

# 施肥对硬头黄竹林地上部分生物量结构的影响

张文元<sup>1</sup>, 刘顺<sup>1</sup>, 江斌<sup>2</sup>, 朱新传<sup>3</sup>, 吴珍花<sup>1</sup>, 胡冬南<sup>1</sup>, 郭晓敏<sup>1\*</sup>

(1. 江西农业大学 江西省森林培育重点实验室,江西 南昌 330045;

2. 江西省永丰县官山林场,江西 永丰 331500;3. 江西省安福县陈山林场,江西 安福 343200)

**摘要:**以赣县3种不同施肥处理及不施肥对照的硬头黄竹林为研究对象,调查和测定其单丛分株数、立竹年龄结构和生物量,研究施肥对硬头黄竹地上部分生物量结构的影响。结果表明,施肥能有效地提高硬头黄竹林的立竹数量和地上部分群体生物量。与对照相比,矿渣肥、毛竹专用肥和复合肥处理立竹数分别增加了26.33、20.50株·丛<sup>-1</sup>和8.5株·丛<sup>-1</sup>,地上生物量分别增加了109.24、22.92 g·株<sup>-1</sup>和162.63 g·株<sup>-1</sup>;不同处理单丛生物量表现为矿渣肥>毛竹专用肥>复合肥>CK。矿渣肥肥效时间较长,1a竹所占比例比CK提高了5.31%,而毛竹专用肥和复合肥对竹林年龄组成的调节作用较弱。复合肥处理分别对3a秆、2a枝和1a叶生物量提高的作用最强,矿渣肥分别对2a秆和3a枝、叶生物量提高的作用最强。地上生物量在不同施肥处理、不同年龄和不同构件间差异均显著( $P<0.05$ )。随着年龄和竹高的增加,秆生物量的增加速率最大,其次分别为叶和枝。硬头黄竹地上部分的生物量中,秆生物量占的比例最大,叶的生物量次之,略大于枝生物量所占比例。因此,在硬头黄竹林的经营管理中,除了进行施肥外,还应合理采伐,使竹林保持合理密度。

**关键词:**施肥;构件;地上部分;生物量结构;硬头黄竹

**中图分类号:**S725.5      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2016)05-0061-07

Effects of Fertilization on Above-ground Biomass Structure of *Bambusa rigida*

ZHANG Wen-yuan<sup>1</sup>, LIU Shun<sup>1</sup>, JIANG Bin<sup>2</sup>, ZHU Xin-chuan<sup>3</sup>, WU Zhen-hua<sup>1</sup>,  
HU Dong-nan<sup>1</sup>, GUO Xiao-min<sup>1\*</sup>

(1. Key Laboratory of Tree breeding and Cultivation of Jiangxi Province/Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China; 2. Forest Farm of Guanshan, Yongfeng, Jiangxi 331500, China; 3. Forest Farm of Anfu County, Anfu, Jiangxi 343200, China)

**Abstract:** Taking *Bambusa rigida* forests in Ganxian, Jiangxi Province, which were under different fertilization treatments as the research object, effects of fertilization on above-ground biomass structure were investigated by examining the indices such as stand density per clump, age structure and aboveground biomass. The results indicated that fertilization in bamboo forests could improve the stand density and above-ground biomass compared to non-fertilization (control). The increase of stand densities per clump under slag fertilizer, special fertilizer and complex fertilizer were 26.33, 20.50, and 8.5, respectively, while of the corresponding values of average above-ground biomass were 109.24, 522.92 g · plant<sup>-1</sup> and 162.63 g · plant<sup>-1</sup>, respectively. The biomass of per clump showed the trend as slag fertilizer>special fertilizer>complex fertilizer>control. Compared to the control, the proportion of 1a bamboo increased by 5.31% under slag fertilizer, but the influences of other two fertilizers on age structure were weak. Complex fertilizer increased

收稿日期:2015-12-26 修回日期:2016-03-16

基金项目:教育部博士点基金(20113603120004);江西自然科学基金项目(2013BAB204026);江西省教育厅落地项目(KJLD13024);江西省教育厅重点科研项目(GJJ09166);江西省财政林业重大专项(2011511101)。

作者简介:张文元,男,博士,研究方向:竹林培育理论与技术。E-mail:zwy15@126.com

\*通信作者:郭晓敏,女,教授,博士生导师,研究方向:森林培育。E-mail:gxmjxau@163.com

culm biomass of 3 a, branch biomass of 2 a and leaf biomass of 1 a mostly, slag fertilizer increased culm biomass of 2 a, branch and leaf biomass of 3 a more than other fertilizers. The differences of above-ground biomass among different treatments, different ages and different modularity were significant ( $P < 0.05$ ). With the increase of age and height, the maximum increase rate of biomass was culm, followed by leaf and branch. Therefore, in *Bambusa rigida* forest management, besides fertilization, reasonable harvesting was necessary for maintaining a reasonable density of bamboo forests.

