

闽西北不同类型毛竹林生物量分布格局

范少辉¹, 刘广路¹, 苏文会¹, 杜满义¹, 吴继林²

(1. 国际竹藤网络中心竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102; 2. 福建省永安市林业局, 永安 366000)

摘要: 以福建省天宝岩自然保护区的毛竹纯林 (I)、竹阔混交林 (II) 和竹针混交林 (III) 为研究对象, 对其生物量分布格局进行研究。结果表明, 不同类型毛竹林生物量和生产力不同, 林分 I、II 和 III 的生物量分别为 143 418.06、135 469.53 和 131 782.78 kg·hm⁻², 生产力分别为 59 786.55、54 921.44 和 38 418.68 kg·hm⁻²·a⁻¹, 毛竹林纯林化经营可以提高竹林的生产力。经营方式对毛竹林不同器官间生物量分配也有重要的影响, 毛竹纯林竹秆质量分数明显高于混交林的质量分数, 竹根质量分数低于混交林的质量分数。毛竹主要经济组分为竹秆, 纯林较高的竹秆质量分数, 保证了毛竹林较高的经济效益。不同类型毛竹林株数和生物量的径级分布特征不同, 毛竹纯林和竹阔混交林 > 49% 的毛竹胸径分布在 10.5~12.5 cm, 生物量占整个林分的 54.25% 和 53.71%, 而竹针混交林 54.90% 的毛竹分布在 9.5~11.5 cm, 生物量占林分的 54.34%, 竹阔混交毛竹林具有较高的生物量和生产力, 竹阔混交经营可能是一种较好的经营模式。

关键词: 毛竹林; 混交经营; 生物量和生产力; 分布格局

中图分类号: S795

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2011)06-0842-06

The biomass distribution of different *Phyllostachys edulis* forest types in Northwest of Fujian Province

FAN Shao-hui¹, LIU Guang-lu¹, SU Wen-hui¹, DU Man-yi¹, WU Ji-lin²

(1. Key Laboratory of Bamboo and Rattan Science and Technology, International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102; 2. Yong'an Forestry Bureau of Fujian Province, Yong'an 366000)

Abstract: The distribution pattern of biomass was studied in pure bamboo stand (I), bamboo stand mixed with broadleaves trees (II), and bamboo stand mixed with coniferous trees (III) in Yong'an county, Fujian Province. The result showed that the biomass and productivity of bamboo forest was in the order of I > II > III. The biomass of I, II, and III was 143 418.06, 135 469.53, and 131 782.78 kg·hm⁻², respectively. The productivity of I, II, and III was 59 786.55, 54 921.44, and 38 418.68 kg·hm⁻²·a⁻¹, respectively. The productivity of pure bamboo stand was higher than that of other bamboo forest types. The biomass distribution was different with different bamboo forests types. The stem mass fraction in pure bamboo forest was higher than the fraction in forest II and III, while the mass fraction of bamboo root and leaf was lower. The more economic benefits come from the higher stem mass fraction in forest I. The characteristics of bamboo number and biomass were different in different bamboo forest types. The DBH of I and II forest was mainly between 10.5 cm and 12.5 cm and biomass accounted for 54.25% and 53.71% of forest I and II. The DBH of III was mainly between 9.5 cm and 11.5 cm and biomass accounted for 54.34% in forest III. The biomass and productivity of bamboo stand mixed with broadleaves trees was higher, meanwhile the bamboo stand mixed with broadleaves trees had better physical and chemical properties of soil and better nutrient cycling characteristics. The bamboo stand mixed with broadleaves trees may be a better cultivation pattern.

