 北京 100091; 2. 丽水职业技术学院, 浙江 丽水 323000;  
3. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 为探讨施肥对毛竹 *Phyllostachys pubescens* 秆形结构影响的规律, 并为竹林合理施肥提供依据, 基于对浙江省龙泉市农户的农村参与式评估, 调查建立以材为主两用毛竹林 20 m × 30 m 标准样地 38 块(坡度小于 30°), 进行典型抽样选择推荐施肥(N:P:K = 17:8:5, 1 125 kg·hm<sup>-2</sup>, 沟施, 5 a)和不施肥(10 a)样地各 7 块, 对比研究竹林生长量和秆形变化, 建立节间长、胸高直径、秆质量分布、壁厚反映毛竹形态的回归方程。Duncan's 多重比较和显著性检验表明: 施肥后毛竹林密度增加 930 株·hm<sup>-2</sup>, 但秆质量比不施肥毛竹轻 6.8%, 均达到差异显著性水平; 协方差分析和 *t* 检验显示, 在相同的竹林密度下, 秆高、材质量分布、壁厚、削尖度受施肥影响不显著 ( $P>0.05$ )。因此, 施肥经营后林分竹秆质量有所下降, 但胸径和林分密度增加, 林分水平的长期生物产量增加, 合理施肥能提高毛竹林地生物产量和立地生产力。图 5 表 3 参 16

**关键词:** 森林培育学; 毛竹; 秆形; 施肥; 立地生产力

**中图分类号:** S725.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2011)05-0741-06

## Growth and culm form of *Phyllostachys pubescens* with fertilization

WANG Hong<sup>1</sup>, JIN Xiao-chun<sup>2</sup>, JIN Ai-wu<sup>3</sup>, SONG Yan-dong<sup>3</sup>, CHAI Hong-ling<sup>2</sup>, WU Lin-sen<sup>2</sup>

(1. Reserch Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091; 2. Zhejiang Lishui Vocational College, Lishui 323000, Zhejiang, China; 3. The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** This study was conducted to determine the effect of fertilization for *Phyllostachys pubescens* on the culm form and to help optimize fertilizer application. Based on a participatory rural appraisal (PRA) survey to households of Longquan City of Zhejiang, 38 pole-dominated dual-purpose (pole and bamboo shoots) standard plots (20 m × 30 m, site slope < 30°) were identified among which 7 plots were typical sampled for recommended fertilization stands (N:P:K = 17:8:5, 1 125 kg·hm<sup>-2</sup>, ditch-fertilizing, over 5 years) and for unfertilized stands (over 10 years) respectively. The pole growth between the recommended fertilized stands and unfertilized stands were compared and regression equations were developed for internode length versus DBH, pole weight distribution, wall thickness and taper to reflect *Ph. pubescens* culm form. Duncan's multiple comparisons and significance test showed that the density of fertilized stands was 930 culms·hm<sup>-2</sup> higher than the unfertilized but the culm weight for fertilized stands was 6.8% lighter than the unfertilized, both reaching significant difference level. Covariance analysis and *t*-test showed insignificant difference of fertilization effect on pole weight distribution, wall thickness and taper ( $P>0.05$ ). Therefore, after fertilization the *Ph. pubescens* stands culm weight dropped but the culm diameter and stands density increased over time indicating that optimal fertilization could increase stands level bio-productivity. [Ch, 5 fig. 3 tab. 16 ref.]

收稿日期: 2010-04-26; 修回日期: 2011-06-16

基金项目: 浙江省竹产业科技创新服务平台资助项目(2006C17010)

作者简介: 王宏, 高级工程师, 博士, 从事森林培育、竹林可持续经营和外资林业工程管理等研究。E-mail: wanghong@caf.ac.cn。通信作者: 金爱武, 研究员, 博士, 从事竹林培育与利用等研究。E-mail: kinaw@zafu.edu.cn