**Key words:** fertilization; modularity; above-ground; biomass structure; *Bambusa rigida*

竹林的生长、繁衍更新和生物量与竹林结构、立地条件密切相关<sup>[1]</sup>,生物量是评价植物生长状况和生态系统结构、功能的重要指标<sup>[2]</sup>,是研究生态系统生产力、碳循环的基础,是生态学研究中的重要方面<sup>[3]</sup>。植株在生长过程中,会改变生物量在不同组织中的分配来适应生存环境的变化<sup>[4-5]</sup>。生物量在不同树种器官间的分配比例各异,体现植物对环境资源的利用方式不同<sup>[6]</sup>。竹类植物是典型的克隆植物,营养物质通过分株间的转移使资源利用有效性提高<sup>[7]</sup>,构件生物量分配基本集中在以分株为单位的有机体构件水平上,其生物量分配格局受多种因素(遗传、环境等)的影响,反映了立竹生长规律和对环境的进化适应<sup>[8]</sup>。测定竹种的生物量结构,对评价其生产力、提高营林水平和产品利用有着重要的意义<sup>[9]</sup>。

硬头黄竹(*Bambusa rigida*)属禾本科(Gramineae)簕竹属(*Bambusa*)竹种,地下茎合轴丛生,具有生长速度快、产量高、材质优、适应性能力强、繁殖方法多样等优点<sup>[10]</sup>,分布在我国两广地区、川、闽、赣等省的山地、路旁及河边<sup>[11]</sup>,是建筑、造纸的优良原料,具有很好观赏价值,可作为园林绿化竹种<sup>[12-13]</sup>。目前所见关于硬头黄竹的研究报道,多见

于生长规律<sup>[10]</sup>、竹材特性<sup>[11,14-15]</sup>、生物量<sup>[16]</sup>及生态效应<sup>[17]</sup>等方面。通过施肥,及时合理补充竹子生长所需的养分是竹林丰产、稳产的必要措施之一<sup>[18-20]</sup>。目前相比毛竹(*Phyllostachys edulis*)等竹种,硬头黄竹的经营相对粗放,施肥对其生长的影响研究仅有少量报道<sup>[21]</sup>。对不同施肥处理后的硬头黄竹林进行研究,探讨施肥对硬头黄竹地上构件生物量、构件生物量相关性及其生物量分配格局的影响,以期为其施肥管理提供相关的理论依据。

## 1 研究区概况

试验地位于江西省硬头黄竹主要分布区的江西省赣州市赣县大田乡。赣县( $114^{\circ}42' - 115^{\circ}22'E$ 、 $25^{\circ}26' - 26^{\circ}17'N$ )地处江西省南部,赣州市中部,赣江上游。属丘陵山地,气候为中亚热带丘陵山区季风湿润气候,具有春早、夏长、秋短、冬迟的特点。年均气温  $19.3^{\circ}C$ ,最高(7月)  $30.5^{\circ}C$ ,最低(1月)  $-6^{\circ}C$ ;年均日照时数 1 092 h,阳光充沛;年均降雨量  $1392.4 \sim 2168 \text{ mm}$ ,雨量充足;年均无霜期 298 d,四季常青。试验地土壤为红黄壤,由花岗岩母质发育而成,土壤性质见表 1。

表 1 试验样地土壤性质

Table 1 Soil properties of *B. rigida* forest

土层/cm	全量养分/(g·kg <sup>-1</sup> )				速效养分/(mg·kg <sup>-1</sup> )		
	有机质	全氮	全磷	全钾	碱解氮	有效磷	速效钾
0~10	19.57	0.93	0.71	18.01	180.67	6.24	29.44
10~30	13.08	0.67	0.59	19.17	173.17	4.81	29.00
30~50	10.70	0.57	0.54	18.97	155.05	4.85	33.20

## 2 材料与方法

### 2.1 样地设置

硬头黄竹试验林分为无人为经营且结构基本一致的林分。施肥试验主要采用不完全随机区组设计,设置 4 个处理(3 个施肥和 1 个对照),均为 3 次重复。小区间设置缓冲带(3 m),处理间具有隔离行,每个处理选择生长基本一致的硬头黄竹 6 丛。

### 2.2 施肥时间

各处理的肥料类型、用量及配比见表 2。全年

肥料分 2 次施入,分别为硬头黄竹发笋期前(6 月)和新竹成长期前(2 月),2 次施肥量相同。2008 年 6 月对试验地进行第 1 次施肥,2009 年 2 月进行第 2 次施肥至 2010 年 6 月。

2.2.1 矿渣肥 养分总含量 45%,安徽文胜肥业有限责任公司生产。是以钢铁冶炼中的废弃钢渣(含有益矿质元素)为载体,添加改性剂和大量元素制备而成的专用控释肥。