Key words: *Phyllostachys edulis* forests; mixed operation; biomass and productivity; distribution pattern

收稿日期: 2011-05-06

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目专题 (2006BAD19B0104, 2006BAD19B0302) 和农业科技成果转化资金项目 (2011GB24320009) 共同资助。

作者简介: 范少辉, 男, 博士, 研究员, 博士生导师。E-mail: fansh@icbr.ac.cn

毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 林是我国重要的竹林资源类型, 具有生长快, 产量高, 用途广的特点。当前为了获得最大的经济效益, 竹林经营强度不断增大, 许多竹林由粗放经营转变为集约经营^[1], 纯林化经营作为提高竹林经济效益的重要手段在很多毛竹主产区得到了应用, 纯林化经营在提高竹林经济效益的同时, 也被许多学者认为是毛竹林地力退化的重要原因之一^[2-4]。研究表明, 毛竹林混交经营在一定程度上可以缓解毛竹林地力衰退^[5-10], 混交毛竹林具有较高的生产力^[11]、较大的生物多样性^[12]和系统稳定性^[13], 具有较好的水文功能^[14-15]和较强的抵抗病虫害的能力^[16]。混交毛竹林的结构可能对毛竹生长产生重要的影响, 有研究认为阔叶树的比例为 25%~35% 的竹林综合效益最高^[17], 但是有关混交毛竹林年龄、径级、生物量及生产力结构定量化研究还较少, 有关毛竹生物量、生产力的研究多集中在种群生物量结构^[18]、初级生产力估测^[19-20]、养分积累与分布^[21-22]及不同栽培措施毛竹林的凋落物量及分解^[23-25]等方面, 开展不同混交类型毛竹林结构因子的定量化研究, 可以揭示毛竹生长特征, 为毛竹林经济和生态功能之间的关系提供重要依据。因而, 本文以福建省天宝岩自然保护区不同类型毛竹林为研究对象, 对其林分结构特征和生物量分配格局进行研究, 以期揭示混交模式对林分结构特征和生物量分配格局的影响, 为制定更科学合理的毛竹林经营措施提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

福建省永安市天宝岩国家级自然保护区 (117°31'E—117°33.5'E, 25°55'N—25°58'N), 戴云山余脉, 中低山地貌, 海拔 580~1 604.8 m。亚热带东南季风气候型, 平均气温 23℃, 最低温 -11℃, 最高温 40℃, 无霜期 290 d 左右, 平均降水量 2 000 mm, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温在 4 520℃~5 800℃, 持续天数为 225~250 d, 空气相对湿度月均为 80% 左右。保护区有 8 种主要植被类型, 分别为常绿针叶林、常绿针阔叶混交林、落叶阔叶林、常绿阔叶林、竹林、灌草丛、沼泽湿地。其中, 竹林主要分布在海拔 800 m 以下, 毛竹覆盖率 96.8%, 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*) 和木荷 (*Schima superba*) 等树种。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查 2007 年 9 月在福建省永安市天宝岩国家级自然保护区一个小流域南坡上 (桂溪) 选择有代表性的毛竹纯林 (I)、竹阔混交林 (II) (混交比例 8:2, 混交树种为木荷)、竹针混交林 (III) (混交比例 8:2, 混交树种为杉木) 样地各 4 块, 样地大小为 20 m×20 m, 具体情况见文献^[10]。母岩类型为沉积岩, 土壤类型为黄红壤, 土层厚度 65~75 cm, 腐殖质厚度 4~5 cm, 土壤湿润较疏松。样地自 1996 年起, 每年劈草 1 次, 每 2 年施用毛竹专用肥 1 次 (总养分含量 $\geq 30\%$, N:P₂O₅:K₂O=9:5:6), 施肥用量为每株 0.25 kg, 蔸穴施, 穴深度为 40 cm。对样地进行调查, 记录毛竹的立竹密度、立竹胸径、树高、竹笋产量、经营历史等。为了使调查结果更准确, 2008 年 9 月对试验样地进行复查, 生物量与生产力的数据为 2 年平均所得。

1.2.2 生物量和生产力的测定 毛竹生物量采用收获法, 根据样地调查资料, 分别计算出毛竹纯林、竹阔混交林和竹针混交林地中 1~6 年生毛竹的平均胸径, 根据平均胸径每个年龄各选取 2 株作为标准竹, 每种类型林分伐标准竹 12 根, 共 36 根。毛竹伐倒后, 按秆、枝、叶称取鲜重, 然后各取一部分带回实验室测定含水率, 测定地上部分生物量。挖出竹蔸, 清除掉附着在竹蔸上的土壤, 小心剪断竹蔸上的根, 称取竹根和秆基+秆柄的鲜重, 取一部分带回实验室测定含水率, 测定竹蔸 (秆基+秆柄) 的生物量。竹鞭生物量的测定采用典型样方挖掘法。沿样地对角线设置 1 m×1 m 的小样方 5 个, 每 20 cm 为一层, 逐层挖出竹鞭和鞭根, 至无毛竹根系为止, 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, 竹鞭年龄根据颜色和毛竹年龄推断得出。

