

绿竹地上部营养元素的吸收、积累和分配特性

叶晶^{1,2}, 陶立华¹, 柯和佳³, 项婷婷², 吴家森^{2,4}

(1. 浙江省临安市板桥镇农业公共服务中心, 浙江 临安 311301; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省苍南县林业局, 浙江 苍南 325800; 4. 浙江农林大学 浙江省土壤污染生物修复重点实验室, 浙江 临安 311300)

摘要: 绿竹 *Dendrocalamopsis oldhami* 是重要的笋材两用丛生竹之一, 具有可持续经营和长期获益的特点。研究了绿竹地上部 9 种营养元素的吸收、积累和分配特性, 为绿竹的养分管理提供基础。于 2013 年 1 月, 在绿竹中心产区浙江省苍南县, 在实地踏查基础上, 采集不同年龄绿竹叶、枝、秆等样品, 分析氮(N), 磷(P), 钾(K)等 9 种营养元素质量分数。结果表明: 绿竹各器官中营养元素质量分数大小次序均表现为: 叶>枝>秆。各器官元素的质量分数均以氮元素最高, 而以铜质量分数最低。绿竹地上部营养元素积累量为 621.07 kg·hm⁻², 大小顺序为秆(344.04 kg·hm⁻²)>叶(158.81 kg·hm⁻²)>枝(118.22 kg·hm⁻²), 营养元素的积累量大小顺序为氮>钾>磷>镁>钙>铁>锰>锌>铜, 积累量最多的是氮(354.28 kg·hm⁻²), 占地上部积累量的 57.04%, 生产 1.0 t 干物质所需 5 种主要营养元素(氮、磷、钾、钙、镁)为 12.92 kg, 其中氮素占 58.0%, 因此, 在生产中适当增施氮肥, 可以促进绿竹的生长。图 4 表 4 参 19

关键词: 植物学; 绿竹; 器官; 营养元素; 积累; 分配

中图分类号: S795.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2015)04-0545-06

Uptake, accumulation, and distribution of the main elemental nutrients in *Dendrocalamopsis oldhami*

YE Jing^{1,2}, TAO Lihua¹, KE Hejia³, XIANG Tingting², WU Jiasen^{2,4}

(1. Agricultural Service Center of Banqiao Town of Lin'an City, Lin'an 311301, Zhejiang, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Forest Enterprise of Cangnan, Cangnan 325800, Zhejiang, China; 4. Key Laboratory of Soil Contamination Bioremediation of Zhejiang Province, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: *Dendrocalamopsis oldhami* is an important dual-use product providing wood and bamboo shoots. To improve sustainable bamboo management for long-term benefits, the uptake, accumulation, and distribution of the main nutrients in the above-ground parts of *D. oldhami* were studied. In January 2013, plant samples of different aged leaves, branches, and culms of *D. oldhami* were collected in Cangnan, Zhejiang Province to analyze nine elemental nutrients, namely N, P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, and Cu. Results showed that the nutrient content was leaves > branches > culms. Total nutrient accumulation in above-ground parts was 621.07 kg·hm⁻² with culms (344.04 kg·hm⁻²) > leaves (158.81 kg·hm⁻²) > branches (118.22 kg·hm⁻²). The nutrient accumulation amount was N>K>P>Mg>Ca>Fe>Mn>Zn>Cu. Maximum N accumulation was 354.28 kg·hm⁻² accounting for 57.0% of the total accumulation in the above-ground parts. Since the net organic production of a *D. oldhami* forest required 12.92 kg of the main nutrition elements (N, P, K, Ca, Mg) per ton with 58.0% of that being N, to promote growth an increase of N fertilizer is required. [Ch, 4 fig. 4 tab. 19 ref.]