2.2.2 毛竹专用肥 养分总含量 27%,江西农业大学研制的专门针对江西毛竹林地土壤状况和毛竹

营养需求的肥料,生产方为湖南浏阳复混肥厂。

2.2.3 复合肥 市场购买,其养分总含量为45%,山东史丹利化肥股份有限公司生产。

### 2.3 施肥方法

在硬头黄竹外围一周挖环形沟(约10 cm深),施入肥料,并及时覆土。

### 2.4 样品采集与处理

2011年3月在不同施肥处理样地内进行每竹

检尺,调查胸径并统计各处理各龄竹的平均胸径,然后在每丛竹中选出不同年龄标准竹3株,贴地面伐倒,对竹不同地上器官(秆、枝和叶)进行鲜重称量,同时取约500 g样品带回实验室烘干,计算含水率和生物量。

### 2.5 统计分析

试验数据的统计分析及作图分别采用Spss 17.0和Excel2003进行。

表2 不同处理肥料种类、用量及配比

Table 2 Fertilizer types, amounts and proportion of sample plots

肥料种类	施入肥料量/(kg·丛 <sup>-1</sup> )			肥料配比 N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
矿渣肥	0.541	0.361	0.258	21:14:10
毛竹专用肥	0.504	0.375	0.294	12:8.5:7
复合肥	0.387	0.387	0.387	15:15:15
对照	0	0	0	0

## 3 结果与分析

### 3.1 施肥对硬头黄竹立竹结构的影响

硬头黄竹单丛分株数在12.50~38.83株·丛<sup>-1</sup>之间(表3),各施肥处理均能提高竹林的单丛分株数,其中硬头黄竹林单丛分株数以矿渣肥处理增加的最多,专用肥次之,复合肥最少。相比CK,矿渣肥处理、专用肥处理和复合肥处理竹单丛分株数分别增加了26.33、20.50株·丛<sup>-1</sup>和8.5株·丛<sup>-1</sup>,增幅分别为210.67%、164.00%和68.00%。

不同年龄的立竹对竹林群体更新生长和生物量形成的作用程度不同,立竹年龄结构是影响竹林经济产量和可持续的重要因素<sup>[1]</sup>。不同施肥处理及对

照组,不同年龄竹子株数及所占竹总数的比例均为1 a>2 a>3 a。1 a 竹株数占竹总数的比例最大值和最小值分别出现在矿渣肥(50.64%)和专用肥(44.95%),2 a 竹株数为复合肥(34.92%)和矿渣肥(27.90%),3 a 竹株数为专用肥(21.72%)和复合肥(19.05%)。

### 3.2 硬头黄竹地上生物量的影响因素

不同施肥处理、不同年龄和不同构件对生物量影响显著( $P<0.05$ ),其中不同年龄和构件地上生物量间差异达到极显著水平( $P<0.01$ )。交互作用中只有年龄和构件交互作用对地上生物量的影响达到极显著水平( $P<0.01$ ),其余均不显著( $P>0.05$ ) (表4)。

表3 不同施肥处理单丛硬头黄竹立竹年龄组成与立竹株数

Table 3 Age composition and density of *B. rigida* with different fertilization treatments

年龄/a	矿渣肥		毛竹专用肥		复合肥		对照	
	立竹数/(株·丛 <sup>-1</sup> )	比例/%						
1	19.67	50.64	14.83	44.95	9.67	46.03	5.67	45.33
2	10.83	27.90	11.00	33.33	7.33	34.92	4.33	34.67
3	8.33	21.46	7.17	21.72	4.00	19.05	2.50	20.00
合计	38.83	100	33.00	100	21.00	100	12.50	100

表4 地上生物量的三因素(施肥、年龄和构件)方差分析

Table 4 Variance analysis results of three factors of above-ground biomass

	施肥(F)	年龄(A)	构件(R)	F×A	G×R	A×R	F×A×R
F	2.772	63.362	192.125	0.815	0.437	12.315	1.262
Sig.	0.048	0.000	.000	0.561	0.852	0.000	0.260

3.2.1 对叶生物量的影响 植物叶片对光能的吸收和利用,影响植物生物量和生产力<sup>[22]</sup>。不同施肥处理下1 a立竹叶干重的变化规律为复合肥>矿渣肥>专用肥>CK,2 a立竹为复合肥>CK>专用肥

>矿渣肥,3 a立竹为矿渣肥>专用肥>复合肥>CK(图1A)。施肥处理中各年龄单株竹叶片生物量之间差异显著( $P<0.05$ )(表4)。施肥对2 a竹叶生物量无显著影响,3 a矿渣肥处理显著大于其他处