灌木层和草本层生物量采用收割法, 在标准地内沿对角线型布设 5 个 1 m×1 m 的小样方, 收割样方内所有的灌木和草本, 称其鲜重, 并采集 1.0 kg 灌木、草本样品测其含水量, 以测其干重。根系生物量采用样方法挖取、洗净、烘干称量推算而来。

乔木、灌木、草本层生产力, 根据其生物量和年龄推算所得^[26]。

1.2.3 混生树种的生物量与生产力 本研究毛竹林中伴生树种木荷的生物量 and 生产力计算方法见文献^[26], 杉木生物量采用南京林学院叶镜中等在洋口林场杉木生物量模型计算而来^[27]。

1.3 数据处理

数据处理采用 SPSS13.0 和 Excel 2003 完成。

2 结果与分析

2.1 不同混交类型单株毛竹生物量分配格局

不同竹林类型, 单株毛竹生物量分配格局差异较大(表1)。竹秆的排列顺序为 I > III > II, 竹叶和竹根的排列顺序为 III > II > I。纯林毛竹竹秆质

量分数明显高于混交林竹秆的质量分数, 竹根、竹叶质量分数低于混交林竹根质量分数。说明毛竹纯林化经营可以提高竹秆的质量分数, 降低竹叶和竹根质量分数, 反映了不同混交类型对毛竹生物量的分配有一定的影响, 混交经营有增大竹叶和竹根质量分数的趋势。

表 1 毛竹不同器官质量分数

Table 1 Mass fraction of different organs of moso bamboo

林分类型 Stand types	竹秆 Bamboo culm	竹枝 Bamboo branch	竹叶 Bamboo leaf	竹根 Bamboo root	竹蔸 Culm stump	合计 Total
I	68.67±2.57	9.54±1.55	4.47±1.48	8.14±1.98	9.18±2.02	100
II	65.16±4.59	10.57±1.96	4.52±2.23	9.84±5.46	9.91±2.44	100
III	65.67±1.36	8.69±1.38	5.14±1.22	11.40±1.30	9.10±0.74	100

表 2 不同类型毛竹林生物量分配格局

Table 2 The biomass distribution patterns of different moso bamboo forests

类型 Forest types	树种 Species	秆/干 Bamboo culm/trunk	枝 Branches	根 Roots	叶 Leaves
I	毛竹 <i>P.edulis</i>	85 905.19±9 441.71	12 664.66±1 394.83	13 560.79±1 418.85	6 537.90±731.32
II	毛竹 <i>P.edulis</i>	73 882.24±11 104.58	10 922.25±1 657.16	11 596.26±1 851.90	5 532.73±796.29
	木荷 <i>S.superba</i>	6 885.36	2 396.78	758.11	2 058.90
	合计 Total	80 767.60	13 319.03	13 655.15	6 290.84
III	毛竹 <i>P.edulis</i>	53 556.07±3 065.51	7 872.67±459.80	8 681.59±598.94	4 105.54±198.00
	杉木 <i>C.lanceolata</i>	32 303.50	2 730.94	1 564.86	5 638.45
	合计 Total	85 859.57	10 603.62	14 320.05	5 670.41

类型 Forest types	树种 Species	蔸 Culm stump	鞭 Bamboo rhizome	鞭根 Bamboo rhizome root	合计 Total
I	毛竹 <i>P.edulis</i>	12 026.80±1317.00	9 170.38±1007.90	3 552.35±390.43	143 418.06±15 700.13
II	毛竹 <i>P.edulis</i>	10 494.80±1 637.14	7 886.93±1 185.41	3 055.18±459.20	123 370.38±18 691.63
	木荷 <i>S.superba</i>	0	0	0	12099.16
	合计 Total	10 494.80	7 886.93	3 055.18	135 469.53
III	毛竹 <i>P.edulis</i>	7 397.37±461.52	5 717.11±327.24	2 214.65±126.76	89 545.02±5 225.96
	杉木 <i>C.lanceolata</i>	0	0	0	42237.76
	合计 Total	7 397.37	5 717.11	2 214.65	131 782.78

