

施肥对毛竹林换叶期冠层形成及光合能力的影响

金晓春^{1,2}, 金爱武¹, 宋艳冬¹, 娄金飞³, 梅舒敏³

(1. 浙江林学院 竹类研究所, 浙江 临安 311300; 2. 丽水职业技术学院 环境工程分院, 浙江 丽水 323000;
3. 浙江省龙泉市上垟镇林业工作站, 浙江 龙泉 323707)

摘要: 为了揭示施肥对毛竹 *Phyllostachys pubescens* 林冠结构和光合能力的影响规律, 研究了不同施肥处理下3年生毛竹从展叶到绿叶期的叶片大小、质量、分布状态和光合特性。结果表明: 毛竹单叶面积、千叶质量和叶片分布受施肥的影响较小, 是较为稳定的指标; 展叶期施肥处理(处理1)能显著增加单株立竹的叶片数量, 到7月底, 其单株立竹叶片总质量和叶面积指数分别比绿叶期施肥(处理2)提高14.8%和13.7%, 比不施肥(对照)提高27.6%和24.5%; 冠层14~17档是单枝叶片数量最多的区域, 施肥能增加各枝盘叶片的质量, 但对林冠重心的分布无影响; 单叶叶面积稳定后(6月), 处理1的叶绿素测定值和光合速率显著高于处理2和对照, 而处理2与对照间无显著差异。展叶期施肥通过叶片数量、叶面积指数和光合捕光色素含量的提高, 增强了毛竹林光合能力。因此, 建议在实际生产中于毛竹展叶期进行土壤养分补充。图6表1参16

关键词: 森林生物学; 毛竹; 冠层; 光合作用; 施肥; 生物量

中图分类号: S718.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2010)01-0057-06

Canopy development and photosynthesis with fertilization during leaf-expansion period of *Phyllostachys pubescens*

JIN Xiao-chun^{1,2}, JIN Ai-wu¹, SONG Yan-dong¹, LOU Jin-fei³, MEI Shu-min³

(1. Bamboo Research Institute, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Environment Engineering, Lishui Vocational and Technology College, Lishui 323000, Zhejiang, China; 3. Shangyang Town Forest Station of Longquan City, Longquan 323707, Zhejiang, China)

Abstract: Through pot experiment with single factor randomized block design, this paper studied the effect of fertilization in different times on canopy development and photosynthesis of *Phyllostachys pubescens*, the size, weight, and distribution of leaves as well as their photosynthetic characteristics from leaf-expansion to maturity were studied. Treatments were as follows: fertilization during leaf-expansion period, fertilization during green-leaf period, and no fertilizer(ck). Results showed that individual leaf area, thousand-leaf weight, and leaf distribution were relatively stable with little influence from fertilization. Fertilization during leaf-expansion compared to the green leaf period significantly increased leaf number, leaf weight per plant, and leaf area index. Fertilization during leaf-expansion also significantly increased the total weight of leaves corresponding to each branch. The 14th to the 17th branches had the largest number of leaves in the canopy with fertilization increasing the weight of each branch but not changing the center of the canopy. After June when individual leaf area was stable, chlorophyll concentration (SPAD value) and the photosynthesis rate of the leaf per unit area during leaf-expansion were significantly higher than the green leaf period and ck. Thus, for production, the bamboo forest should be fertilized in the leaf-expansion period. [Ch, 6 fig. 1 tab. 16 ref.]

