

## 坡向坡位对毛竹林生物量与碳储量的影响

范叶青<sup>1,2</sup>, 周国模<sup>1,2</sup>, 施拥军<sup>1,2</sup>, 董德进<sup>1,2</sup>, 周宇峰<sup>1,2</sup>

(1. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 利用双因素方差分析法研究坡向、坡位对毛竹 *Phyllostachys edulis* 林生物量与碳储量的影响。结果表明: ① 坡向、坡位对毛竹生物量、竹林生态系统碳储量及其空间分配均有一定程度的影响, 坡位影响比坡向更显著。具体地, 坡向对植被碳储量影响显著( $P<0.05$ ), 对土壤碳储量和生态系统碳储量影响较显著( $P<0.10$ ), 坡位对植被碳储量影响极显著( $P<0.01$ ), 对土壤碳储量和生态系统碳储量影响显著( $P<0.05$ ), 但两者交互作用不显著; ② 不同水平上的指标均值分析显示, 毛竹林生态系统碳储量阳坡大于阴坡、中下坡大于上坡。其中阳坡下坡的林分密度(3 817 株·hm<sup>-2</sup>)和林分生物量(48.705 t·hm<sup>-2</sup>)均值最大, 阳坡中坡的土壤有机质质量分数(22.500 g·kg<sup>-1</sup>), 土壤碳储量(107.273 t·hm<sup>-2</sup>)和生态系统碳储量(156.111 t·hm<sup>-2</sup>)均值最大, 平均胸径和土壤容重均值变化不明显; ③ 在毛竹林生态系统碳储量组成方面, 18 个样地生态系统碳储量均值为  $(101.352 \pm 14.980) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  (变异系数为 14.78%), 其中植被占 20.24%, 土壤占 79.76%。图 3 表 4 参 19

**关键词:** 森林生态学; 毛竹; 坡向; 坡位; 生物量; 植被碳储量

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2012)03-0321-07

## Relationship of slope aspect and position on biomass and carbon storage in a *Phyllostachys edulis* stand

FAN Ye-qing<sup>1,2</sup>, ZHOU Guo-mo<sup>1,2</sup>, SHI Yong-jun<sup>1,2</sup>, DONG De-jin<sup>1,2</sup>, ZHOU Yu-feng<sup>1,2</sup>

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** The impact of slope aspect and position on biomass and carbon storage in a *Phyllostachys edulis* stand was tested by a two-factor analysis of variance (ANOVA). Results of the ANOVA showed: (1) no interaction between slope aspect and position. Stand carbon storage was significant for slope aspect ( $P<0.05$ ) and slope position ( $P<0.01$ ) with soil carbon storage and forest carbon storage significant for slope position ( $P<0.05$ ). (2) Comparisons of mean index values at different locations showed that forest carbon storage on sunny slopes was larger than on shaded slopes and greater on mid to low slopes than on upper slopes. The maximum mean stand density (3 817 tree·hm<sup>-2</sup>) and stand biomass (48.705 t·hm<sup>-2</sup>) were found on sunny, low slopes with the maximum mean soil organic matter content (22.500 g·kg<sup>-1</sup>), soil carbon storage (107.273 t·hm<sup>-2</sup>), and forest carbon storage (156.111 t·hm<sup>-2</sup>) found on sunny, mid slopes. Slope position and shading did not affect the mean diameter at breast height (DBH) or soil bulk density. (3) For spatial distribution, the mean forest carbon storage of 18 sample plots was  $(101.352 \pm 14.980) \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  (14.78%) of which 20.24% was in the standing

---

收稿日期: 2011-07-20; 修回日期: 2011-10-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972356); 国家重点基础研究发展计划("973" 计划)项目(2011CB302705); 浙江省重点科技创新团队资助项目(2010R50030); 浙江农林大学科研发展基金资助项目(2010FK024)

作者简介: 范叶青, 从事森林碳汇经营技术研究。E-mail: fanyq@zafu.edu.cn。通信作者: 施拥军, 副教授, 从事森林碳汇计量与监测研究。E-mail: syjwh@163.com

biomass, and the remainder was in the soil. [Ch, 3 fig. 4 tab. 19 ref.]

