

连续施肥对毛竹林生长特征及生物量空间构型的影响

陈孝丑¹, 刘广路², 范少辉², 官凤英², 苏文会², 黄金华¹

(1. 福建省洋口国有林场, 福建 福州 350003; 2. 国际竹藤网络中心 竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102)

摘要: 以福建省永安市天宝岩国家级自然保护区不同施肥时间的毛竹 *Phyllostachys pubescens* 林为研究对象, 对不施肥 (林分 I)、施肥 5 a (林分 II)、施肥 13 a (林分 III) 毛竹林的生长特征和生物量分配格局进行了研究。结果表明: 施肥显著提高毛竹林分的生物量, 3 种林分生物量的排列顺序为林分 II > 林分 III > 林分 I, 分别为 101.347 8, 91.376 0 和 60.697 0 t·hm⁻²。长时间施肥林分竹秆生物量与总生物量的比例有下降趋势, 而枝、叶、根、蔸所占比例有上升的趋势。竹材主要的经济组分为竹秆, 竹秆所占生物量比例下降, 可能降低施肥的经济增益。灌木层生物量的排列顺序为林分 III > 林分 I > 林分 II, 分别为 1 643.37, 1 543.70 和 389.35 kg·hm⁻², 其中灌木枝和叶生物量与灌木层生物量比例的排列顺序为林分 III > 林分 I > 林分 II, 根生物量所占比例的排列顺序为林分 II > 林分 I > 林分 III, 长期施肥可以增加枝、叶生物量比例, 降低根的生物量比例。草本层叶生物量比例随着施肥时间的延长而降低, 草根生物量所占比例呈升高趋势。林分 I, 林分 II 和林分 III 的凋落物现存量分别为 3.79, 4.07 和 6.64 t·hm⁻², 施肥可以增加林分凋落物量, 可能和施肥提高了毛竹林生产力有关。图 3 表 2 参 29

关键词: 森林生态学; 毛竹林; 施肥时间; 胸径分布; 生物量格局

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2012)01-0052-06

Growth characteristics and biomass distribution of *Phyllostachys pubescens* stands with changes in fertilization time

CHEN Xiao-chou¹, LIU Guang-lu², FAN Shao-hui², GUAN Feng-ying², SU Wen-hui², HUANG Jin-hua¹

(1. Yangkou National Forest Farm of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian, China; 2. Key Laboratory for Bamboo and Rattan, International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

Abstract: It was important to study the *Phyllostachys pubescens* stands with different fertilization periods (I : without fertilization, II : 5 years of fertilization, and III : 13 years of fertilization) growth characteristics and biomass distribution pattern for maintain the long-term productivity. Growth characteristics and biomass distribution of three *Phyllostachys pubescens* stands with different fertilization periods were studied by field survey in Yong'an County, Fujian Province. Results showed that biomass was in the order of II > III > I. The mass fraction of bamboo stems decreased with fertilization time, whereas the mass fraction for bamboo branches, leaves, roots, and culm stumps increased. Biomass of the shrub layer was in the order III > I > II. The mass fraction for shrub branches and leaves increased in forest III, was in the order of III > I > II, and the mass fraction for shrub roots decreased in forest III, was in the order of II > I > III. The mass fraction of grass leaves decreased with fertilization time as the mass fraction of grass roots increased. The litter mass increased with fertilization time. Therefore, litter increases could be related to higher productivity with fertilization in bamboo stands; also, since major economic issues with bamboo concerned its culm, the decrease in bamboo

收稿日期: 2011-03-03; 修回日期: 2011-04-13

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目 (2006BAD19B0104, 2006BAD19B0302); 林业公益性行业科研专项 (200904047); 国际竹藤网络中心基本科研业务专项 (1632010005)

作者简介: 陈孝丑, 从事竹林培育和竹林生态等研究。E-mail: liuguanglu@icbr.ac.cn。通信作者: 范少辉, 研究员, 博士, 博士生导师, 从事森林培育和森林生态研究。E-mail: fansh@icbr.ac.cn

culms with fertilization increases over time could reduce economic gains which fertilization sought to increase. [Ch, 3 fig. 2 tab. 29 ref.]