收稿日期: 2009-02-26; 修回日期: 2009-06-20

基金项目: 浙江省重大科技攻关项目(2004C12038)

作者简介: 金晓春, 从事竹林培育与利用等研究。E-mail: jxcmailbox@163.com。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@zjfc.edu.cn

Key words: forest biology; *Phyllostachys pubescens*; canopy; photosynthesis; fertilization; biomass

生物量的积累主要通过林冠光合作用产生, 在一定的环境条件下, 林木光合生产量取决于叶片吸收的光合有效辐射和叶片的光合特性^[1]。光合有效辐射在林冠层中的分布除受太阳辐射强度变化的影响外, 还受叶面积指数、叶片大小和叶片空间分布等冠层结构因素的影响, 以及这些特征随生长发育阶段和林分密度的变化^[2-3]。毛竹 *Phyllostachys pubescens* 是中国分布面积最大, 范围最广, 开发利用程度最高, 集经济、生态和社会效益于一体的竹种。大量研究人员开展了毛竹林培育的研究并取得了诸多成果, 其中关于毛竹林施肥的研究较多, 主要集中在施肥对生物产量的影响上^[4-9], 但对毛竹生物量积累及分布的深层原因进行剖析的报道相对较少。本研究通过对3年生毛竹从展叶到绿叶期叶片的大小、质量、分布状态和光合特性等进行研究, 揭示施肥对毛竹林冠结构和光合能力的影响规律, 为毛竹施肥增产的内部机制研究及竹林合理施肥提供依据。

1 样地设置、处理与实验方法

1.1 样地设置与处理

在浙江省龙泉市上垟乡, 选择立竹密度为 $(2\ 100 \pm 120)$ 株·hm⁻², 立竹平均胸径 (10.0 ± 0.5) cm, 年龄结构(1度:2度:3度=2:2:1), 立地条件相似, 大小年分明, 且2008年为春笋小年的毛竹林9块。各块面积在0.2 hm²以上。设计3个施肥处理, 分别为: ①近5 a内都施肥, 施肥时间为5月初(处理1); ②近5 a内都施肥, 施肥时间为8月底(处理2); ③10 a内未施过肥, 记为对照。3个处理作为1个区组, 3次重复。施用肥料为螯合型笋竹专用肥(氮:磷:钾=17:8:5, 福建中化智胜化肥有限公司), 1 125 kg·hm⁻², 沟施, 若土壤有效磷 <10 mg·kg⁻¹, 增施11.2 kg·hm⁻²的磷肥; 若 10 mg·kg⁻¹ $<$ 有效磷 <15 mg·kg⁻¹, 增施5.6 kg·hm⁻²的磷肥。2008年4月下旬在施肥前各样地土壤养分状况见表1。

表1 试验竹林样地土壤养分

Table 1 Soil nutrient contents in different plots

处理	项目	pH 值	全氮/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)
处理 1	平均值	4.71	1.79	257.56	5.28	64.48	37.77
	标准差	0.29	0.44	66.56	3.47	28.38	9.31
处理 2	平均值	4.77	1.57	242.41	2.90	67.15	33.89
	标准差	0.29	0.46	59.00	1.18	27.44	12.03
对照	平均值	4.86	1.74	243.79	2.80	64.85	41.51
	标准差	0.15	0.55	69.11	1.74	31.75	12.45
F 值		1.13	0.63	1.20	4.27	0.15	1.53
P		0.34	0.60	0.32	0.00	0.93	0.22

1.2 叶片特征及光合参数的测定

按毛竹的生长节律分别于2008年5月初、5月底、6月底和7月底天气晴朗的日子对毛竹林进行测试。测试指标主要有叶面积指数、叶面积、千叶质量、叶绿素含量和光合速率等。叶面积指数用LAI 2000冠层分析仪测定, 各样地内随机选择30个点; 各个样地选择5株胸径在林地立竹平均胸径左右的3年生毛竹作为标准竹, 取冠层中部的叶片用AM 300叶面积仪测定叶面积, 同时用称量法测定千叶质量; 光合速率测定时另选5株标准竹(选择要求同上), 选择15~17盘·株⁻¹向阳面枝条中上部相似叶位且生长良好叶片3片用GFS 3000光合仪测定, 并用SPAD-502测定叶绿素相对含量, 样