**Key words:** forest ecology; *Phyllostachys edulis*; slope aspect; slope position; biomass; carbon storage of vegetation

毛竹 *Phyllostachys edulis* 为禾本科 Gramineae 多年生常绿树种, 喜温暖湿润的气候条件, 一般栽植在低山缓坡丘陵地带。它生长更新快, 自然成熟期短, 5~6 a 即可用材砍伐, 是中国南方重要的森林资源。毛竹具有极强的固碳能力, 年固碳量约为其他速生树种(如热带山地雨林, 杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 台湾杉木 *Abies kawakamii*)的 1.33~2.46 倍<sup>[1-3]</sup>。据全国第 7 次森林资源连续清查资料(2004~2008), 竹林(约 72% 为毛竹林)碳储量为 2.0 亿 t, 占中国森林资源碳储量总量的 2.54%<sup>[4]</sup>, 竹林在温室气体减排和森林碳汇中发挥积极作用<sup>[5-6]</sup>。近年来, 有关竹林固碳能力及其影响因素研究较为多见, 如自然环境、竹林经营方式、林分结构、凋落物分解、土壤呼吸等都是影响竹林生态系统碳循环和碳平衡的重要方面<sup>[2,7-10]</sup>。自然环境是植物生长更新的重要条件<sup>[10]</sup>, 温度、降水是限制陆地生态系统植被碳储量和碳密度变化的重要因子<sup>[11-12]</sup>, 温度与坡向、海拔有关<sup>[10]</sup>, 坡向、坡位对水曲柳 *Fraxinus mandshurica* 生长与生物量分配有重要影响<sup>[13]</sup>, 坡向还直接关系到植被分布, 对森林土壤有机碳含量、土壤碳分配有一定影响<sup>[14-15]</sup>。上述研究表明: 坡向、坡位、海拔等地形地势因子通过温度、降水等作用, 从一定程度上影响和制约了某些陆地植被、土壤的碳储量和分布。研究毛竹适宜生长的自然环境和立地条件, 对于改善竹林经营方式, 提高其固碳能力具有重要的现实意义。本研究关注坡向、坡位对毛竹林生物量和碳储量的影响及其显著性水平。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地设在浙江省临安市板桥乡, 地理坐标约为 30°14'N, 119°42'E, 样地海拔为 100~250 m。该区域属亚热带季风气候, 年平均气温为 15.9 ℃, 年降水量 1 424 mm, 无霜期 236 d。地形地貌为低山丘陵, 森林覆盖率达 65%, 主要树种为毛竹。土壤为红壤土类。

试验区内竹林隔年留养新竹, 隔年采伐老竹。一般采伐 5~6 年生老竹, 因而现存竹林常是 1, 3, 5 年生类型或 2, 4, 6 年生类型。除了坡向、坡位, 竹林其他立地条件、经营类型等较为一致, 立竹密度为 2 400~4 300 株·hm<sup>-2</sup>。林下少灌木, 多杂草。

### 1.2 样地设置与野外调研

排除林缘、沟渠、林间道路影响, 选择毛竹林分生长良好、土壤结构相近的南、北向 2 个坡面, 设立典型标准样地, 其面积为 30 m × 30 m, 样地调查范围控制在半径为 500 m 的圈内。由于采用双因素方差分析法, 坡向因子分 2 个水平, 坡位因子分 3 个水平, 实验重复 3 次, 因此, 试验区内共设置毛竹林标准样地 18 个( $2 \times 3 \times 3 = 18$ )。考虑毛竹生长的特殊性, 为减少相邻样地毛竹林竹鞭相互蔓延而产生的干扰, 提高实验数据的可靠性, 实验取样数据从每块样地中心 20 m × 20 m 林地中取得, 各样地四周外围 5 m 宽“回”形条块作为缓冲带, 不采集数据。