**Key words:** silviculture; *Phyllostachys pubescens*; culm form; fertilization; site productivity

竹林在中国森林资源组成中具有极其重要的地位,被誉为“绿色的金矿”<sup>[1]</sup>。根据第7次全国森林资源清查结果,中国现有竹林面积538.1万hm<sup>2</sup>,占森林面积的2.75%,其中,毛竹*Phyllostachys pubescens*林面积为386.83万hm<sup>2</sup>,占全国竹林总面积的71.89%<sup>[2]</sup>,是分布最广,栽培面积最大,开发利用程度最高的竹种之一。相对于林木而言,竹类植物有其特有的生理习性。毛竹笋在出土3~5cm时就停止横向生长,45~60d后完成高生长,此后不再长高或长粗。由于毛竹生长快,营养消耗大,容易造成林地养分匮乏,竹林生产能力下降。目前,施肥作为提高竹林生产力最重要手段,已被广泛运用于竹林经营过程中<sup>[3-6]</sup>。秆形是评价竹种材性优劣的重要指标之一<sup>[7]</sup>。早在20世纪80年代初,周芳纯<sup>[8]</sup>就对毛竹秆形结构进行了研究;汪阳东<sup>[9]</sup>综述了竹子秆形生长和变异规律的研究进展;汪阳东等<sup>[10]</sup>研究了气象因素对毛竹秆形生长变异的影响;谢芳<sup>[11]</sup>研究了海拔对毛竹节间性状的影响;蓝晓光<sup>[12]</sup>研究了土壤温度对毛竹冬笋、春笋高生长的影响;林新春等<sup>[13]</sup>等建立了苦竹各器官生物量与胸径、秆高的数学模型。笔者选择以不同施肥模式长期经营下,林地生产力达到相对稳定状态的毛竹林为对象,研究不同施肥条件下毛竹的生长量及竹秆形态变化,探讨施肥对竹林生产力及秆形结构的影响规律,为竹林合理施肥及立地质量评价提供理论依据。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于浙江省西南部的龙泉市,地理坐标为27°42'~28°20'N, 118°42'~119°25'E。属中亚热带季风气候区,年平均气温为17.6℃,平均降水量为1645.4mm,平均蒸发量为1412.7mm。土类以红壤、黄壤为主。龙泉市是中国毛竹自然分布中心区之一,毛竹林面积达3.67万hm<sup>2</sup>,位居浙江省县市第2位。

### 1.2 生物量调查

采用农村参与式评估法(PRA),对浙江省龙泉市80户农户毛竹林经营状况进行调查。根据类型多样性和区域代表性的原则,在小梅镇、竹垟乡和小黄南镇,建立以材为主两用林20m×30m标准样地38个(坡度小于30°)。样地施肥状况见表1。各样地内的毛竹进行每株检尺,记录各株的竹龄、胸径。

表1 样地施肥状况表

Table 1 Fertilization scheme of the research sample plots

施肥模式	方法	施肥年限/a	样地数量/个
推荐施肥	在5月初施肥,肥料为整合型笋竹专用肥	>5	17
对照	不施肥	>10	21

说明:笋竹专用肥N:P:K=17:8:5,福建中化智胜化肥有限公司生产,1125kg·hm<sup>-2</sup>,沟施,若土壤有效磷<10mg·kg<sup>-1</sup>,增施20%的磷肥;若10mg·kg<sup>-1</sup><有效磷<15mg·kg<sup>-1</sup>,增施10%的磷肥。

### 1.3 秆形结构调查

1.3.1 测量株的选择 选择模式施肥、不施肥毛竹林样地各7个,样地立地条件相近,立竹密度相近(差别控制在5%之内)。根据每株调查的结果,计算各样地的平均胸径,以平均胸径作为选择样竹的依据。在各标准样地所在的林地中选取3年生标准竹5株进行调查。标准竹之间的距离要大于15m。采用伐倒标准竹方法测量。

1.3.2 秆高与枝下高测定 测量标准竹出土第1节间下端秆环处至梢部直径为2.5cm处竹秆的长度作为秆高。标准竹出土第1节下端秆环处至毛竹第1盘枝箨环处作为枝下高。

1.3.3 节间长测定 采用“五节法”<sup>[8]</sup>,在毛竹出土处节用记号笔标记,依次向上每5节作为1个节段,编号1,2,3,……。测各节段的长度和中央直径。

1.3.4 秆质量、壁厚的测定 竹秆采用“10段法”<sup>[14]</sup>,按长度分成10等份,并从基部开始按顺序编号,测量各段的长度、质量及各竹段基部的壁厚。