Key words: forest ecology; *Phyllostachys pubescens* stands; fertilization time; characteristics of DBH; distribution pattern of biomass

毛竹 *Phyllostachys pubescens* 林具有生长快, 产量高, 用途广的特点。为了获得更大的经济效益, 竹林施肥在很多毛竹主产区得到了推广, 施肥在显著提高毛竹林的生产力^[1-3]的同时, 可能对毛竹林长期立地生产力产生不利的影响^[4-6]。片面追求经济效益, 而忽视竹林生态系统固有的结构及生态功能, 使中国毛竹竹林立地生产力呈现衰退趋势^[7], 如何保持毛竹林的长期生产力已成为一个亟待解决的科学问题。笔者所在研究组在对不同劈草、垦复、施肥时间毛竹林土壤变化特征^[8]以及长期劈草毛竹林生产力变化^[9]的研究中, 发现随着经营时间的延长, 毛竹生长及土壤特性发生了改变。毛竹生长特征和生物量分布格局的改变可能影响毛竹的经济和生态功能的正常发挥, 对毛竹林持续生产力造成不利的影响。探索不同经营时间尺度上的毛竹林生长变化特征, 可以为更科学的结构调整技术提供理论支持。目前, 针对毛竹林施肥的研究多集中在较短时期内对林分生产力及土壤环境的影响, 缺乏长期施肥对毛竹生长特征和生物量分配格局影响的研究。针对这种情况, 本研究以福建省天宝岩国家级自然保护区不同施肥时间的毛竹林为研究对象, 对施肥时间梯度上的毛竹林生长特征和生物量分配格局进行研究, 以期揭示长期施肥对竹林生长特征和生物量分配格局的影响, 制定更科学合理的毛竹林经营措施提供依据。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于福建省永安市天宝岩国家级自然保护区(25°55'~25°58'N, 117°31.0'~117°33.5'E), 地处戴云山余脉, 属中低山地貌, 海拔为 580.0~1 604.8 m。研究区属于亚热带东南季风气候型, 平均气温为 23.0 ℃, 最低温-11.0 ℃, 最高温 40.0 ℃, 无霜期 290 d 左右, 平均降水量 2 000 mm, ≥10 ℃的活动积温为 4 520~5 800 ℃, 持续天数为 225~250 d, 平均空气相对湿度为 80%左右。竹林主要分布在海拔 800 m 以下, 土壤为红壤。研究区内森林覆盖率 96.8%, 主要为毛竹林, 其间混生江南油杉 *Keteleeria cyclolepis*, 杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 杨梅 *Myrica rubra*, 南酸枣 *Choerospondias axillaris*, 鹅掌楸 *Liriodendron chinense*, 木荷 *Schima superba* 等乔木树种。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择与调查 2008 年 9 月, 根据天宝岩国家级自然保护区的小班经营档案和资源分布情况, 以不施肥(林分 I)毛竹林为对照, 对施肥 5 a(林分 II)和施肥 13 a(林分 III)的生长特征及生物量空间构型进行研究。实验地母岩类型为沉积岩, 土壤类型为黄红壤, 土层厚度为 65~75 cm, 腐殖质厚度 4~5 cm, 土壤湿润较疏松。在 3 种毛竹林分各选择 4 块样地, 样地规格为 20 m × 20 m, 施肥具体措施为每年 3 月前挖取冬笋, 6~9 月劈草作业 1 次, 5 月份施用毛竹专用肥(总养分质量分数 ≥300.0 g·kg⁻¹, m(N):m(P₂O₅):m(K₂O)=9:5:6), 施肥用量为 0.25 kg·株⁻¹, 距离竹蔸 20 cm 穴施, 穴深度为 40 cm。

1.2.2 生物量测定 毛竹生物量采用收获法测定。根据标准地调查资料, 分别计算出不同施肥时间毛竹林地中 1~6 年生毛竹的平均立竹, 各选取 4 株作为标准竹砍伐, 每种类型毛竹林采伐毛竹 24 株, 共采伐毛竹 72 株。毛竹伐倒后, 按秆、枝、叶、根、竹蔸(秆基+秆柄)分别称取鲜质量, 然后各取一部分带

回实验室测定含水率。生物量公式为: $w_1 = \sum_{i=1}^n n_i w_i$ 。其中 w_1 为毛竹的生物量, n_i 为 i 龄竹株数, w_i 为 i 龄