2010 年 7 月进行野外调研, 完成 18 个标准样地林分每木调查和土壤采样。每木检尺记录样方内每株毛竹的胸径、年龄(度)数据, 以备求算林分密度、平均胸径、林分生物量、碳储量等指标值。此次共调查毛竹 2 356 株(表 1), 其中林分密度按毛竹度数统计: I 度竹为 1 年生毛竹, II 度为 2~3 年生, III 度为 4~5 年生。土壤采样时, 选择样方中具有代表性的典型地段(如中心位置附近), 用环刀法采集 0~10, 10~30 和 30~50 cm 剖面点的土壤容重样品和农化分析样品各 1 份, 存放在专用塑料袋中做好标记, 带回实验室备用, 同时估测各样地土壤平均厚度。

### 1.3 土样室内分析

通过分析土壤有机质质量分数和土壤容重值, 估算毛竹林土壤碳储量。土壤农化分析样经自然风干、过筛后, 采用重铬酸钾外加热氧化法测定土壤有机质质量分数<sup>[16]</sup>。土壤容重采用烘箱烘干法测得。分析结果见表 1。表 1 中土壤容重、有机质质量分数分别为 0~10, 10~30 和 30~50 cm 土层土样的平均值。

表 1 样地概况

Table 1 Basic information of the sample plots

样地编号	坡向	坡位	林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> )				平均胸径/cm	土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	土壤有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )
			I 度	II 度	III 度及以上	小计			
1	阳坡	上坡	875	1 575	1 025	3 475	9.7	1.764 9	17.3
2	阳坡	上坡	525	1 600	1 200	3 325	9.1	1.581 2	16.1
3	阳坡	上坡	675	1 925	700	3 300	8.8	1.686 0	13.6
4	阳坡	中坡	575	1 325	1 350	3 250	9.5	1.604 8	28.9
5	阳坡	中坡	775	1 925	1 325	4 025	8.0	1.635 2	22.6
6	阳坡	中坡	775	1 850	1 000	3 625	8.3	1.734 4	16.0
7	阳坡	下坡	700	1 775	1 150	3 625	9.0	1.640 3	17.6
8	阳坡	下坡	950	1 350	1 275	3 575	10.1	1.596 5	16.2
9	阳坡	下坡	950	2 650	650	4 250	8.8	1.611 9	17.4
10	阴坡	上坡	600	1 725	1 050	3 375	8.3	1.705 5	20.2
11	阴坡	上坡	450	1 450	850	2 750	8.7	1.649 2	19.5
12	阴坡	上坡	375	1 700	950	3 025	9.0	1.611 7	12.5
13	阴坡	中坡	600	1 100	850	2 550	9.0	1.672 4	13.5
14	阴坡	中坡	450	1 425	600	2 475	9.5	1.505 8	23.5
15	阴坡	中坡	675	1 925	475	3 075	9.2	1.492 9	17.6
16	阴坡	下坡	850	1 650	1 050	3 550	8.8	1.537 5	13.9
17	阴坡	下坡	925	1 000	500	2 425	11.3	1.915 4	8.5
18	阴坡	下坡	900	1 450	875	3 225	10.7	1.943 3	12.7

#### 1.4 碳储量估算方法

毛竹生态系统中的碳储量主要由植被碳储量和土壤碳储量组成。考虑试验区样地林下情况和林下层碳储量所占比例不足毛竹林生态系统碳储量的 5%<sup>[3]</sup>, 本研究不考虑灌木层、草本层、凋落物层的碳储量, 植被碳储量以毛竹林分碳储量计算。

林分碳储量由生物量乘以碳含量系数 0.504 得到<sup>[3]</sup>, 生物量则根据样地内所有单株毛竹生物量求和得到<sup>[17]</sup>。单株毛竹生物量计算模型如公式所示:  $M=747.787D^{2.771}[0.148A/(0.028+A)]^{5.555}+3.772$ 。其中:  $M$  表示单株毛竹生物量( $\text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$ ),  $D$  表示胸径(cm),  $A$  表示竹龄(度)。计算过程中, 胸径、竹龄数据为单株毛竹的实测胸径和实际生长度数。