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥对毛竹胸径的影响

施肥对毛竹平均胸径的影响见图 1。由图可知，推荐施肥模式下毛竹平均胸径值较大。平均胸径 I 度>IV 度>II 度>III 度。在林分管理中，I 度：II 度：III 度：IV 度调控在 4：3：3：1。推荐施肥样地的 I 度新竹平均胸径值较不施肥处理 I 度新竹大。经统计，推荐施肥样地的毛竹平均胸径为 11.15 cm，比不施肥对照增加了 4.59%。这表明 5 月初对竹林进行施肥管理能提高毛竹的胸径。同时，经 Duncan's 多重比较，在相同人为因素下，推荐施肥竹林平均立竹密度 2 970 株·hm<sup>-2</sup>，比不施肥对照毛竹林平均立竹密度提高了 930 株·hm<sup>-2</sup>，差异达到极显著水平。施肥提高了林地的立竹密度和胸径，促进了林地的生产力。用林分蓄积量进行立地质量评定的方法来判断，推荐施肥林地的立地质量则要明显优于不施肥林地。

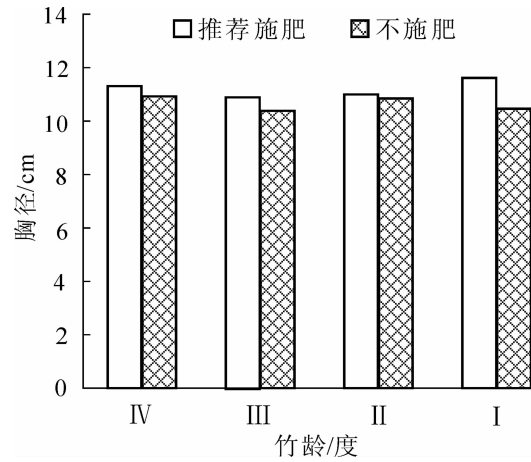


图 1 不同施肥处理下毛竹胸径变化

Figure 1 Moso bamboo DBH variations with the fertilization treatments

### 2.2 施肥对竹秆高度和节数的影响

由表 2 可知：推荐施肥及不施肥林地的秆高分别为 12.39 m 和 12.67 m，两者无显著差异，以胸径为协变量对各参数进行校正(各参数都通过了方差齐性检验)，校正统一胸径为 10.97 cm 后，发现推荐施肥毛竹秆高为 12.45 m，对照的秆高为 12.88 m，两者也没有达到差异显著性水平。推荐施肥毛竹的枝下高、总节数、枝下节数都极显著的下降了，其中枝下高比对照下降了 17.3%，这可能与枝下节数有关。数据表明：秆高是较稳定的指标，不受立地条件的影响，但立地条件好的施肥林地中枝下高、竹节总数和枝下节数会显著降低。

表 2 不同施肥处理下毛竹高度和竹节数量的变化

Table 2 Moso bamboo variations in height and number of nodes with fertilization treatments

处理	原始值			校正值		
	推荐施肥	不施肥	差异性显著检验值	推荐施肥	不施肥	差异性显著检验值
胸径/cm	11.20	10.80		10.97	10.97	
秆高/m	12.39	12.67	0.322	12.45	12.88	0.261
枝下高/m	6.04	7.13		5.96	7.21	0.001
总节数	45.00	47.00		45.40	48.00	0.001
枝下节数	25.00	29.00	0.000	24.90	29.20	0.000

说明：秆高和总节数为统计到竹梢直径 2.5 cm 处的值。

### 2.3 施肥对竹节节间长度的影响

毛竹在出笋后的生长发育过程中，通常以 5 节为一个节段进行发育和生长。对毛竹节间长度即采用五节法进行，即从毛竹基部开始到小头直径 2.5 cm 处每 5 节为一个节段，编号分别记为 1, 2, 3, ...。

以胸径为协变量，各节段长为因变量进行协方差分析和多重比较，统一胸径到 10.97 cm 的节段长度(图 2)，可以明显看出，毛竹节段中部长，基部和梢部短，第 6 节段(26~30 节)最长，均值是 175.21 cm。以节段号为自变量，节段长为因变量分别进行多种曲线拟合，发现均以二次曲线函数拟合效果最佳， $P < 0.0001$ ，达到极显著水平，拟合方程分别为：推荐施肥  $y = 11.9825 + 50.2071x - 3.9661x^2$ ， $R^2 = 0.9849$ ；不施肥  $y = 3.2723 + 52.6569x - 4.1443x^2$ ， $R^2 = 0.9931$ 。

以“五节法”比较施肥林地与不施肥林地的节间长度,发现施肥林地毛竹1~5段比不施肥长,平均比不施肥的长2.4%,而6~9段平均比不施肥的短2.2%。显著性检验表明,施肥对毛竹的节间长度无显著影响。