收稿日期: 2014-12-15; 修回日期: 2015-01-26

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(LY13C160010); 浙江农林大学科研发展基金资助项目(2014FR052)

作者简介: 叶晶, 从事农业技术推广工作。E-mail: yejingzj2013@163.com。通信作者: 吴家森, 教授级高级工程师, 博士, 从事森林土壤与植物营养方面的研究。E-mail: jswu@zafu.edu.cn

Key words: botany; *Dendrocalamopsis oldhami*; organ; nutrient elements; accumulation; distribution

植物营养元素的积累与分布是研究森林生态系统物流和能流的基础,体现了植物对某些营养元素的需求和吸收能力^[1],直接影响着森林的生产力,在一定程度上制约着地力的演变,对维持林地的养分平衡有重要作用^[2]。竹林是一种重要而特殊的森林资源,全球总面积超过 $2.2 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ^[3],具有可持续经营和长期获益的特点^[4]。丛生竹是竹子的重要组成部分,种类占世界竹种数的70%以上^[5]。绿竹 *Dendrocalamopsis oldhami* 属禾本科Grammineae 竹亚科 Bambusoideae 绿竹属丛生竹种,主要分布于浙江、福建、台湾,面积达 $2.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$,是优良的笋材两用竹种。绿竹笋笋味甘美,产于夏秋季节(5-10月),与毛竹 *Phyllostachys edulis* 和雷竹 *Phyllostachys violascens* 等散生竹竹笋错峰上市,具有很好的经济效益。前人对竹林养分循环的研究主要集中于毛竹、雷竹等散生竹种^[6-8],相关学者也初步研究了绿竹叶片部分营养元素变化^[9],但绿竹枝、秆等氮和微量元素则没有涉及。植物的种类和生长状况决定了植物体的营养元素质量分数,了解植物体营养元素质量分数可以有效掌握该植物营养状况,这对经济作物的科学施肥具有重要意义^[10],为此作者较系统地研究了不同年龄绿竹地上部各器官氮、磷、钾等9种营养元素的吸收、积累和分配,可为绿竹的经营管理,特别是林地养分管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于浙江省苍南县桥墩镇,地理位置为 $27^{\circ}29'29''\text{N}$, $120^{\circ}18'39''\text{E}$,海拔45 m,坡度 2° ,南坡。属亚热带海洋性季风气候,年均气温为 $17.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年均无霜期为 248.0 d,年均降水量 1 670.0 mm。试验地土壤基本理化性质如表 1 所示。

表 1 试验地土壤基本理化性质

Table 1 Basic physicochemical properties of soil in the experiment

土层/cm	容重/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	pH(H_2O)	有机质/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碱解氮/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效磷/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
0~10	1.23	5.1	53.3	266.6	11.2	40.0
10~30	1.27	5.3	30.7	128.9	1.9	25.9
30~60	1.27	5.5	19.8	87.8	0.6	20.4
60~100	1.31	6.0	24.2	115.2	0.5	17.7

1.2 样品采集与分析

1.2.1 生物量调查与样品采集 2013年1月,在查阅森林资源档案和全面踏查的基础上,选择林分结构均为人工栽植的绿竹纯林,由1~3年生年龄段的竹子组成,生长状况良好,立地条件基本相似等具有代表性特征的绿竹林分4块,建立 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的标准地。在标准地内按不同年龄进行每株检尺,计算出不同年龄绿竹的平均胸径,选取与平均胸径一致的作为标准株,砍伐不同年龄标准株各1株,并测量其株高。将不同标准株分为叶、枝、秆,野外称出各器官鲜质量。枝和秆上部、中部、下部3个部位取样组成混合样品,并各取 500~1 000 g(准确称质量)于样品袋中,带回实验室分析^[11]。地上部生物量按样地中各年龄标准株生物量和各年龄株数计算^[12]。在标准地中选择有代表性地块3个,挖取土壤剖面,分别取 0~10、10~30、30~60 和 60~100 cm 土层土壤样品,分别混合3个剖面中不同土层样品作为该标准地不同土层的混合样 1 000 g 于样品袋中,同时采集不同土层容重样,带回实验室分析。