土壤碳储量采用王绍强等<sup>[18]</sup>提出的土壤剖面实测法求得, 即根据外业调查获得的土壤平均厚度和室内分析获得的土壤理化性质进行估算, 碳含量由有机质含量乘以 Bemmelan 换算系数(即  $0.58 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ )得到。具体估算模型如以下公式所示: 土壤碳储量=土壤面积×土壤平均厚度×土壤平均容重×土壤有机质×转换系数。即:  $S_{\text{OC}} = D_d \times S_d \times S_{\text{OM}} \times 0.58$ 。其中:  $S_{\text{OC}}$  表示单位面积土壤碳储量( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ), 土壤面积按  $1 \text{ hm}^2$  计算,  $D_d$  表示土壤平均厚度(cm),  $S_d$  表示实验测得的土壤平均容重( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ),  $S_{\text{OM}}$  表示土壤有机质质量分数( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同坡向、坡位对毛竹林分生长与生物量的影响

林分密度、平均胸径、林分生物量等指标能直观地反映毛竹生长情况。本试验区 18 个样地林分密度均值为( $3 272 \pm 315$ ) 株·hm<sup>-2</sup>(变异系数为 9.61%), 平均胸径( $9.2 \pm 0.6$ ) cm(变异系数为 6.67%), 林分生物量( $40.708 \pm 3.864$ ) t·hm<sup>-2</sup>(变异系数为 9.49%)。上述指标在坡向、坡位不同水平上的均值变化如图 1 所示。

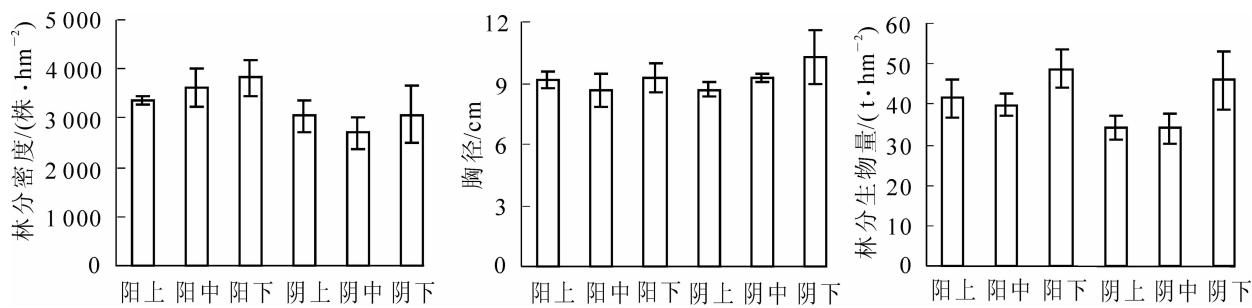


图1 不同水平上林分密度、平均胸径和林分生物量的均值变化

Figure 1 Mean variation of stand density, mean DBH and stand biomass on different levels

图1中,阳坡下坡的林分密度(3 817 株·hm<sup>-2</sup>)和林分生物量(48.705 t·hm<sup>-2</sup>)均值最大,阴坡中坡的林分密度(2 700 株·hm<sup>-2</sup>)和林分生物量(33.991 t·hm<sup>-2</sup>)均值最小,平均胸径(10.3 cm)最大均值出现在阴坡下坡,其余位置胸径均值较接近。均值分析可知林分密度、生物量指标均值阳坡大于阴坡,下坡大于上坡和中坡,平均胸径下坡较大但总体差异不明显,均值变化缺乏规律性。林分密度与生物量在坡向、坡位不同水平上的均值变化趋于一致,说明单位面积毛竹株数与林分生物量存在正相关关系。阳坡下坡指标均值最大,说明阳坡下坡可能因光照时间较长、水分充足,而对毛竹林分生物量、碳储量具有正面影响。

为探究坡向、坡位对毛竹林地上部分生物量、碳储量的影响及其显著性水平,采用ForStat 2.1系统<sup>[19]</sup>对林分碳储量相关指标作双因素方差分析(表2)。