标准竹生物量, i 为竹龄。竹鞭生物量(w_2)的测定采用挖掘法。沿样地对角线设置 1 m × 1 m 的小样方 5 个, 隔 20 cm 为 1 层, 逐层挖出鞭和鞭根, 洗净泥土后滤干称鲜质量, 取一部分带回实验室测定样品含水率。灌木层和草本层生物量采用收割法, 在标准地内沿对角线“S”型布设 5 点个 1 m × 1 m 的小样方, 收割样方内所有的灌木和草本, 称其鲜质量, 并带回 1.0 kg 灌木、草本样品测其含水量, 以测其干质量。根系生物量采用样方法挖取、洗净、烘干称量推算而来。

1.2.3 凋落物现存量 凋落物现存量采用样方收集法测定: 样地内沿对角线方向设置 1 m × 1 m 小样方

5个, 收集样方内的凋落物, 测定样方的现存量, 根据样方的凋落物现存量推算样地凋落物存量。

1.3 数据处理与分析

数据处理使用 SPSS 13.0 统计分析软件中的相关程序, 文中图表及标准误差值为 Excel 2003 所得。

2 结果与分析

2.1 长期施肥对毛竹林胸径的影响

3种类型竹林毛竹在径级上的分布表现为开口向下的抛物线型变化, 但径阶分布幅度不一致, 林分 I 分布在 7~13 cm, 林分 II 分布在 7~16 cm, 林分 III 分布在 7~15 cm(图 1), 施肥增大了毛竹径级分布范围, 大径级毛竹增多。其中, 在林分 I 中, 78.13%的毛竹胸径分布在 8.5~11.5 cm, 在林分 II 中, 64.97%的毛竹胸径分布在 10.5~13.5 cm。在林分 III 中, 68.51%的毛竹胸径分布在 10.5~13.5 cm, 施肥使毛竹林的平均胸径向大径级方向转移, 且施肥时间越长, 胸径为 10.5~13.5 cm 的毛竹的株数越多。新生竹株数分配的趋势与整个林分的变化趋势类似, 林分 I 的新生竹胸径分布为 6.5~14.5 cm, 其中胸径为 9.5~10.5 cm 的株数最多, 占新生竹总株数的 33.48%; 林分 II 的新生竹胸径分布为 6.5~15.5 cm, 其中胸径为 11.5~12.5 cm 的株数最多, 占新生竹总株数的 24.90%; 林分 III 的新生竹胸径分布为 9.5~15.5 cm, 其中胸径为 12.5~13.5 cm 的株数最多, 占新生竹总株数的 37.93%(图 2)。可见: 施肥可以显著提高毛竹林的胸径, 随着施肥时间的进一步延长, 径级分布范围缩小, 大径毛竹株数增多。

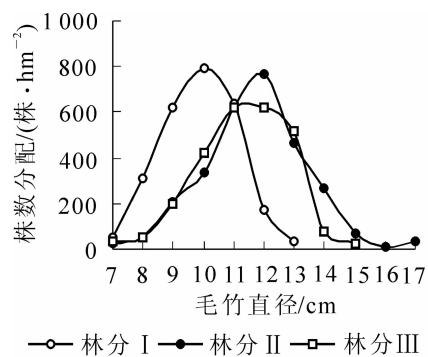


图 1 不同类型毛竹林株数的径级分布

Figure 1 Diameter class distribution of bamboo numbers in forest with fertilization time

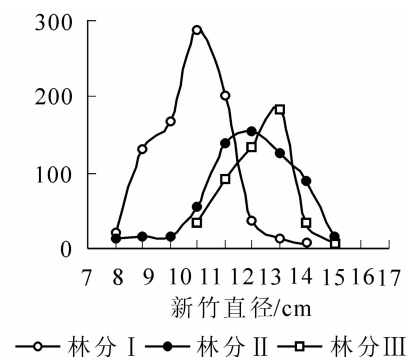


图 2 新生毛竹株数的径级分布

Figure 2 Diameter class distribution of annual bamboo numbers in forest with fertilization time