2.2 不同混交类型毛竹林生物量分配格局

3 种林分生物量的排列顺序为 I > II > III, 分别为 143 418.06、135 469.53、131 782.78 kg·hm⁻²(表2)。不同器官生物量质量分数的排列顺序为竹秆/树干(59.90%~65.15%) > 根(9.46%~10.87%) > 枝(8.05%~9.83%) > 蔸(5.61%~8.39%) > 竹鞭(4.34%~6.39%) > 叶(4.30%~4.64%) > 鞭根(1.68%~2.48%)。混交类型不同, 毛竹林分生物量分布格局不同, 竹秆/树干和根生物量质量分数的排列顺序为 III > II > I, 与毛竹单株秆质量分数的排列顺序(I > III > II)(表2)存在较大差异, 反映了混交的针叶和阔叶乔木树种树干生物量对整个林分生物量质量分数有较大影响。

2.3 不同类型毛竹林生产力格局

3 种林分生产力的排列顺序为 I > II > III, 分别为 59 786.55、54 921.44 和 38 418.68 kg·hm⁻²·a⁻¹, 毛竹纯林生产力最高, 竹阔混交林次之, 竹针混交林最少(表3)。不同器官年生产力的排列顺序与生物量累积排列顺序相同, 为竹秆/树干 > 根 > 枝 > 蔸 > 竹鞭 > 叶 > 鞭根, 叶生产力质量分数明显高于叶生物量的质量分数, 这种现象是由毛竹的生物学特性决定的, 新生毛竹 1 年换叶(第 1 年五月毛竹展叶, 第 2 年 5 月落叶), 其它年龄毛竹每 2 年换叶 1 次, 因而叶在竹林生产力中质量分数较高。

表 3 不同类型毛竹林生产力分配格局
Table 3 The productivity distribution patterns of different moso bamboo forests

类型 Forest types	树种 Species	秆/干 Bamboo culm/trunk	枝 Branches	根 Roots	叶 Leaves	kg·hm ⁻² ·a ⁻¹
I	毛竹 <i>P.edulis</i>	35 288.24±4 794.33	5 535.81±690.15	3 181.06±346.36	5 886.44±697.44	
II	毛竹 <i>P.edulis</i>	32 564.56±4 414.66	5 038.20±688.44	2 766.36±398.15	5 315.39±762.05	
	木荷 <i>S.superba</i>	32.45	11.55	3.65	9.55	
	合计 Total	32 597.01	5 049.75	2 770.02	5 324.93	
III	毛竹 <i>P.edulis</i>	22 663.68±1 372.37	3 505.26±217.67	2 052.77±99.00	3 723.58±239.02	
	杉木 <i>C.lanceolata</i>	110.65	9.45	5.53	19.53	
	合计 Total	22 774.33	3 514.71	2 058.30	3 743.11	

类型 Forest types	树种 Species	莛 Culm stump	鞭 Bamboo rhizome	鞭根 Bamboo rhizome root	合计 Total
I	毛竹 <i>P.edulis</i>	4 668.74± 29.46	3 767.02±511.80	1 459.24±198.26	59 786.55±7 814.99
II	毛竹 <i>P.edulis</i>	4 356.85±613.74	3 476.27±471.27	1 346.61±182.56	54 864.24±7 530.85
	木荷 <i>S.superba</i>	0	0	0	57.20
	合计 Total	4356.85	3476.27	1 346.61	54 921.44
III	毛竹 <i>P.edulis</i>	2 971.69±188.38	2 419.35±146.50	937.19±56.75	38 273.52±2 316.44
	杉木 <i>C.lanceolata</i>	0.00	145.16	0	42 237.76
	合计 Total	2 971.69	2 419.35	937.19	38 418.68