表2 地上部分指标的方差分析

Table 2 ANOVA of stand index in *Ph. edulis* forest

因子组	林分密度		平均胸径		林分生物量、碳储量	
	F值	P值	F值	P值	F值	P值
坡向	14.271 6	0.002 6**	1.172 6	0.323 5	6.035 7	0.030 2*
坡位	0.940 5	0.417 4	2.623 6	0.104 2	9.404 4	0.003 5**
交互作用	1.073 3	0.372 5	1.699 9	0.218 0	0.401 5	0.678 0

说明: \* $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$ 。

方差分析结果显示:坡向对林分密度影响极显著( $P<0.01$ ),对林分生物量、碳储量影响显著( $P<0.05$ ),坡位对林分生物量、碳储量影响极显著( $P<0.01$ ),但两者对平均胸径均无显著性影响,且两者的交互作用也不显著。平均胸径的分析结果同于顺龙<sup>[13]</sup>对水曲柳中龄林生长影响因素的研究结论相一致。该结果表明:坡向、坡位均是毛竹林地上部分生物量、碳储量的主效因子,两因子交互作用不显著,可能是因为坡向、坡位对地上部分碳储量的影响在不同水平上具有相互抵消作用。平均胸径是估算林分生物量的重要因子,尽管受坡向、坡位影响不显著,但是受施肥、翻耕、垦复等经营措施影响显著<sup>[2-3]</sup>,仍需重视。

## 2.2 不同坡向、坡位对毛竹林土壤碳储量的影响

毛竹林土壤碳储量由土壤有机碳含量估算得到。本试验区18个样地土壤容重均值为( $1.6605 \pm 0.0953$ ) g·cm<sup>-3</sup>(变异系数为5.74%),有机质( $17.1 \pm 3.4$ ) g·kg<sup>-1</sup>(变异系数19.81%),土壤碳储量( $80.835 \pm 14.335$ ) t·hm<sup>-2</sup>(变异系数17.73%),有机质质量分数和土壤碳储量的变异系数较大,说明存在受环境、立地因子影响的可能性。上述指标在各坡向、坡位上的均值变化见图2。

图2中:阳坡中坡的土壤有机质质量分数( $22.5$  g·kg<sup>-1</sup>),土壤碳储量( $107.273$  t·hm<sup>-2</sup>)均值最大,阴坡下坡的土壤有机质( $11.7$  g·kg<sup>-1</sup>),阳坡上坡的土壤碳储量( $61.120$  t·hm<sup>-2</sup>)均值最小,土壤容重指标均值较接近,差异不明显。土壤容重、有机质是衡量土壤熟化程度、肥力水平高低的2个重要指标。本试验区样地平均容重为 $1.4 \sim 1.7$  g·cm<sup>-3</sup>,平均有机质质量分数为 $15.0 \sim 25.0$  g·kg<sup>-1</sup>,说明土壤中含矿物质较多,有机质较少,土壤结构较差,较不肥沃,毛竹林经营方式有待改善。对毛竹林地下部分碳储量相关指标

作坡向、坡位双因素方差分析, 结果见表3。

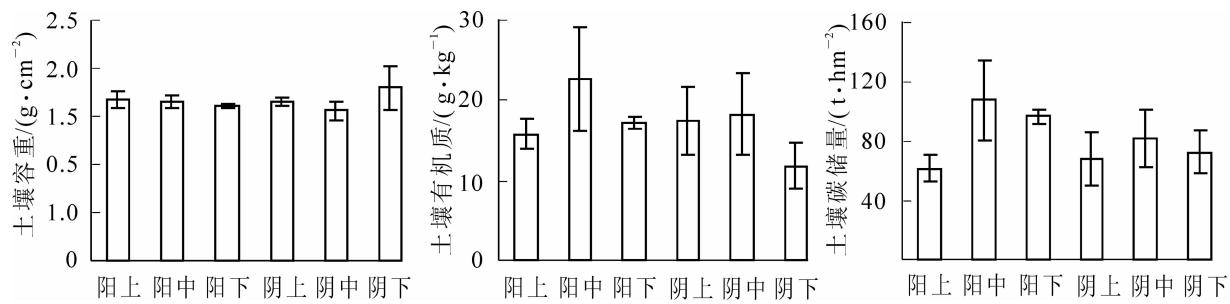


图2 不同水平上土壤容重、有机质和土壤碳储量的均值变化

Figure 2 Mean variation of soil density, organic matter content and soil carbon storage on different levels