株测试毛竹叶 50 片·株⁻¹；叶片在各冠层的分布于 7 月底测定，在每块样地中选择砍伐 5 株 3 年生毛竹，采枝下第 2 档起每隔 2 档枝条的叶片称量。

用 DPS 8.01 软件进行数据分析与处理。

2 结果与分析

2.1 不同时期施肥对毛竹单叶面积和千叶质量的影响

毛竹于 4 月中旬叶片开始萌发，5 月初第 1 片叶展开，6 月底所有叶片展开，该时期为叶片的展叶期，之后进入绿叶期。毛竹单叶面积变化见图 1。结果表明，毛竹展叶期单叶面积急剧增加，从 5 月 4 日的 260 ~ 280 mm² 增加到 6 月 29 日的 818 ~ 853 mm²，而后基本稳定。不同施肥处理毛竹林单叶面积变化趋势相似。方差分析结果显示处理 1、处理 2 和对照之间无显著差异，表明毛竹叶片大小受施肥的影响较小，是由其固有的生物学特性决定的。

从图 2 可以看出，毛竹千叶质量变化，从 5 月 4 日到 5 月 28 日快速增加，增加率达 188.1%，变化趋势与单叶面积相似。在 6 月出现一段平稳期，从 6 月底开始进入第 2 个快速生长期，7 月 28 日的千叶质量比 6 月 29 日增加了 30.2%。可以推断，该时期千叶质量的增加主要来自各种物质在叶片中的积累。

不同施肥处理毛竹林千叶质量的变化趋势相似，方差分析结果显示处理 1、处理 2 和对照等 3 种处理毛竹林千叶质量无显著差异，受施肥影响较小。

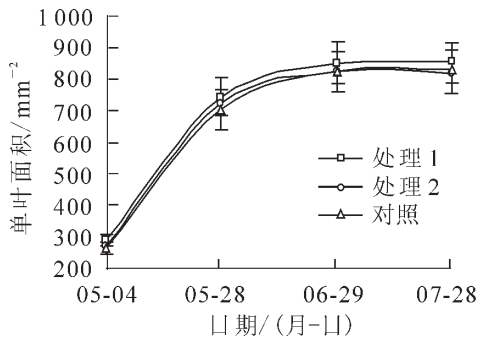


图 1 不同施肥处理毛竹林单叶面积的变化
Figure 1 Variation of the individual leaf area of *Phyllostachys pubescens* in three fertilizer application modes

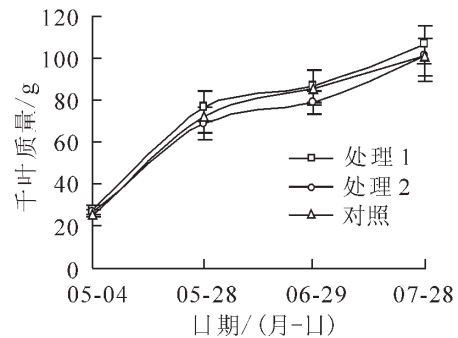


图 2 不同施肥处理毛竹林千叶质量的变化
Figure 2 Variation of the thousand-leaf weight of *Phyllostachys pubescens* in three fertilizer application modes

2.2 不同时期施肥对毛竹林叶面积指数的影响

叶面积指数作为研究林分群体产量形成的一个指标，是衡量群落和种群的生长状况和光能利用率的重要指标^[10-11]，Watson^[12]认为叶面积的变化是植物收获量差异的主要原因。从叶面积指数变化趋势上看(图 3)，不同施肥处理基本相似，叶面积指数从 5 月初开始迅速增加，到 6 月底之后达到稳定状态。结合前面的结果可知，这种在时间梯度上的变化趋势主要是由叶片生长导致单叶叶面积的增加和叶片数量的增多而引起的。