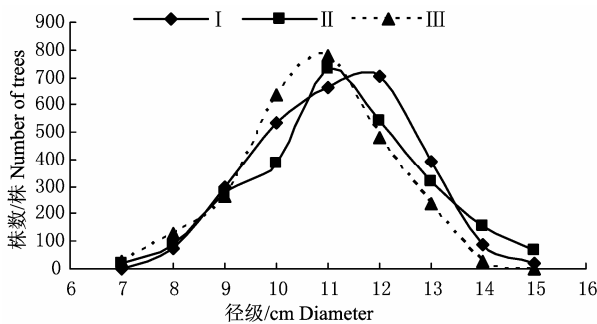


图 1 不同类型毛竹林株数的径阶分配

Figure 1 The bamboo number distribution in different diameters of different moso bamboo forests

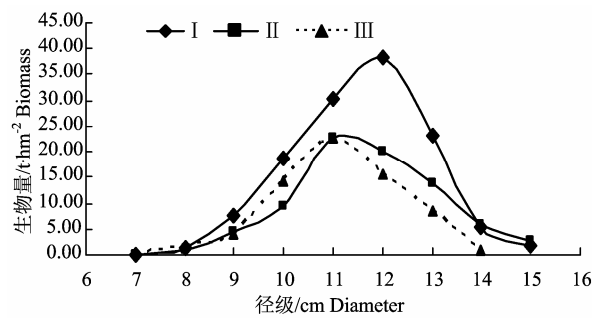


图 2 不同类型毛竹林生物量的径阶分配

Figure 2 The bamboo distribution in different diameters of different moso bamboo forests

2.4 不同类型毛竹生物量径级分布

3 种类型毛竹林径级上的株数分布均表现为中间多两端少的特点 (图 1 和图 2)。3 种林分立竹度的排列顺序为 I > II > III, 分别为 2 770、2 587 和 2 582 株·hm⁻², 其中林分 I 49.25% 的毛竹集中在 10.5~12.5 cm, 林分 II 49.03% 集中在 10.5~12.5 cm, 林分 III 54.90% 的毛竹集中在 9.5~11.5 cm, 毛竹纯林和竹阔混交毛竹的平均胸径较高。3 种林分径级上的生物量分布与株数分布规律相似, 毛竹纯林生物量的 54.25% 和竹阔混交林生物量的 53.71% 由 10.5~12.5 cm 内的毛竹构成, 竹针混交林的 54.34% 由 9.5~11.5 cm 的毛竹构成。

2.5 不同类型毛竹林生物量年龄分布

混交类型不同, 年龄分布不同, 林分 I 1 度 (1

年生毛竹)、2 度 (2-3 年生)、3 度 (4-5 年生) 毛竹的比例为 1.00:1.86:1.90, 林分 II 1 度、2 度、3 度毛竹的比例为 1.00:2.14:1.62, 林分 III 1 度、2 度、3 度毛竹的比例为 1.00:1.61:1.74 (表 4)。林分 I 和 III 株数比例排列顺序为 3 度 > 2 度 > 1 度, 林分 II 株数比例排列顺序为 2 度 > 3 度 > 1 度, 栽培模式不同毛竹林的年龄结构存在明显差异。生物量的年龄分配规律与株数分配规律不同, 林分 I 1 度、2 度、3 度毛竹的比例为 19:42:39, 林分 II 1 度、2 度、3 度毛竹的比例为 18:48:34, 林分 III 1 度、2 度、3 度毛竹的比例为 20:40:40, 1 度竹生物量比例明显低于株数比例, 可能是因为 1 度竹木材密度较小造成的, 随着年龄增大, 竹材密度升高, 因而 2、3 度竹生物量比例高于其株数比例。

表 4 不同类型毛竹林年龄分布
Table 4 The bamboo age distribution in different moso bamboo forests