#### 2.4 施肥对竹秆质量分布的影响

秆质量是毛竹生物产量的反映,是主要的经济指标之一。毛竹的秆质量受胸径影响较大,两者呈二次曲线变化<sup>[4]</sup>。为了研究施肥对秆质量的影响,对胸径和秆质量进行协方差分析,校正胸径统一到10.97 cm,发现施肥的秆质量为28.00 kg,比不施肥毛竹轻6.8%,达到差异显著性水平( $P = 0.036 < 0.05$ )。这表明在毛竹胸径大小同样的情况下,立地条件好的竹林的毛竹单株生物量相对较少。

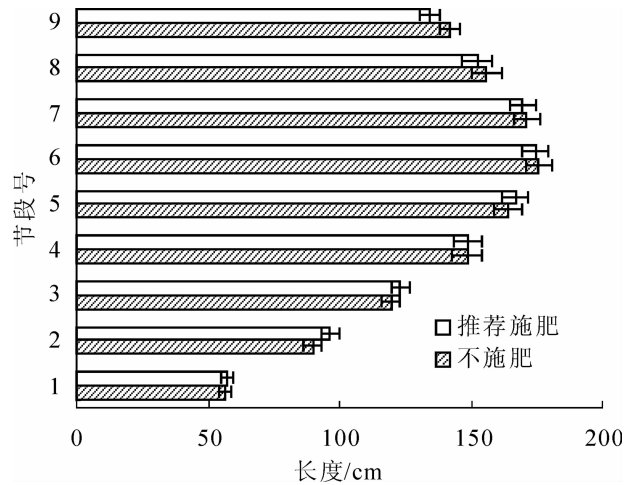


图2 不同施肥处理下毛竹节间长度的变化  
Figure 2 Variation of in-between node length with the fertilization treatments

表3 不同施肥处理竹林的竹秆质量变化

Table 3 Moso bamboo variation in culm weight with the fertilization treatments

处理	原始值		校正值		差异性显著 检验值
	胸径/cm	秆质量/(kg·株 <sup>-1</sup> )	胸径	秆质量/(kg·株 <sup>-1</sup> )	
推荐施肥	11.2	29.122	10.97	28.000	0.036
不施肥	10.8	28.836	10.97	30.029	

根据毛竹分段质量,可以鉴别毛竹秆生物产量的分布规律、竹株各段纤维程度。将竹秆按长度平均分成10段,从基部向上编号1,2,3,⋯,10,称取每段质量(图3)。

由图3可以发现推荐施肥与不施肥毛竹的竹秆质量分布相似,基部第1段质量最大,竹段越高质量越小,各段间变幅大体一致,即通体均匀下降。以段号为自变量,段质量为因变量分别进行多种曲线拟合,发现以指数对数曲线函数拟合效果最佳, $P < 0.0001$ ,达到极显著水平,拟合方程分别为:推荐施肥  $y = -2.657 \ln x + 6.9021$ ,  $R^2 = 0.9967$ ; 不施肥:  $y = -2.653 \ln x + 6.8923$ ,  $R^2 = 0.9966$ 。由模型曲线可以看出,立地条件的好坏不影响竹秆质量分布。

#### 2.5 施肥对竹壁厚度的影响

以高度( $x$ )及对应高度的平均竹壁厚度( $y$ )做散点图(图4),可以看出:毛竹竹壁厚度自基部随高度的增加而逐渐减小,其中竹秆0~1 m内壁厚急剧下降,之后下降的幅度逐渐减小,施肥和不施肥的壁厚变化规律相同。经协方差分析表明:施肥和不施肥的壁厚没有显著差异,说明立地条件对毛竹竹壁厚度没有影响。将高度( $x$ )和竹壁厚度( $y$ )的关系用多个函数模型进行数据拟合,发现Morgan-Mercer-Florin模型的拟合效果最好,经拟合度检验,显著水平 $P < 0.0001$ ,达到极显著。模型曲线见图5。曲线模型如下:推荐施肥  $y = (1.90 \times 3610.23 - 2411.56x^{0.30695}) / (3610.23 + x^{0.30695})$ ,  $R^2 = 0.9953$ ; 不施肥  $y = (1.91 \times 3709.84 - 2452.97x^{0.30671}) / (3709.84 + x^{0.30671})$ ,  $R^2 = 0.9982$ 。