不同施肥处理的叶面积指数从 5 月 4 日的 1.00 左右，到 5 月 28 日分别达到 6.53(处理 1)、5.76(处理 2)和 5.09(对照)，到 6 月 29 日，处理 1、处理 2 和对照三者之间在 0.05 水平上均达到显著性差异，叶面积指数分别为 7.67，6.70 和 6.19。说明施肥能显著提高毛竹林叶面积指数，且展叶期施肥对叶面积指数的增加有很好的效果。由于单叶面积在相同时间尺度上较为稳定，可以分析得出叶面积指数的增加来源于叶片数量的增多，表明施肥能促进叶芽的分化。

2.3 不同时期施肥对毛竹林冠叶片分布的影响

对毛竹枝下第 2 档起每隔 2 档枝条叶质量进行测定，结果见图 4。可以看出，毛竹叶片质量在林冠的分布呈偏正态分布，其中 14 ~ 17 档枝条是冠层叶质量最大处。不同施肥处理毛竹林叶片在各冠

层的分布比例基本一致, 但不同施肥处理毛竹林在枝盘号相同时的叶质量不同, 为处理 1 > 处理 2 > 对照, 方差分析显示三者相互间都有显著差异。说明施肥能增加各枝盘叶片的质量, 但没有改变毛竹林冠的重心。

以枝档号为自变量(n , 自然数), 叶质量为因变量(y)用多种曲线进行拟合, 以 Peal-Reed 一元非线性回归模型拟合效果最好, 显著水平 $P < 0.000 1$, 达到极显著, 拟合曲线见图 4。拟合方程分别为:

处理 1: $y = 339.604 2/[1 + 10.490 0\exp(-0.408 62n + 0.015 422n^2 - 0.000 082n^3)]$, $R = 0.994 0$;

处理 2: $y = 732.987 7/[1 + 17.871 2\exp(-0.245 93n + 0.007 273n^2 + 0.000 036n^3)]$, $R = 0.996 7$;

对照: $y = 334.900 6/[1 + 15.937 1\exp(-0.404 35n + 0.014 584n^2 - 0.000 055n^3)]$, $R = 0.996 5$ 。

根据这 3 个模型可估算出试验毛竹林标准竹的单株叶总质量, 结果为 $4.620 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ (处理 1), $4.044 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ (处理 2), $3.636 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$ (对照)。处理 1 比处理 2 大 14.8%, 比对照大 27.6%。

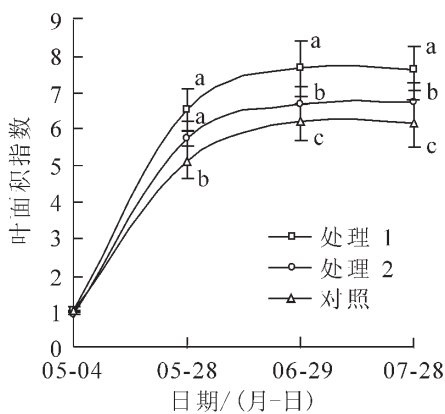


图 3 不同施肥处理毛竹林叶面积指数变化

Figure 3 Variation of LAI of *Phyllostachys pubescens* in three fertilizer application modes

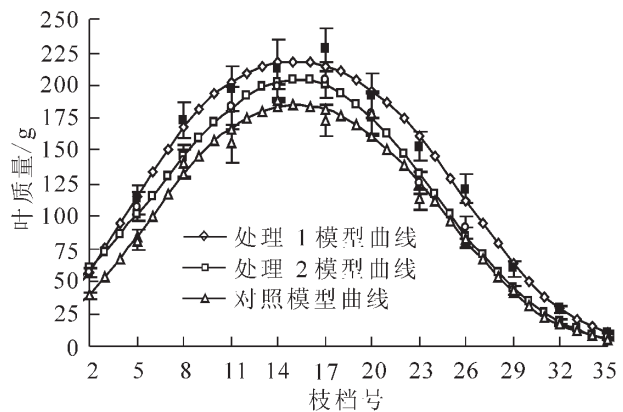


图 4 不同施肥处理毛竹林冠叶片质量的分布

Figure 4 Leaf distribution in the canopy of *Phyllostachys pubescens* in three fertilizer application modes