项目 Item	林分类型 Forest types	毛竹年龄 The ages of bamboo					合计 Total
		1	2	3	4	5	
株数/株·hm ⁻² The numbers of bamboo	I	572.96	531.62	552.29	490.27	623.18	2 770.33
	II	549.74	530.52	630.47	588.19	288.33	2 587.24
	III	582.27	510.55	451.47	413.49	624.47	2 582.25
生物量/kg·hm ⁻² Biomass of bamboo	I	26 459.62	18 337.65	40 351.33	25 643.71	28 447.83	139 240.14
	II	18 591.60	13 962.77	35 285.92	22 616.71	11 879.64	102 336.63
	III	16 578.28	12 077.97	20 460.54	13 216.53	19 420.09	81 753.39

3 小结与讨论

不同类型毛竹林生物量和生产力不同,林分 I、II 和 III 的生物量分别为 143 418.06、135 469.53 和 131 782.78 kg·hm⁻², 生产力分别为 59 786.55、54 921.44 和 38 418.68 kg·hm⁻²·a⁻¹, 毛竹纯林生物量和生产力最高,竹阔混交林次之,竹针混交林最低,毛竹纯林化经营可以提高竹林的生产力。但也有研究表明,毛竹混交林改为纯林后,虽然在开始阶段能促进毛竹林的生产量,但是在一定的时期以后,竹林的生产量将会下降^[2],较长期毛竹纯林经营中,土壤肥力的主要指标总的呈下降趋势^[4],毛竹纯林化经营对毛竹林系统的综合影响还要进行长期的观测研究。混交类型对毛竹林不同器官间生物量的分配也有重要的影响,毛竹纯林竹秆质量分数明显高于混交林竹秆的质量分数,竹根质量分数低于混交林竹根质量分数。竹材主要的经济组分为竹秆,纯林较高的竹秆质量分数,保证了毛竹林较高的经济效益。经营方式影响生物量和生产力的分配格局在前人的研究中也体现,樊后保等发现马尾松纯林与马尾松阔叶树混交林生物量空间构型显著不同^[28],何东进等发现人工经营的毛竹林比天然毛竹林有更高的地上部分生物量比例和较低的地下部分生物量比例^[29]。

不同类型毛竹林株数和生物量的径级分布特征不同,毛竹纯林和竹阔混交林>49%的毛竹胸径分布在 10.5~12.5 cm,生物量分别占林分的 54.25%和 53.71%,而竹针混交林 54.90%的毛竹分布在 9.5~11.5 cm,生物量占林分的 54.34%。与针阔混交林相比,毛竹纯林和竹阔混交林的毛竹生产力更高。已有研究表明竹阔混交林土壤具有较好的理化性质^[9, 14, 30]和较强的养分归还能力^[10],且具有较高的生物量和生产力,可能是一种较好的可持续经营模式。林分的树种组成、株数、胸径、年龄等因子是反应林分功能和动态的重要指标^[31],合理的林分结

构可以促进林分更新,实现林分可持续经营^[32],竹阔混交模式可以作为毛竹林分结构调整的借鉴。混交树种^[33-34]和混交比例^[35-36]对林分结构和林分地力的维持有重要的影响,本研究阔叶混交树种为木荷,木荷为常绿阔叶树种,其年凋落叶量少于南酸枣等落叶阔叶树种,今后应加强毛竹阔叶混交树种筛选的研究。

参考文献:

- [1] 徐秋芳,徐建明,姜培坤. 集约经营毛竹林土壤活性有机碳库研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 15-17, 21.
- [2] 楼一平,盛炜彤. 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 刘广路,范少辉,漆良华,等. 不同类型毛竹林土壤渗透性研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 44-47.
- [6] 肖复明,范少辉,汪思龙,等. 毛竹林土壤有机碳及微生物量碳特征研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 128-131.
- [7] 张昌顺,范少辉,谢高地. 闽北典型毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 林土壤酶活性及其与土壤肥力的关系[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2): 236-248.
- [8] 张昌顺,范少辉,漆良华,等. 闽北典型毛竹林土壤微团聚体分形特征研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 170-175.
- [9] 刘广路,范少辉,官凤英,等. 闽西北不同类型集约经营毛竹林土壤环境特征[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(5): 17-22.
- [10] 刘广路,范少辉,漆良华,等. 闽西北不同类型毛竹林养分分布及生物循环特征[J]. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2155-2161.
- [11] 陈慈禄. 泡桐毛竹混交林混交效果试验研究[J]. 西南林学院学报, 2003, 23(2): 31-33.
- [12] Zhang C S, Xie G L, Fan S H, et al. Variation in vegetation structure and soil properties, and the relation between