#### 2.6 施肥对毛竹削尖度的影响

以胸径为标准,将其他高度处的秆径与胸径之比称为相对直径,相对直径随相对高度的变化曲线反映竹子尖削度的大小。分别根据各样地毛竹平均的相对直径( $y$ )—高度( $x$ )的散点图(图5),用多种曲线进行拟合,发现以直线模型拟合度较好,拟合结果为推荐施肥  $y = -0.0674x + 1.1057$ ,  $R^2 = 0.9979$ ; 不施肥  $y = -0.0687x + 1.1038$ ,  $R^2 = 0.9982$ 。

根据曲线模型,可以通过测量毛竹的胸径来计算任意高度的直径。由图5和模型斜率可以看出,施肥没有明显改变毛竹削尖度。

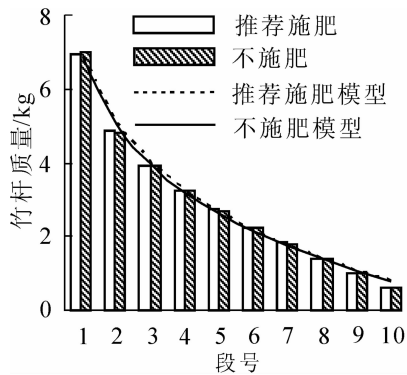


图3 不同施肥处理下毛竹竹秆质量的分布

Figure 3 Moso bamboo distribution of culm weight with the fertilization treatments

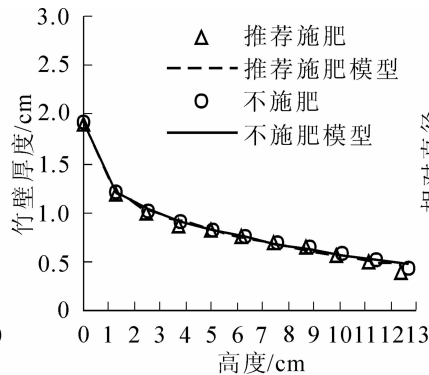


图4 毛竹竹壁厚度随高度的变化

Figure 4 Moso bamboo culm wall thickness variation with the height

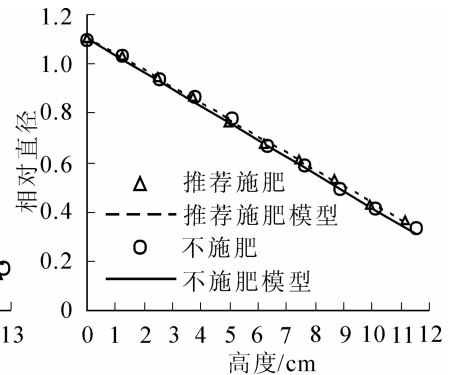


图5 毛竹相对直径随高度的变化

Figure 5 Moso bamboo variations of relative diameters with the culm height

### 3 结论与讨论

林木养分的积累与分配是养分元素生物循环的重要环节，养分元素的利用直接影响生产力的高低，并关系到生态系统的稳定和持续<sup>[15-16]</sup>。本研究表明：在相同林分密度及胸径下，施肥经营的竹秆的质量比不施肥毛竹下降了6.8%，但从长期经营过程来看，施肥增加了胸径大小，因此，对于整个林分而言，生物产量随着施肥年限的增长而有所上升，合理的施肥能提高林地生物产量，促进林地生产力，改善立地质量。

相同的竹林密度下，胸径相同的毛竹其秆高、材质量分布、壁厚和削尖度等都是较为稳定的指标，受施肥的影响较小，可以通过胸径建立与节间长度、材质量分布、壁厚和削尖度的函数关系来反应毛竹的竹秆形态。