2.4 不同施肥处理毛竹叶片叶绿素相对含量值比较

叶绿素计能快速、简便、非破坏性地监测植物叶绿素含量^[13]。叶绿素计种类较多, 而其中以叶绿素测定仪 SPAD-502 应用的较为广泛, 其值(SPAD 值)代表叶绿素相对含量, 也称绿色度^[14-15]。由图 5 可看出, 展叶初期各处理毛竹林的叶片 SPAD 值无显著差异; 到 5 月 28 日, 处理 1 的 SPAD 值显著高于对照, 而处理 2 与处理 1、对照都无显著差异; 在 7 月 28 日, 处理 1 的 SPAD 值达到 40.2, 分别是处理 2 和对照的 110.1%和 117.4%, 与处理 2 和对照之间差异都达到显著水平, 但处理 2 与对照之间差异不显著。表明展叶期施肥显著提高叶片叶绿素相对含量。

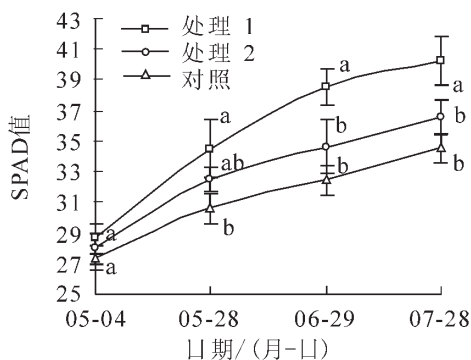


图 5 不同施肥处理毛竹林 SPAD 值的变化

Figure 5 Variation of SPAD value of *Phyllostachys pubescens* in three fertilizer application modes

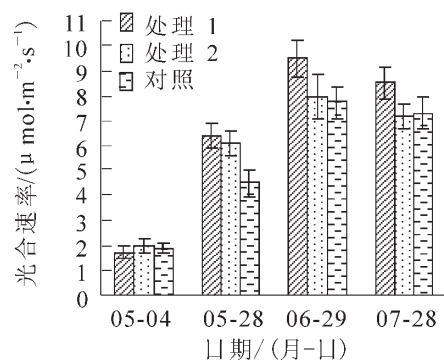


图 6 不同施肥处理毛竹光合速率变化

Figure 6 Variation of P_n of *Phyllostachys pubescens* in three fertilizer application modes

2.5 不同施肥处理毛竹光合速率比较

3 种施肥处理毛竹林在不同时期的光合速率(P_n)变化见图 6。5 月 4 日 P_n 在 $1.8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右的较低值, 不同处理之间无显著差异, 可能与处于展叶初期的叶片生理活性低致使光合能力低有关。到 5 月 28 日, P_n 明显提高, 处理 1 达到 $6.40 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (光合有效辐射为 $570 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 温度为 $26.0 \text{ }^\circ\text{C}$) 显著高于对照, 但与处理 2 无显著差异。叶面积稳定后的 6 月底及 7 月底都表现为处理 1 光合速率显著高于处理 2 和对照, 而处理 2 与对照间无显著差异。与 6 月底相比, 7 月底的 P_n 较低, 可能与温度较高($34.0 \text{ }^\circ\text{C}$)影响了叶片的生理活性有关。