理,而1 a仅复合肥处理显著大于对照。

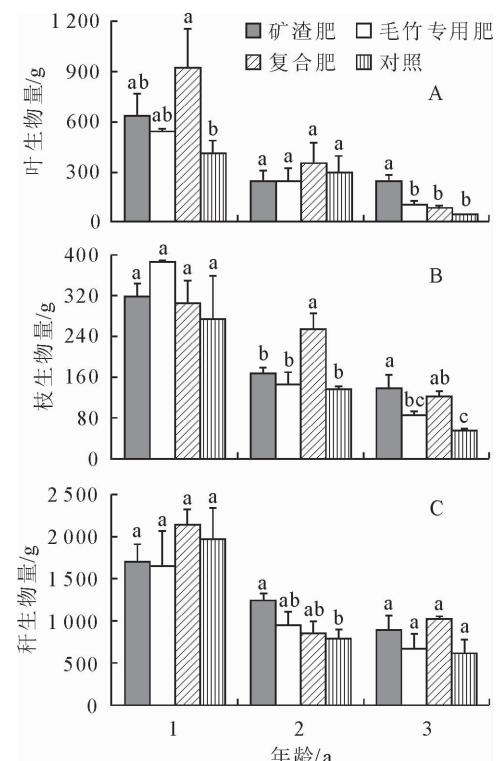
**3.2.2 对枝生物量的影响** 枝是植物地上部分的重要组成部分,主要作用是运输水分、养分并为叶片生长提供支撑<sup>[23]</sup>。不同年龄单株黄竹枝干重在不同施肥处理间变化不同(图1B)。1、2 a和3 a单株竹枝干重分别以专用肥、复合肥和矿渣肥处理最大,且均以CK处理最小。1 a枝生物量在不同处理间无显著差异,2 a中复合肥处理显著大于其他处理,3 a中矿渣肥和复合肥处理显著大于对照处理。不同施肥处理均能有效的提高硬头黄竹枝生物量,且以速效型肥料毛竹专用肥提高新生竹枝生物量最明显,而缓释型肥料矿渣肥对提高新生竹枝生物量的作用弱于毛竹专用肥。

**3.2.3 对秆生物量的影响** 竹秆起支撑竹体的作用,是竹地上生物量比重最大的部分<sup>[24]</sup>。不同施肥处理硬头黄竹秆生物量在617.70~2 144.19 g之间,不同施肥处理下1 a立竹竹秆生物量的变化规律为复合肥>CK>矿渣肥>专用肥,2 a立竹为矿渣肥>专用肥>复合肥>CK,3 a立竹为复合肥>矿渣肥>专用肥>CK(图1C)。由此可见,不同肥料的肥效作用时间和对不同植物器官的影响不同。

### 3.3 不同施肥处理对硬头黄竹地上生物量的影响

3种施肥处理硬头黄竹单丛地上生物量均大于对照组,表现为矿渣肥>专用肥>复合肥>CK(图2)。其中矿渣肥、专用肥和复合肥处理单丛地上生物量较CK分别增加了58.51、37.21 kg和26.06 kg。由此可见,施肥处理均能有效提高硬头黄竹林群体地上生物量,以矿渣肥效果较好。对不同施肥处理各年龄竹地上生物量进行比较可知,2 a和3 a

立竹地上生物量均表现为矿渣肥>复合肥>专用肥>CK,1 a竹则表现为复合肥>CK>矿渣肥>专用肥。



注:不同小写字母表示相同年龄不同施肥处理间差异显著( $P < 0.05$ ),相同字母表示相同年龄不同施肥处理间差异不显著( $P > 0.05$ )。多重比较采用LSD法。

图1 不同施肥处理硬头黄竹叶(A)、枝(B)和秆(C)生物量的变化

Fig. 1 Effect of different fertilization treatments on biomass of leaf, branch and culm of *B. rigida*

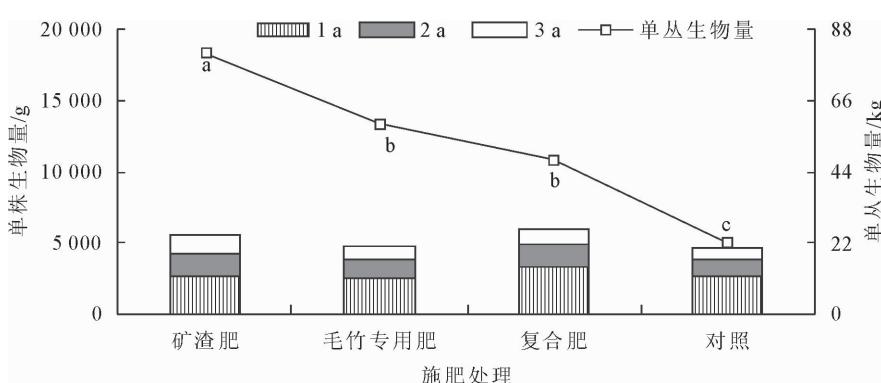


图2 不同施肥处理硬头黄竹地上生物量的变化

Fig. 2 Changes of above-ground biomass of *B. rigida* with different fertilization treatments

### 3.4 不同施肥处理硬头黄竹地上生物量分配格局

竹地上生物量分配是衡量竹材优劣的一个重要指标,不同年龄秆生物量占地上部分总重量的比重在毛竹专用肥、复合肥和CK处理中呈现3 a立竹最大,在矿渣肥处理中2 a立竹最大,矿渣肥和毛竹