2.2 长期施肥对毛竹林分生物量构型的影响

施肥时间不同, 林分的生物量存在较大差异。3种林分生物量的排列顺序为林分 II > 林分 III > 林分 I, 分别为 101.347 8, 91.376 0 和 60.697 0 t·hm⁻², 生物量在器官间分配的顺序均为: 竹秆 > 竹根 > 竹枝 > 竹笋 > 竹鞭 > 竹叶 > 鞭根(表 1)。长时间施肥毛竹林竹秆生物量与总生物量比例有下降趋势, 而枝、叶、根、笋生物量比例有上升的趋势。竹材主要的经济组分为竹秆, 竹秆生物量比例的下降, 可能降低施肥的经济增益。

表 1 不同施肥时间毛竹林生物量分布

Table 1 Biomass distribution in forest with fertilization time

林分类型	立竹密度/ (株·hm ⁻²)	竹秆		枝		叶		竹根		竹笋		合计	
		质量/ (t·hm ⁻²)	%	质量/ (t·hm ⁻²)	%	质量/ (t·hm ⁻²)	%	质量/ (t·hm ⁻²)	%	质量/ (t·hm ⁻²)	%	质量/ (t·hm ⁻²)	%
I	2 629.17	39.979 2	65.87	5.962 0	9.82	3.042 5	5.01	6.223 2	10.25	5.490 1	9.05	60.697 0	100
II	2 833.33	66.785 1	65.90	9.891 5	9.76	5.129 6	5.06	10.197 2	10.06	9.344 5	9.22	101.347 8	100
III	2 566.67	58.542 7	64.07	9.358 6	10.24	4.825 4	5.28	9.789 2	10.71	8.860 2	9.70	91.376 0	100

2.3 长期施肥对灌木、草本层生物量的影响

灌木层生物量的排列顺序为林分 III > 林分 I > 林分 II, 分别为(1 643.37±142.15), (1 543.70±72.62),

(389.35 ± 32.42) $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (表 2)。未施肥林地转变为施肥林地后, 灌木生物量急剧下降, 随着施肥时间的延长, 灌木生物量逐渐回升, 这可能和施肥前要进行劈杂垦复有关。灌木枝和叶生物量与灌木层生物量比例的排列顺序为林分 III > 林分 I > 林分 II, 根生物量所占比例排列顺序为林分 II (45.02%) > 林分 I (44.46%) > 林分 III (38.67%)。长期施肥可以增加枝、叶生物量比例, 降低根的生物量比例。草叶生物量比例随着施肥时间的延长而降低, 草根生物量比例呈升高趋势。

表 2 不同类型毛竹林灌草生物量

Table 2 Biomass distribution of shrub layer and grass layer

林分 类型	灌木层生物量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)				草本层生物量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)			合计
	枝	叶	根	小计	叶	根	小计	
I	454.71 ± 19.02	589.32 ± 25.57	499.67 ± 28.03	$1\ 543.70 \pm 72.62$	728.56 ± 59.29	439.52 ± 46.30	$1\ 168.08 \pm 105.59$	$2\ 711.78 \pm 178.21$
II	93.23 ± 5.37	120.83 ± 9.53	175.28 ± 17.52	389.35 ± 32.42	538.72 ± 32.36	325.8 ± 29.08	864.56 ± 61.45	$1\ 253.91 \pm 93.86$
III	440.24 ± 41.06	570.56 ± 44.54	632.57 ± 56.55	$1\ 643.37 \pm 142.15$	549.73 ± 42.57	444.15 ± 42.01	993.88 ± 84.58	$2\ 637.25 \pm 226.73$

2.4 长期施肥对凋落物现存量的影响

3 种类型毛竹林凋落物现存量随着施肥时间的延长而升高, 林分 I, 林分 II, 林分 III 的凋落物现存量分别为 3.79, 4.07 和 $6.64 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (图 3), 施肥竹林生产力较大, 采伐剩余物较多。竹林凋落物对于竹林生态系统的物质循环和能量流动具有重要的意义, 是毛竹林长期生产力保持的重要因子。凋落物越多, 其养分归还潜力越大, 施肥竹林在具有较大生产力的同时, 具有较强的养分归还能力, 是毛竹林维持长期生产力的重要手段。