- understory plants and environmental variables under different *Phyllostachys pubescens* Forests in Southeastern China [J]. *Environmental Management*, 2010, 45(4): 779-792.
- [13] 郑成洋, 何建源, 罗春茂, 等. 不同经营强度条件下毛竹林植物物种多样性的变化[J]. *生态学杂志*, 2003, 22(6): 1-6.
- [14] 张昌顺, 范少辉, 官凤英, 等. 闽北毛竹林的土壤渗透性及其影响因子[J]. *林业科学*, 2009, 45(1): 36-42.
- [15] 张昌顺, 范少辉, 谢高地. 闽北毛竹林枯落物层持水功能研究[J]. *林业科学研究*, 2010, 23(2): 259-265.
- [16] 张艳璇, 张智强, 斋藤裕, 等. 混交林和纯竹林与毛竹害螨爆发成灾关系研究[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(7): 1161-1165.
- [17] 廖军, 张卫栋, 薛建辉, 等. 竹阔混交林混交类型的综合评价[J]. *江西农业大学学报*, 2002, 24(3): 346-349.
- [18] 彭在清, 刘建斌. 福建永春毛竹种群生物量和能量研究[J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2002, 41(5): 579-583.
- [19] 黄启民, 杨迪蝶. 毛竹林的初级生产力研究[J]. *林业科学研究*, 1993, 6(5): 536-540.
- [20] 李振基, 林鹏. 闽南毛竹林的生物量和生产力[J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 1993, 32(6): 762-767.
- [21] 吴家森, 周国模, 钱新标, 等. 不同经营类型毛竹林营养元素的空间分布[J]. *浙江林学院学报*, 2005, 22(5): 486-489.
- [22] 吴家森, 周国模, 徐秋芳, 等. 不同年份毛竹营养元素的空间分布及与土壤养分的关系[J]. *林业科学*, 2005, 41(3): 171-173.
- [23] 傅懋毅, 方敏瑜. 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.
- [24] 高志勤. 不同毛竹纯林枯落物养分含量和贮量的比较[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2006, 30(3): 51-54.
- [25] 黄启堂, 陈爱玲, 贺军. 不同毛竹纯林枯落物养分含量和贮量的比较[J]. *福建林学院学报*, 2006, 26(4): 299-302.
- [26] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [27] 叶镜中, 姜志林, 周本琳, 等. 福建省洋口林场杉木林生物量的年变化动态[J]. *南京林业院学报*, 1984(4): 1-9.
- [28] 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.
- [29] 何东进, 蓝斌, 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.
- [30] 范少辉, 刘广路, 官凤英, 等. 不同管护类型毛竹林土壤渗透性能的研究[J]. *林业科学研究*, 2009, 22(4): 568-573.
- [31] 张艳艳, 李宝银, 吴承祯, 等. 阔叶林林分结构特征 I. 林分年龄与林分密度的关系[J]. *福建林学院学报*, 2007, 27(1): 44-47.
- [32] Noguchi M, Yoshida T. Tree regeneration in partially cut conifer-hardwood mixed forests in northern Japan: roles of establishment substrate and dwarf bamboo [J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 199(2/3): 335-344.
- [33] 傅国建. 毛竹肉桂混交对毛竹林初期生长的影响 [J]. *林业勘察设计*, 2002 (1): 89-91.
- [34] 刘文忠. 天然毛竹混交林改造效果研究[J]. *福建林业科技*, 2001, 28(3): 78-80.
- [35] 郑郁善, 李仁昌. 毛竹杉木混交林经营模式决策分析 [J]. *福建林学院学报*, 2000, 20(2): 105-109.
- [36] 李正才, 傅懋毅, 谢锦忠, 等. 毛竹竹阔混交林群落地力保持研究[J]. *竹子研究汇刊*, 2003, 22(1): 32-37.