专用肥均以1 a竹秆生物量所占比重最小,复合肥和对照则以2 a竹秆生物量所占比重最小;不同施肥处理中竹枝和竹叶生物量所占比重在不同年龄中的变化规律分别与秆干重所占比例的变化规律相反和相同(表5)。

表5 不同施肥处理硬头黄竹地上生物量分配

Table 5 The allocation of above-ground biomass of *B. rigida* with different fertilization treatments

处理	秆/%			枝/%			叶/%		
	1 a	2 a	3 a	1 a	2 a	3 a	1 a	2 a	3 a
矿渣肥	64.31±3.05	74.92±4.71	69.51±2.92a	12.17±0.89	10.08±0.85	10.73±0.47	23.52±2.94	15.00±3.86	19.77±3.38a
毛竹专用肥	61.59±7.46	71.11±0.89	76.82±2.30ab	15.95±3.09	11.30±2.81	10.33±1.38	22.46±4.39	17.59±2.83	12.85±1.75ab
复合肥	64.04±3.33	59.01±3.49	83.10±1.50b	9.46±2.37	18.39±3.08	9.91±0.86	26.50±4.50	22.60±4.20	7.00±0.86b
对照	73.30±7.85	64.46±6.24	84.02±3.66b	10.65±3.99	11.46±1.09	8.29±1.46	16.05±3.89	24.08±6.54	7.69±2.20b

与对照相比,施肥明显降低了1 a 竹秆生物量的比重,提高了其叶生物量的比重,可能是施肥后植物群落个体数增加,导致植物竞争加剧。因此通过提高叶生物量分配,来提高自身竞争力的一种适应。硬头黄竹秆生物量占地上部分总生物量的比重总体表现为3 a 竹最大,这是竹子不断生长过程中,材质生长引起营养物质积累,导致竹秆重量的增加。而叶的生物量则总体表现为以1 a 立竹所占比重最大,3 a 立竹最小,这可能与新生竹的生长力较强,同时为了竞争生存空间、争夺光照,从而生长出较多的叶片进行光合作用。硬头黄竹不同构件生物量占地上部分总生物量的比例中,以秆生物量所占比例最大,叶的生物量次之,略大于枝生物量所占的比例。

### 3.5 硬头黄竹地上构件生物量间的关系及与生长参数的相关性分析

环境对植物的生长有重要的影响,植物各构件通过形态可塑性来适应相应的环境条件,受遗传等因素的影响,植物各构件间存在一定的相关性。对硬头黄竹地上部分各构件生物量间关系及与生长参数(胸径、竹高)相关性的探讨,可较好地反映其地上部分构件在结构和功能上的相互依存、协调和影响的关系。硬头黄竹地上部分各构件(秆、枝和叶)生物量与胸径和竹高间均存在极显著的正相关关系,均可用线性方程模型表示,且拟合方程均达到极显著水平。秆生物量与胸径和竹高的相关性要高于枝和叶生物量与胸径和竹高的相关性(图3)。随着年龄和竹高的增加,秆生物量的增加速率大于枝和叶。