#### 参考文献：

- [1] 邓旺华, 范少辉, 官凤英, 等. 中国竹林生态定位站布局探讨[J]. 林业资源管理, 2009 (3): 17 - 21.  
DENG Wanghua, FAN Shaohui, GUAN Fengying, et al. Distribution of chinese bamboo forest ecosystem research stations [J]. *For Resour Manage*, 2009 (3): 17 - 21.
- [2] 国家林业局. 中国森林资源报告——第7次全国森林资源清查[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- [3] 金爱武. 现代毛竹培育技术及其传播: 问题与方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [4] 陈志阳, 姚先铭, 田小梅. 毛竹材用林施肥与产量和经济效益的回归分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25 (18): 166 - 169.  
CHEN Zhiyang, YAO Xianming, TIAN Xiaomei. The regression analysis between fertilization and the output, the economic benefit in *Phyllostachys pubescens* for culm-producing [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2009, 25 (18): 166 - 169.
- [5] 徐筱雯, 崔会平, 金爱武, 等. 毛竹林模式施肥生态效应评价[J]. 浙江林业科技, 2008, 28 (1): 38 - 42.  
XU Xiaowen, CUI Huiping, JIN Aiwu, et al. Evaluation of ecology impact of bamboo forest with model fertilizing[J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2008, 28 (1): 38 - 42.
- [6] 郭晓敏, 牛德奎, 范方礼, 等. 平衡施肥毛竹林叶片营养与土壤肥力及产量的回归分析[J]. 林业科学, 2007, 43 (增刊1): 53 - 58.  
GUO Xiaomin, NIU Dekui, FAN Fangli, et al. Regression analysis of leaf nutrition, soil fertility and output in bamboo forest of balance fertilization [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, 43 (supp 1): 53 - 58.
- [7] 苏文会, 顾小平, 岳晋军, 等. 大木竹秆形结构的研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19 (1): 98 - 101.  
SU Wenhui, GU Xiaoping, YUE Jinjun, et al. Study on the structure of culm form of *Bambusa wenchouensis* [J]. *For Res*, 2006, 19 (1): 98 - 101.
- [8] 周芳纯. 毛竹秆形结构的研究[J]. 南京林产工业学院学报, 1981 (1): 16 - 24.  
ZHOU Fangchun. Study of the culm form of moso bamboo [J]. *J Nanjing Technol For Prod*, 1981 (1): 16 - 24.

- [9] 汪阳东. 竹子秆形生长和变异的研究进展[J]. 竹子研究汇刊, 2001, **20** (4): 91 - 98.  
WANG Yangdong. Current research on bamboo culm form [J]. *J Bamboo Res*, 2001, **20** (4): 91 - 98.
- [10] 汪阳东, 韦德煌. 气象因素对毛竹秆形生长变异的影响[J]. 竹子研究汇刊, 2002, **21** (1): 46 - 53.  
WANG Yangdong, WEI Dehuang. The effect of weather factors on the culm growth of moso bamboo[J]. *J Bamboo Res*, 2002, **21** (1): 46 - 53.
- [11] 谢芳. 毛竹节间性状及其海拔效应研究[J]. 江西农业大学学报, 2002, **24** (1): 86 - 92.  
XIE Fang. A study on the main internode characters of moso bamboo and its altitude effect[J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2002, **24** (1): 86 - 92.
- [12] 蓝晓光. 土壤温度对毛竹冬笋-春笋高生长的影响[J]. 浙江林学院学报, 1990, **7** (4): 22 - 28.  
LAN Xiaoguang. Effects of soil temperature on the winter and spring shoot elongation of *Phyllostachys pubescens* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1990, **7** (4): 22 - 28.
- [13] 林新春, 方伟, 俞建新, 等. 苦竹各器官生物量模型[J]. 浙江林学院学报, 2004, **21** (2): 168 - 171.  
LIN Xinchun, FANG Wei, YU Jianxin, *et al.* Biomass models of organs of *Pleioblastus amaru* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2004, **21** (2): 168 - 171.
- [14] 吴炳生, 江鸿跃, 聂勇, 等. 料慈竹秆形结构的研究[J]. 南京林业大学学报, 1997, **21** (4): 59 - 62.  
WU Bingsheng, JIANG Hongyue, NIE Yong, *et al.* Study of the culm structure of *Bambusa dislagia* [J]. *J Nanjing For Univ*, 1997, **21** (4): 59 - 62.
- [15] 彭龙福. 不同立地条件楠木人工林养分研究[J]. 福建林业科技, 2008, **35** (2): 10 - 15.  
PENG Longfu. Study on nutrient elements of *Phoebe bournei* plantation in different site conditions [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2008, **35** (2): 10 - 15.
- [16] 项文化, 田大伦, 闫文德, 等. 第2代杉木林速生阶段营养元素的空间分布特征和生物循环[J]. 林业科学, 2002, **38** (2): 2 - 8.  
XIANG Wenhua, TIAN Dalun, YAN Wende, *et al.* Natural elements distribution and cycling in the second rotation Chinese fir plantation at fast-growing stage [J]. *Sci Silv Sin*, 2002, **38** (2): 2 - 8.