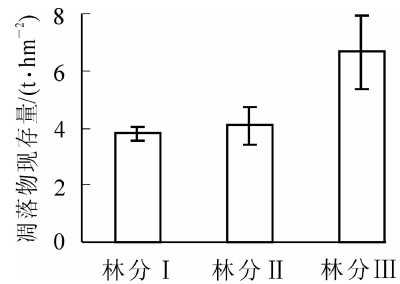


图 3 不同类型毛竹林凋落物量

Figure 3 Amount of litters in bamboo forest with fertilization time

3 结论与讨论

施肥是提高竹林产量的有效手段, 可以显著提高竹林的平均胸径和生物量, 其中短期施肥竹林胸径分异明显, 随着施肥时间的延长, 胸径差异缩小。研究表明: 施肥可以显著提高林木的生产力, 平均为 30%~50%, 最高可达 500%^[10]。洪伟等^[1] 研究表明: 毛竹专用复合肥可以提高毛竹林经济效益 35% 左右。本研究进一步证实竹林施肥对林分生产力提高的效果。施肥还改变了竹林生物量的分配, 长期施肥竹林竹秆生物量与总生物量的比例有下降趋势, 而枝、叶、根、笋生物量比例上升, 这与已有的研究结果类似^[11-12]。竹材主要的经济组分为竹秆, 竹秆生物量比例的下降, 可能降低施肥的经济增益。短期施肥明显降低竹林灌木、草本层的生物量, 随着施肥时间的延长, 生物量有所回升。林下植被虽然在林分中的重要值较低, 但是林下植被的物种多样性和生物量会影响到土壤营养元素和微生物组成, 进而会影响林分的生长和发育动态^[13], 尤其在养分循环过程中起重要的作用^[14-16]。经营措施可能对生物多样性产生负面影响^[17], 施肥对林分长期生产力的影响还要从生物多样性、养分循环、土壤理化性质等方面进行系统研究。施肥增加了竹林凋落物存量。竹林凋落物对于竹林生态系统的物质循环和能量流动具有重要的意义, 凋落物分解归还的养分元素是竹林维持自身生长所需养分的重要来源之一^[18-21], 是毛竹林长期生产力保持的重要因子。凋落物量与养分归还量密切相关, 占养分归还总量的大部分^[22], 施肥毛竹林较大的凋落物质量反映了其具有较大的养分归还潜力。但凋落物分解受凋落物质量^[23-24]、分解动物群落、细菌、真菌和土壤动物区系^[25]等影响, 特别是叶片氮浓度和植物组织内的碳氮比^[26-27]、木质素与氮素的比值^[28-29]对凋落物的养分释放速度有重要的影响, 不同施肥时间毛竹林、灌木层、草本层生物量以及灌木和草本层的生物多样性都存在差异, 可能造成凋落物质量的差异, 进而影响到凋落物的养分归还速度, 因而施肥对凋落物质量以及养分归还的影响需进一步研究。

参考文献:

- [1] 洪伟, 陈辉, 吴承祯. 毛竹专用复合肥研究[J]. 林业科学, 2003, **39** (1): 81 - 85.
HONG Wei, CHEN Hui, WU Chengzhen. A study on the compound fertilizer for *Phyllostachys pubescens* [J]. *Sci Silv Sin*, 2003, **39** (1): 81 - 85.
- [2] 顾小平, 吴晓丽, 汪阳东. 毛竹材用林高产优化施肥与结构模型的建立[J]. 林业科学, 2004, **40** (3): 96 - 101.
GU Xiaoping, WU Xiaoli, WANG Yangdong. The optimal models of high-yields with fertilization and the structure of moso bamboo stands for culm-producing [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (3): 96 - 101.
- [3] 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** (A01): 53 - 57.
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** (A01): 53 - 57.
- [4] 楼一平, 盛炜彤, 萧江华. 我国毛竹林长期立地生产力研究问题的评述[J]. 林业科学研究, 1999, **12** (2): 172 - 178.
LOU Yiping, SHENG Weitong, XIAO Jianghua. Study of long-term site productivity of managed moso bamboo forests in China [J]. *For Res*, 1999, **12** (2): 172 - 178.
- [5] 楼一平. 毛竹林长期立地生产力评价和预测研究的评述[J]. 竹子研究汇刊, 1998, **17** (4): 31 - 35.
LOU Yiping. Evaluation and prediction of long-term site productivity of managed moso bamboo forests; a review [J]. *J Bamboo Res*, 1998, **17** (4): 31 - 35.
- [6] 楼一平, 吴良如, 邵大方, 等. 毛竹纯林长期经营对林地土壤肥力的影响[J]. 林业科学研究, 1997, **10** (2): 125 - 129.
LOU Yiping, WU Liangru, SHAO Dafang, *et al.* Effect of long-term management of pure *Phyllostachys pubescens* stands on soil fertility [J]. *For Res*, 1997, **10** (2): 125 - 129.
- [7] 陈双林, 萧江华, 薛建辉. 竹林水文生态效应研究综述[J]. 林业科学研究, 2004, **17** (3): 399 - 404.
CHEN Shuanglin, XIAO Jianghua, XUE Jianhui. A review on hydrological effects of bamboo stand [J]. *For Res*, 2004, **17** (3): 399 - 404.
- [8] 范少辉, 刘广路, 漆良华, 等. 闽西北不同经营时间毛竹林土壤渗透性研究[J]. 水土保持学报, 2010, **23** (1): 24 - 27.
FAN Shaohui, LIU Guanglu, QI Lianghua, *et al.* Soil infiltration characteristics of *Phyllostachys pubescens* forests with different operating time in northwest of Fujian Province [J]. *J Soil Water Conserv*, 2010, **23** (1): 24 - 27.
- [9] 刘广路, 范少辉, 官凤英, 等. 不同劈草时间毛竹林生产力及土壤变化特征[J]. 山地学报, 2010, **28** (6): 704 - 711.
LIU Guanglu, FAN Shaohui, GUAN Fengying, *et al.* The distribution pattern of productivities and soil characteristics of *Phyllostachys pubescens* plantations with weeding time [J]. *J Mount Sci*, 2010, **28** (6): 704 - 711.
- [10] NAMBIAR E K S, SQUIRE R, CROMER R T, *et al.* Management of water and nutrient relations to increase forest growth [J]. *For Econ Manage*, 1990, **30** (4): 486.
- [11] 樊后保, 李燕燕, 苏兵强, 等. 马尾松-阔叶树混交异龄林生物量与生产力分配格局[J]. 生态学报, 2006, **26** (8): 2463 - 2473.
FAN Houbao, LI Yanyan, SU Bingqiang, *et al.* Allocation pattern of biomass and productivity in the mixed uneven-aged stands of masson's pine and hardwood species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26** (8): 2463 - 2473.
- [12] 何东进, 洪伟, 吴承祯, 等. 武夷山毛竹天然林生物量与能量分配规律及其与人工林的比较研究[J]. 西北植物学报, 2003, **23** (2): 291 - 296.
HE Dongjin, HONG Wei, WU Chengzhen, *et al.* Study on biomass and energy distribution of natural *Phyllostachys heterocycla cv. pubescens* in Wuyi Mountains and its comparison with high-yield forest [J]. *Acta Boreali-Occident Sin*, 2003, **23** (2): 291 - 296.
- [13] 李春明, 杜纪山, 张会儒. 抚育间伐对森林生长的影响及其模型研究[J]. 林业科学研究, 2003, **16** (5): 636 - 641.
LI Chunming, DU Jishan, ZHANG Huiru. The effects of thinning on forest growth and model study [J]. *For Res*, 2003, **16** (5): 636 - 641.