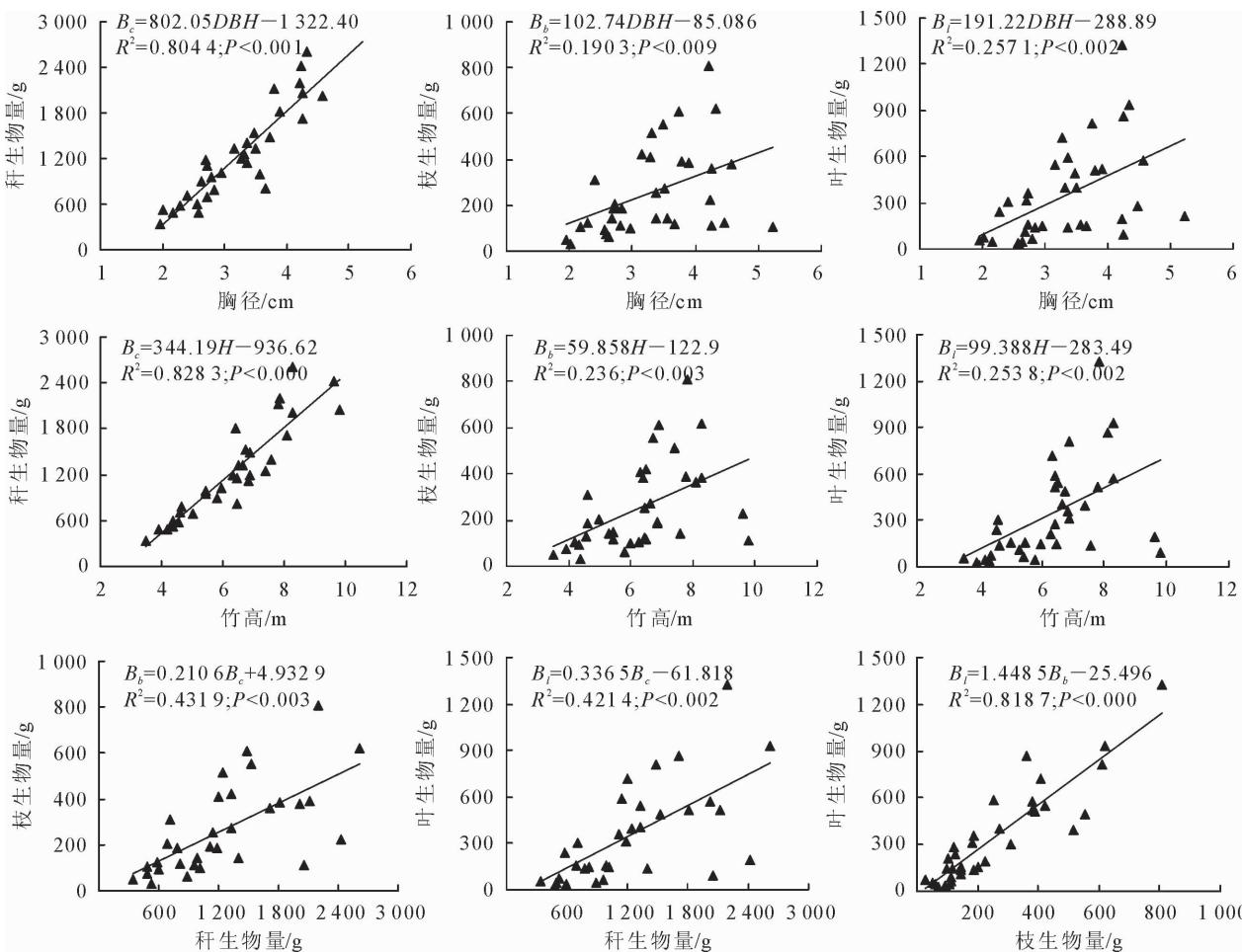
硬头黄竹秆、枝和叶生物量间存在极显著正相关,其中枝和叶的相关性高于秆和枝、秆和叶的相关性,秆和枝、秆和叶生物量的相关性相当。在硬头黄竹生长过程中,竹子粗生长和高生长能明显增大秆生物量,枝和叶也相应的生长和进行物质的积累,保证各构件的协调发展。随着秆生物量的增加,叶生物量的增加速率略大于枝,因为随着竹个体的生长,需要更多的竹叶进行光合作用,以维持个体有机物质的供给,叶生物量的增加要求更多的枝进行支撑,这也体现了各构件间相互依存、相互影响的关系。

## 4 结论与讨论

前人研究得出施肥可充分利用竹林自然恢复力,实现有效养分的转移,积累发笋营养,促进出笋成竹<sup>[25]</sup>,施肥量的多少会影响竹出笋的数量<sup>[26]</sup>。本研究得出施肥能有效的提高硬头黄竹林的单丛分株数和影响竹林年龄组成,其中矿渣肥对提高硬头黄竹单丛分株数作用最强,专用肥次之,复合肥最小。矿渣肥提高了1 a 竹所占比例,而专用肥和复合肥对竹林年龄组成的调节作用较弱。因竹林是异龄林,在林分结构因子中,除立竹数量、胸径外,不同年龄立竹的光合同化能力和出笋成竹作用是不同的,因此林分结构的建立必须考虑立竹年龄组成因子<sup>[27]</sup>。关于施肥对竹子的出笋效应的研究多见于毛竹(*Phyllostachys edulis*)、撑绿杂交竹(*Bambusa pervariabilis* × *Dendrocalamopsis daiti*)等,鲜见关于硬头黄竹的施肥报道,这方面有待进一步研究。

总体来说,施肥能够有效提高硬头黄竹地上部分各构件生物量,除了矿渣肥和专用肥2 a 叶干重和1 a 秆干重小于CK外,其余各处理均大于CK。可能是由于施肥提高了立竹数量,竹林密度提高,群体竞争激烈,导致竹子生长细小。林华<sup>[27]</sup>通过对苦竹(*Pleioblastus amarus*)研究发现当立竹密度达到一定数量时候,立竹胸径显著下降。而对于同一竹种,秆高度跟胸径有直接关系,胸径越小,秆高度越小<sup>[28]</sup>,胸径、竹高等直接反映竹株的大小。在生产实践中除了获得更高的经济产量外,还应兼顾培育大径级优质竹材。

施肥提高了不同年龄硬头黄竹地上部分的生物量。矿渣肥为缓释型肥料,能够持续较长的时间释放养分为植物吸收,而专用肥是速效型肥料,养分释放速度较快,肥力持续时间较短,施肥后虽能提高地上部分生物量,但效果较弱,也有可能是因为专用肥的养分元素配比适合毛竹,但未必适合硬头黄竹。竹种群生长的分布格局和发笋、成竹质量受到地下茎的直接影响<sup>[29]</sup>,不同肥料对根系生长代谢具有重要影响<sup>[30]</sup>,可能导致了竹地上群体生长的差异。考虑到竹林群体效应,矿渣肥对提高硬头黄竹林群体