表3 地下部分指标的方差分析

Table 3 ANOVA of soil index in *Ph. edulis* forest

因子组	土壤容重		土壤有机质		土壤碳储量	
	F值	P值	F值	P值	F值	P值
坡向	0.137 6	0.717 2	1.950 3	0.187 8	3.280 3	0.095 2 <sup>(*)</sup>
坡位	1.175 6	0.341 8	3.371 1	0.068 9 <sup>(*)</sup>	4.868 2	0.028 3 <sup>*</sup>
交互作用	2.496 1	0.124 0	1.347 2	0.296 6	1.636 3	0.235 3

说明: <sup>(\*)</sup> $P<0.10$ , <sup>\*</sup> $P<0.05$ 。

方差分析结果显示: 坡向对土壤碳储量影响较显著( $P<0.10$ ), 坡位对土壤有机质质量分数影响较显著( $P<0.10$ ), 对土壤碳储量影响显著( $P<0.05$ ), 坡向、坡位对土壤容重均无显著性影响, 两者的交互作用不显著。坡向对土壤碳储量的影响与何志斌等<sup>[14]</sup>对云杉 *Picea asperata* 林斑表层土壤有机碳质量分数的影响分析有相似之处, 但云杉林斑表层土壤有机碳阴坡高于半阴坡和阳坡。本试验区毛竹林土壤有机质质量分数和土壤碳储量均为阳坡高于阴坡, 这可能与阳坡毛竹林分茂密, 有较多枯枝落叶回归土壤有关。坡位对土壤碳储量的影响情况为中下坡明显高于上坡, 主要是中下坡土层较厚、质地较黏, 有利于有机质积累。

### 2.3 不同坡向、坡位对毛竹林生态系统碳储量的影响

18个样地毛竹林生态系统碳储量在坡向、坡位各水平上的指标均值变化见图3。

图3中: 坡向水平上, 植被碳储量、土壤碳储量和生态系统碳储量均值阳坡始终大于阴坡, 说明坡向对碳储量影响具有一致性。坡位水平上, 生态系统碳储量均值变化与土壤碳储量一致, 生态系统碳储量( $156.111 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )最大均值出现在阳坡中坡。

在毛竹林生态系统碳储量组成方面, 18个样地生态系统碳储量均值为( $101.352 \pm 14.980 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) (变异系数为 14.78%), 其中植被碳储量为( $20.517 \pm 1.948 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) (变异系数为 9.49%), 占 20.24%, 土壤碳储量( $80.835 \pm 14.335 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) (变异系数为 17.73%), 占 79.76%。对比 2004 年临安市青山和山口 2 个邻近乡镇集约经营类型毛竹林样地的碳储量( $106.362 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )研究结果<sup>[3]</sup>, 本试验区样地生态系统碳储量估算值偏小, 主要是由于植被碳储量值偏小、比例偏低, 这可能与林分密度( $3272 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ )偏低有关。对毛竹林生态系统碳储量作坡向、坡位双因素方差分析, 结果见表4。

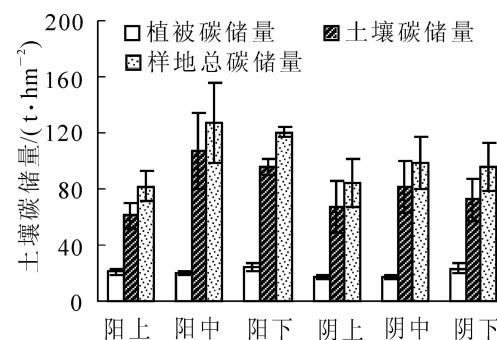


图3 不同水平上毛竹林生态系统碳储量的均值变化

Figure 3 Mean variation of carbon storage in *Ph. edulis* forest on different levels