3 结论与讨论

毛竹单叶面积、千叶质量和叶片分布受施肥的影响不大, 是较为稳定的指标。竹冠层 14 ~ 17 盘枝条的叶片数量最多, 施肥能增加各枝盘叶片的质量, 但不改变毛竹林冠的重心。光合生产率为叶面积与光合速率的乘积^[16], 施肥能提高毛竹林立竹的叶片数量、叶面积指数和光合色素相对含量, 从而促进光合产物的形成与积累, 有利于竹林的自然更新生长与经济产出的提高, 其中, 以展叶期施肥效果显著, 而绿叶期施肥虽对光合器官的数量或面积及捕光色素的合成有一定的提高作用, 但效果并不显著。因此, 建议在实际生产中毛竹林补充土壤养分应在展叶期进行。对于本研究的其他季节施肥, 尤其是展叶期前(2 - 4 月)施肥对毛竹光合器官的形成和光合能力的影响, 有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 张小全, 徐德应, 赵茂盛. 林冠结构、辐射传输与冠层光合作用研究综述[J]. 林业科学研究, 1999, **12** (4): 411 - 421.
ZHANG Xiaoquan, XU Deying, ZHAO Maosheng. Review on forest canopy structure, radiation transfer and canopy photosynthesis [J]. *For Res*, 1999, **12** (4): 411 - 421.
- [2] OKER B P. The influence of penumbra on the distribution of direct solar radiation in a canopy of scotspine [J]. *Photosynthetica*, 1985, **19**: 312 - 317.
- [3] 郭江, 肖凯, 郭新宇, 等. 玉米冠层结构、光分布和光合作用研究综述[J]. 玉米科学, 2005, **13** (2): 55 - 59.
GUO Jiang, XIAO Kai, GUO Xinyu, *et al.* Review on maize canopy structure, light distributing and canopy photosynthesis [J]. *J Maize Sci*, 2005, **13** (2): 55 - 59.
- [4] 胡集瑞. 施肥对毛竹笋产量和出笋规律的影响[J]. 福建林业科技, 2000, **27** (1): 89 - 95.
HU Jirui. Effects of the fertilizer application on the bamboo shoot yield and bamboo shooting law of *Phyllostachys pubescens* [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2000, **27** (1): 89 - 95.
- [5] 翁甫金, 汪奎宏, 何奇江, 等. 竹笋专用有机肥在毛竹笋用林中的应用[J]. 浙江林业科技, 2001, **21** (3): 255 - 262.
WENG Pujin, WANG Kuihong, HE Qijiang, *et al.* Application of special organic fertilizer for shooting in bamboo stand for shoot [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2001, **21** (3): 255 - 262.
- [6] 郭志坚, 邹秀红, 刘建斌, 等. 毛竹林施肥效果研究[J]. 林业科技开发, 2005, **19** (6): 756 - 763.
GUO Zhijian, ZOU Xiuhong, LIU Jianbin, *et al.* Study on effect of fertilization to Moso bamboo plantation [J]. *China For Sci Technol*, 2005, **19** (6): 756 - 763.
- [7] 郭晓敏, 陈广生, 牛德奎, 等. 平衡施肥对毛竹笋产量的影响效应研究[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2003, **25** (1): 48 - 52.
GUO Xiaomin, CHEN Guangsheng, NIU Dekui, *et al.* A study on the effects of balance fertilization on bamboo shoot yield [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2003, **25** (1): 48 - 52.
- [8] 袁亚平, 萧江华, 陈汉林, 等. 毛竹林新型经营模式[J]. 浙江林学院学报, 1999, **16** (3): 270 - 273.
YUAN Yaping, XIAO Jianghua, CHEN Hanlin, *et al.* New management type of *Phyllostachys pubescens* forest [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1999, **16** (3): 270 - 273
- [9] 吕玉龙, 金爱武, 王国辉. 浙江省台州市黄岩区毛竹经营的社会因素分析[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (2): 212 - 220.
LU Yulong, JIN Aiwu, WANG Guohui. Social factors of *Phyllostachys pubescens* management in Huangyan District of Taizhou City [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (2): 212 - 220.