注:  $B_c$ 、 $B_b$ 、 $B_l$ 、DBH、H 分别代表秆生物量、枝生物量、叶生物量、胸径和竹高。

图 3 硬头黄竹地上构件生物量间关系及与生长参数的相关性

Fig. 3 Correlation coefficient among above-ground biomass and growth parameters

地上总生物量的作用较好。但矿渣肥和专用肥提高了竹林单丛分株,导致竹林群体竞争激烈,影响了新生竹生长。在实际生产中,除了集约养分管理外,还应适当的伐竹,使竹林保持合理的密度。

不同构件生物量占地上部分总生物量的比例中,以秆生物量所占比例最大,叶次之,略大于枝生物量所占的比例。这与大多数竹种的研究结果不同,但黎曦<sup>[31]</sup>对赣南硬头黄竹生物量的研究显示平均枝、叶重分别占全株重的 10.60% 和 10.75%,叶干重占全株重的比例略高于枝。张鹏<sup>[16]</sup>等研究了清江河岸缓冲带硬头黄竹人工林生物量分配格局,表明竹枝、叶生物量所占的比例分别为 7.37%、5.05%,枝生物量大于叶生物量。结果的差异可能是由于不同地区气候环境、土壤条件及竹林结构造成生物量结构的差异。硬头黄竹地上构件生物量占总生物量的比例中只有 3 a 秆和叶在不同施肥处理间存在显著差异。随着年龄和竹高的增加,秆生物量的增加速率要大于枝和叶,但叶生物量随着秆生物量增加的速率略大于枝生物量的增加速率,这是

因为竹子各构件生长过程中相互依存、相互协调的作用,也是竹子本身对构件生物量的权衡分配,以更好、更快的生长发育,增强其生态适合度<sup>[4]</sup>,使竹子更佳适应环境变化的结果。

## 参考文献:

- [1] 江泽慧.世界竹藤[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.
- [2] 格日乐图,吴志民,杨校生,等.广宁茶秆竹地上生物量分布特征研究[J].林业科学,2011,24(1):127-131.
- [3] GERI L T,WU Z M,YANG X S,et al. Study on above-ground biomass allocation characteristics of *Pseudosasa ambilis* [J]. Forest Research,2011,24(1):127-131. (in Chinese)
- [4] 沈亚洲,孙晓梅,张江涛,等.甘肃小陇山林区日本落叶松人工林单株生物量的研究[J].林业科学,2011,24(4):517-522.
- [5] 顾大形,陈双林,郭子武,等.四季竹立竹地上现存生物量分配及其与构件因子关系[J].林业科学,2011,24(4):495-499.
- [6] GU D X,CHEN S L,GUO Z W,et al. Above-ground biomass allocation and relationship with ramet component of *Oligostachyum lubricum* [J]. Forest Research,2011,24(4):495-499.