- [14] 杨玉盛, 陈光水, 何宗明, 等. 杉木观光木混交林和杉木纯林群落细根生产力、分布及养分归还[J]. 应用与环境生物学报, 2002, **8** (3): 223 – 233.
YANG Yusheng, CHEN Guangshui, HE Zongming, *et al.* Production, distribution and nutrient return of fine roots in a mixed and a pure forest in subtropical China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2002, **8** (3): 223 – 233.
- [15] 盛炜彤, 范少辉. 杉木及其人工林自身特性对长期立地生产力的影响[J]. 林业科学研究, 2002, **15** (6): 629 – 636.
SHENG Weitong, FAN Shaohui. Impact of growth and development characters of Chinese fir and its plantation on the long-term site productivity [J]. *For Res*, 2002, **15** (6): 629 – 636.
- [16] 盛炜彤, 范少辉. 杉木人工林长期生产力保持机制研究[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 23.
- [17] BUONGIORNO J, DAHIR S, LU H C, *et al.* Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stands [J]. *For Sci*, 1994, **40** (1): 83 – 103
- [18] 郑郁善, 荣俊冬, 陈礼光, 等. 沿海沙地小叶龙竹林凋落物分解及养分归还动态 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2008, **37** (5): 487 – 490.
ZHENG Yushan, RONG Jundong, CHEN Liguang, *et al.* Dynamics of litter decomposition and nutrient return of *Dendrocalamus barbatus* forest in the coastal sandy site [J]. *J Fujian Agric For Univ*, 2008, **37** (5): 487 – 490.
- [19] 张梅, 郑郁善. 滨海沙地吊丝单竹林凋落物分解及养分动态研究[J]. 西南林学院学报, 2008, **28** (3): 4 – 7.
ZHANG Mei, ZHENG Yushan. Litter decomposition and nutrient dynamics of *Dendrocalamopsis vario-striata* plantation in coastal sandy area [J]. *J Southwest For Coll*, 2008, **28** (3): 4 – 7.
- [20] 王纪杰, 徐秋芳, 姜培坤. 毛竹凋落物对阔叶林土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 林业科学, 2008, **44** (9): 146 – 151.
WANG Jijie, XU Qiufang, JIANG Peikun. Impacts of litter of *Phyllostachy pubescens* on functional biodiversity of soil microorganism communities in broad-leaved forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, **44** (9): 146 – 151.
- [21] 傅懋毅, 方敏瑜, 谢锦忠, 等. 竹林养分循环(I)毛竹纯林的叶凋落物及其分解[J]. 林业科学研究, 1989, **2** (3): 207 – 213.
FU Maoyi, FANG Minyu, XIE Jinzhong, *et al.* Nutrient cycling in bamboo stands (I) leaf litter and its decomposition in pure *Phyllostachys pubescens* stands [J]. *For Res*, 1989, **2** (3): 207 – 213.
- [22] 刘文飞, 樊后保, 高春芬, 等. 连续年龄序列桉树人工林凋落物量及养分通量[J]. 生态学杂志, 2009, **28** (10): 1928 – 1934.
LIU Wenfei, FAN Houbao, GAO Chunfen, *et al.* Litter production and its nutrient fluxes in an age sequence of *Eucalyptus* plantations [J]. *Chin J Ecol*, 2009, **28** (10): 1928 – 1934.
- [23] 张德强, 叶万辉, 余清发, 等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究[J]. 生态学报, 2000, **20** (6): 938 – 944.
ZHANG Deqiang, YE Wanhui, YU Qingfa, *et al.* The litter-fall of representative forests of successional series in Dinghushan [J]. *Acta Ecol Sin*, 2000, **20** (6): 938 – 944.
- [24] KCHY M, WILSON S D. Litter decomposition and nitrogen dynamics in aspen forest and mixed-grass prairie [J]. *Ecol*, 1997, **78** (3): 732 – 739.
- [25] MEENTEMEYER V. The geography of organic decomposition rates [J]. *Ann Assos Am Geogr*, 1984, **74** (4): 551 – 560.
- [26] DAY T A, RUHLAND C T, XIONG F S. Warming increases aboveground plant biomass and C stocks in vascular-plant-dominated *Antarctic tundra* [J]. *Glob Change Biol*, 2008, **14** (8): 1827 – 1843.
- [27] AN Yuan, WAN Shiqiang, ZHOU Xuhui, *et al.* Plant nitrogen concentration, use efficiency, and contents in a tallgrass prairie ecosystem under experimental warming [J]. *Glob Change Biol*, 2005, **11** (10): 1733 – 1744.
- [28] SHAW M R, HARTE J. Control of litter decomposition in a subalpine meadow-sagebrush steppe ecotone under climate change [J]. *Ecol Appl*, 2001, **11** (4): 1206 – 1223.
- [29] 张东来, 毛子军, 张玲, 等. 森林凋落物分解过程中酶活性研究进展[J]. 林业科学, 2006, **42** (1): 105 – 109.
ZHANG Donglai, MAO Zijun, ZHANG Ling. Advances of enzyme activities in the process of litter decomposition [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42** (1): 105 – 109.