表4 毛竹林生态系统碳储量方差分析

Table 4 ANOVA of carbon storage in *Ph. edulis* forest

因子组	平方和	自由度	均方	F值	P值
坡向	1 339.341 8	1	1 339.341 8	4.213 0	0.062 6 <sup>(*)</sup>
坡位	3 037.767 5	2	1 518.883 7	4.777 8	0.029 8 <sup>*</sup>
交互作用	863.789 5	2	431.891 7	1.358 6	0.293 8
残差	3 814.853 8	12	317.904 4		
合计	193 955.449 4	18			

说明：(\*)  $P < 0.10$ , \* $P < 0.05$ 。

方差分析结果显示：坡向对毛竹林生态系统碳储量影响较显著( $P < 0.10$ )，坡位对它影响显著( $P < 0.05$ )，两者的交互作用不显著。坡向、坡位对毛竹林生态系统碳储量的影响显著性水平与植被碳储量、土壤碳储量的影响分析相一致，说明坡位影响比坡向更显著。毛竹林生态系统碳储量及其空间分配在坡向坡位不同水平上的均值分析显示，无论是地上部分还是地下部分，各碳储量均值阳坡大于阴坡、中下坡大于上坡。因此，毛竹林生态性经营管理中，若能充分考虑阳坡、中下坡及其相关的光照、降水等气候条件，改善土壤结构，优化经营方式，将有助于提高毛竹林生态系统固碳能力。

### 3 结论

本研究采用双因素方差分析法，研究坡向、坡位2个地形地势因子对毛竹林生物量、碳储量空间分布的影响及其显著性水平。结果表明：坡向、坡位对毛竹生长、竹林生态系统碳储量及其空间分配均有一定程度的影响，坡位影响比坡向更显著。具体地，坡向对植被碳储量影响显著( $P < 0.05$ )，对土壤碳储量和生态系统碳储量影响较显著( $P < 0.10$ )，坡位对植被碳储量影响极显著( $P < 0.01$ )，对土壤碳储量和生态系统碳储量影响显著( $P < 0.05$ )，但两者对各指标的交互作用均不显著，说明两因子对碳储量的影响在不同水平上具有相互抵消作用。

不同水平上的指标均值分析显示：毛竹林无论是地上部分还是地下部分，各碳储量指标均值阳坡大于阴坡、中下坡大于上坡，说明阳坡、中下坡较阴坡、上坡具有更适宜毛竹生长的光照、水分、温度等条件。因此，生态性生产中应更多关注对阳坡、中下坡毛竹林的经营与管护。

**致谢：**野外调查得到浙江省临安市林业技术服务总站和临安板桥林场的大力支持，在此表示感谢！

### 参考文献：

- [1] YEN Tianming, LEE Jooushan. Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model [J]. *For Ecol Manage*, 2011, **261** (6): 995 – 1002.
- [2] 周国模, 吴家森, 姜培坤. 不同管理模式对毛竹林碳贮量的影响[J]. 北京林业大学学报, 2006, **28** (6): 51 – 55.  
ZHOU Guomo, WU Jiasen, JIANG Peikun. Effects of different management models on carbon storage in *Phyllostachys pubescens* forests [J]. *J Beijing For Univ*, 2006, **28** (6): 51 – 55.
- [3] 周国模, 姜培坤. 毛竹林的碳密度和碳贮量及其空间分布[J]. 林业科学, 2004, **40** (6): 20 – 24.  
ZHOU Guomo, JIANG Peikun. Density, storage and spatial distribution of carbon in *Phyllostachy pubescens* forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (6): 20 – 24.
- [4] 李海奎, 雷渊才. 中国森林植被生物量和碳储量评估[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 32 – 42.
- [5] DU Huaqiang, ZHOU Guomo, FAN Wenqi, et al. Spatial heterogeneity and carbon contribution of aboveground biomass of moso bamboo by using geostatistical theory [J]. *Plant Ecol*, 2010, **207**: 131 – 139.
- [6] CHEN Xiangang, ZHANG Xiaoquan, ZHANG Yiping, et al. Changes of carbon stocks in bamboo stands in China during 100 years [J]. *For Ecol Manage*, 2009, **258**: 1489 – 1496.
- [7] 叶耿平, 刘娟, 姜培坤, 等. 集约经营措施对毛竹林生长季土壤呼吸的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28**