- [10] SAMPSON D A, ALBAUGH T J, JOHNSEN K H, *et al.* Monthly leaf area index estimates from point-in-time measurements and needle phenology for *Pinus taeda* [J]. *Canadian J For Res*, 2003, **33** (12): 2477 - 2490.
- [11] 王希群, 马履一, 贾忠奎, 等. 叶面积指数的研究和应用进展[J]. 生态学杂志, 2005, **23** (5): 537 - 541.
WANG Xiqun, MA Lüyi, JIA Zhongkui, *et al.* Research and application advances in leaf area index (LAI)[J]. *Chin J Ecol*, 2005, **23** (5): 537 - 541.
- [12] 方秀琴, 张万昌. 叶面积指数(LAI)的遥感定量方法综述[J]. 国土资源遥感, 2003, **5** (3): 258 - 262.
FANG Xiuqin, ZHANG Wanchang. The application of remotely sensed data to the estimation of the leaf area index [J]. *Remote Sens Land & Resour*, 2003, **5** (3): 258 - 262.
- [13] 艾天成, 李方敏, 周治安, 等. 作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J]. 湖北农学院学报, 2000, **20** (1): 6 - 8.
AI Tiancheng, LI Fangmin, ZHOU Zhian, *et al.* Relationship between chlorophyll meter readings (SPAD readings) and chlorophyll content of crop leaves [J]. *J Hubei Agric Coll*, 2000, **20** (1): 6 - 8.
- [14] 姜丽芬, 石福臣, 王化田, 等. 叶绿素计 SPAD-502 在林业上应用[J]. 生态学杂志, 2005, **23** (12): 1543 - 1548.
JIANG Lifen, SHI Fuchen, WANG Huatian, *et al.* Application tryout of chlorophyll meter SPAD-502 in forestry [J]. *Chin J Ecol*, 2005, **23** (12): 1543 - 1548.
- [15] 李刚华, 丁艳锋, 薛利红, 等. 利用叶绿素计(SPAD-502)诊断水稻氮素营养和推荐追肥的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, **11** (3): 412 - 416.
LI Ganghua, DING Yanfeng, XUE Lihong, *et al.* Research progress on diagnosis of nitrogen nutrition and fertilization recommendation for rice by use chlorophyll meter [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2005, **11** (3): 412 - 416.
- [16] 陈存及, 邱尔发, 梁一池, 等. 毛竹不同种源光合特性研究[J]. 林业科学, 2001, **37** (6): 715 - 719.
CHEN Cunji, QIU Erfa, LIANG Yichi, *et al.* Study on the photosynthetic characters of *Phyllostachy pubescens* provenances [J]. *Sci Silv Sin*, 2001, **37** (6): 715 - 719.

浙江林学院学科建设取得新进展

近日, 浙江省教育厅公布了浙江省高校重点学科增列名单, 浙江林学院新增 3 个省级重点学科。其中, 园林植物与观赏园艺为省级重点学科 A 类, 环境与资源保护法学、土壤学为省级重点学科 B 类。至此, 浙江林学院省部级重点学科总数增至 10 个。

近年来, 浙江林学院重点学科建设工作取得了重大成效。2005 年前, 拥有省级重点学科 5 个(其中 2 个省级重点学科, 3 个省级重点扶植学科), 目前总数增加至 10 个; 层次结构逐步合理, 学校拥有 2 个省级“重中之重”学科, 1 个省级重点学科 A 类, 1 个国家林业局重点学科, 6 个省级重点学科 B 类。同时, 学科门类构成也进一步完善, 2005 年前, 省级重点学科中, 农学类 3 个, 工学类 1 个, 管理类 1 个; 目前, 学校拥有农学门类学科 6 个(新增纯农学科 1 个), 工学类学科 2 个, 管理类学科 1 个, 新增法学类学科 1 个。

省部级重点学科的建设水平是高校办学水平的重要标志之一。近年来, 浙江林学院省部级重点学科建设取得重大进展, 突出反映了学校办学水平和综合实力的显著提升。

罗黎敏