- [5] FABBRO T, KOMER C. Altitudinal differences in flower traits and reproductive allocation[J]. *Flora*, 2004, 199: 70-81.
- [6] TILMAN D. Plant strategies and the structure and dynamics of plant communities [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988.
- [7] STUEFER J, DURING H, DE K. High benefits of clonal integration in two stoloniferous species. In response to heterogeneous light environment[J]. *Journal of Ecology*, 1994, 82: 511-518.
- [8] 李红丽,智颖飚,赵磊,等.大米草(*Spartina anglica*)自然衰退种群对N、P添加的生态响应[J].*生态学报*,2007,27(7):2725-2732.
- LI H L, ZHI Y B, ZHAO L, et al. Eco-physiological responses of the declining population *Spartina anglica* to N and P fertilizer addition[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2725-2732. (in Chinese)
- [9] 甘小洪,陈启贵,汪海,等.实心狭叶方竹种群的生物量结构与地下茎生长规律研究[J].*林业科学研究*,2009,22(5):662-666.
- [10] 夏载深,李秋枫.硬头黄竹生长规律观察研究[J].*重庆林业科技*,1991(2):12-18.
- [11] 何川,刘渝.硬头黄竹竹材物理力学性质研究[J].*世界竹藤通讯*,2012,10(3):19-22.
- HE C, LIU Y. A study of physical-mechanical properties of *Bambusa rigida* Keng[J]. *World Bamboo and Rattan*, 2012, 10(3): 19-22.
- [12] 蒋瑶,胡尚连,陈其兵,等.四川不同地区硬头黄竹 RAPD 和 ISSR 分析[J].*竹子研究汇刊*,2009,28(1):6-11.
- [13] 胡尚连,蒋瑶,陈其兵,等.四川 4 个地区硬头黄竹维管束和纤维特性的研究[J].*福建林业科技*,2010,37(2):103-106.
- [14] 吴志文,梁佳,谢双喜.黔北地区 6 种竹材不同部位纤维特征研究[J].*竹子研究汇刊*,2012,31(2):28-32.
- [15] 周益权,顾小平,李本祥,等.川南地区 3 种丛生竹竹秆特性研究[J].*福建林学院学报*,2010,30(1):45-50.
- ZHOU Y Q, GU X P, LI B X, et al. Culm characteristics of three sympodial bamboo species in south Sichuan[J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2010, 30(1): 45-50. (in Chinese)
- [16] 张鹏,唐森强,朱维双,等.清江河岸缓冲带硬头黄竹人工林生物量及 5 种营养元素含量分配格局研究[J].*西部林业科学*,2010,39(2):27-31.
- [17] 张大鹏,范少辉,蔡春菊,等.川南退耕丛生竹林枯落物持水特性研究[J].*水土保持研究*,2012,19(5):181-184.
- ZHANG D P, FAN S H, CAI C J, et al. Study in water-holding capacity of litter layers in returning farmland to sympodial bamboo forests in southern of Sichuan Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19(5): 181-184, 18. (in Chinese)
- [18] 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*,2003,25(1):48-53.
- GUO X M, CHEN G S, NIU D K, et al. A study on the effects of balance fertilization on bamboo shoot yield[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2003, 25(1): 48-53. (in Chinese)
- [19] 郭晓敏,牛德奎,杜天真,等.毛竹林平衡施肥持续效应研究初报[J].*江西农业大学学报:自然科学*,2002,24(6):786-790.
- GUO X M, NIU D K, DU T Z, et al. Preliminary studies on the sustained effectiveness of the balanced fertilization in moso bamboo forest[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis: Nat. Sci.*, 2002, 24(6): 786-790. (in Chinese)
- [20] 胡冬南,陈立新,李发凯,等.配方施肥对毛竹笋材的影响[J].*江西农业大学学报:自然科学版*,2004,26(2):196-199.
- HU D N, CHEN L X, LI F K, et al. Effect of optimun amount and proportion of fertilizer on bamboo shoots and timbers[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis: Nat. Sci. Edi.*, 2004, 26(2): 196-199. (in Chinese)
- [21] 涂淑萍,叶长娣,王蕾,等.黄竹叶片营养与土壤肥力及产量的相关研究[J].*江西农业大学学报*,2011,33(5):918-923.
- TU S P, YE Z D, WANG L, et al. A study on correlation between leaf nutrition and soil fertility and output of *Bambusa rigida* [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2011, 33(5): 918-923. (in Chinese)
- [22] 刘西军,丁正亮,徐小牛.毛竹叶片生物量、养分及与土壤的耦合特征[J].*世界竹藤通讯*,2010,9(5):1-6.
- LIU X J, DING Z L, XU X N. Leaf biomass and nutrient and their coupling characteristics with soil of *Phyllostachys pubescens*[J]. *World Bamboo and Rattan*, 2011, 9(5): 1-6. (in Chinese)
- [23] 李晓娜.帽儿山天然次生林常见下木生物量的相对生长与分配[D].哈尔滨:东北林业大学,2010.
- [24] 田野.基于施肥处理不同起源毛竹林生物量研究[D].南昌:*江西农业大学*,2011.
- [25] 郑瑞钰.毛竹林竹蔸施肥对竹蔸腐烂及出笋的影响[J].*福建林业科技*,2011,38(1):72-74.
- [26] 王婷,胡亮,郭晓敏.毛竹不同施肥处理出笋效应的研究[J].*安徽农业科学*,2010,38(18):9489-9490.
- [27] 林华.粗放经营苦竹笋用林立竹年龄结构优化研究[J].*世界竹藤通讯*,2008,6(4):27-29.
- LIN H. Study on age structure models of extensively managed *Pleioblastus amarus* shoot forest[J]. *World Bamboo and Rattan*, 2008, 6(4): 27-29. (in Chinese)
- [28] 苏文会,范少辉,刘亚迪,等.车筒竹地上生物量分配格局及秆形特征[J].*浙江农林大学学报*,2011,28(5):735-740.
- SU W H, FAN S H, LIU Y D, et al. Over-ground biomass distribution pattern and culm form characteristics of *Bambusa sinospinosa*[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2011, 28(5): 735-740. (in Chinese)
- [29] 吴高潮,李景侠,张国桢,等.秦岭箭竹种群生物量研究[J].*西北林学院学报*,2014,29(1):46-50.
- WU G C, LI J X, ZHANG G Z, et al. Biomass of the *Fargesia qinlingensis* population in Qinling Mountains [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(1): 46-50. (in Chinese)
- [30] 吴珍花,郭晓敏,谢意太,等.不同施肥处理对毛竹根系有机酸含量的影响研究[J].*西北林学院学报*,2015,30(2):59-64.
- WU Z H, GUO X M, XIE Y T, et al. Determination of organic acids exudated from fertilized moso bamboo roots by high performance liquid chromatography[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2015, 30(2): 59-64. (in Chinese)
- [31] 黎曦.赣南毛竹、硬头黄竹、坭竹等竹林生物量的研究[D].南京:南京林业大学,2007.