- (1): 18 – 25.
- YE Gengping, LIU Juan, JIANG Peikun, et al. Soil respiration during the growing season with intensive management of *Phyllostachys pubescens* [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28** (1): 18 – 25.
- [8] 蔡荣荣, 黄芳, 孙达, 等. 集约经营雷竹林土壤有机质的时空变化[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (4): 450 – 455.
- CAI Rongrong, HUANG Fang, SUN Da, et al. Temporal and spatial variation of soil organic matters in *Phyllostachys praecox* stands with intensive cultivation management [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (4): 450 – 455.
- [9] 周国模, 徐建明, 吴家森, 等. 毛竹林集约经营过程中土壤活性有机碳库的演变[J]. 林业科学, 2006, **42** (6): 124 – 128.
- ZHOU Guomo, XU Jianming, WU Jiasen, et al. Changes in soil active organic carbon with history of intensive management of *Phyllostachy pubescens* forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42** (6): 124 – 128.
- [10] 陈茂铨, 金晓春, 吴林森, 等. 竹林碳汇功能及其影响因子研究进展[J]. 竹子研究汇刊, 2010, **29** (3): 5 – 9.
- CHEN Maoquan, JIN Xiaochun, WU Linsen, et al. Research progress of carbon sink and its influencing factors of bamboo forest [J]. *J Bamboo Res*, 2010, **29** (3): 5 – 9.
- [11] 吕超群, 孙书存. 陆地生态系统碳密度格局研究概述[J]. 植物生态学报, 2004, **28** (5): 692 – 703.
- LÜ Chaoqun, SUN Shucun. A review on the distribution patterns of carbon density in terrestrial ecosystems [J]. *Acta Phytocat Sin*, 2004, **28** (5): 692 – 703.
- [12] 赵敏, 周广胜. 中国森林生态系统的植物碳贮量及其影响因子分析[J]. 地理科学, 2004, **24** (1): 50 – 54.
- ZHAO Min, ZHOU Guangsheng. Carbon storage of forest vegetation and its relationship with climatic factors [J]. *Sci Geogr Sin*, 2004, **24** (1): 50 – 54.
- [13] 于顺龙. 坡向、坡位对水曲柳中龄林生长与生物量分配的影响[J]. 内蒙古林业调查设计, 2009, **32** (1): 54 – 56.
- YU Shunlong. Influence of aspect and position of slope on the growth and biomass allocation of mid-age *Fraxinus mandshurica* [J]. *Inner Mongolia For Invest & Des*, 2009, **32** (1): 54 – 56.
- [14] 何志斌, 赵文智, 刘鹄, 等. 祁连山青海云杉林斑表层土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2006, **26** (8): 2572 – 2577.
- HE Zhibin, ZHAO Wenzhi, LIU Hu, et al. Characteristic of *Picea crassifolia* forest soil organic carbon and relationship with environment factors in the Qilian Mountain [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26** (8): 2572 – 2577.
- [15] 黄从德, 张国庆. 人工林碳储量影响因素[J]. 世界林业研究, 2009, **22** (2): 34 – 38.
- HUANG Congde, ZHANG Guoqing. Impact factors of carbon sequestration in artificial forest carbon stock and its impact factors [J]. *World For Res*, 2009, **22** (2): 34 – 38.
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 146 – 226.
- [17] 周国模, 姜培坤, 徐秋芳. 竹林生态系统中碳的固定与转化[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 92 – 93.
- [18] 王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. 地理研究, 1999, **18** (4): 349 – 356.
- WANG Shaoqiang, ZHOU Chenghu. Estimating soil carbon reservoir of terrestrial ecosystem in China [J]. *Geogr Res*, 1999, **18** (4): 349 – 356.
- [19] 唐守正, 郎奎建, 李海奎. 统计和生物数学模型计算(ForStat 教程)[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 134 – 148.