1.2.2 分析方法和数据处理 植株样品在实验室内用去离子水清洗后,于 $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青 30 min, $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒量,用高速粉碎机将样品粉碎后待用。将处理好的样品分为2份,1份用 Elementar Vario MAX CN 碳氮元素分析仪(德国 Elementar 公司)测定氮(N)质量分数;另1份称取 0.200 0~0.300 0 g 样品,用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 凯氏消煮法溶样,火焰光度计法测定钾(K)质量分数;钼蓝比色-分光光度法测定磷(P)质量分数;采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES),用 Perkin ICP-MS 7000(美国 Perkin Elmer 公司)测定钙(Ca),镁(Mg),铁(Fe),锰(Mn),锌(Zn)和铜(Cu)元素的质量分数^[13]。营养元素积累量(吸收量)=养分质量分数 \times 干物质量。植物地上部分某器官营养元素分配(%)=某器官营养元素积累量/地上

部分积累量 $\times 100\%$ ^[14]。数据处理使用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 分析软件进行。文中数据均为 4 块标准地的平均值。

2 结果与分析

2.1 绿竹林分基本特征及标准株生物量

从表 2 可知：绿竹不同年龄植株胸径大小的排序为 1 年生 $>$ 2 年生 $>$ 3 年生，平均株高差异不大，约 8 m 左右，不同年龄存在的差异主要是人为经营如母竹留养、砍伐强度引起的。绿竹单株地上部生物量为秆 $>$ 枝 $>$ 叶。随着年龄的增长，叶生物量占地上部生物量的比重保持相对稳定，约占 12%，而枝生物量所占比重有所上升，秆生长量所占比重则有所下降。上升与下降的比重均在 4% 左右。

表 2 绿竹林分基本特征及标准株生物量

Table 2 Basic characteristics and standard plant biomass in *Dendrocalamopsis oldhami* stand

竹龄/a	密度/(株 \cdot hm ⁻²)	胸径/cm	株高/m	标准株生物量/(g \cdot 株 ⁻¹)		
				秆	枝	叶
1	4 000 \pm 744 a	5.3 \pm 0.4 a	9.4 \pm 1.0 a	2 647.8 \pm 523.7 a	-	-
2	5 179 \pm 886 a	5.1 \pm 0.9 a	7.0 \pm 1.0 a	2 469.1 \pm 548.9 a	937.4 \pm 163.0 a	477.1 \pm 101.6 a
3	3 850 \pm 622 a	4.7 \pm 0.9 a	6.7 \pm 0.8 a	2 706.0 \pm 403.2 a	1 280.6 \pm 311.3 a	568.3 \pm 167.9 a

说明：表中数据为平均值 \pm 标准差。

2.2 绿竹地上部各器官营养元素质量分数

2.2.1 绿竹地上部各器官氮、磷、钾质量分数 由图 1 可以看出：绿竹氮、磷、钾质量分数均为叶 $>$ 枝 $>$ 秆，各器官中营养元素的质量分数均表现为氮 $>$ 钾 $>$ 磷，3 种大量元素在叶中保持相对稳定，在枝、秆中则随着年龄的增大而减少。氮、钾、磷的质量分数在叶片中为 23.65~23.73，3.95~4.00，1.32~1.34 g \cdot kg⁻¹，在枝中为 6.35~7.11，3.13~3.78，0.53~0.70 g \cdot kg⁻¹，在秆中为 4.56~6.19，3.00~4.87，0.33~0.81 g \cdot kg⁻¹。

2.2.2 绿竹地上部各器官钙、镁质量分数 由图 2 可以看出：绿竹地上部各器官中钙和镁质量分数大小为叶 $>$ 枝 $>$ 秆。叶中营养元素质量分数钙 $>$ 镁，而枝、秆中营养元素质量分数则表现为钙 $<$ 镁。钙和镁质量分数在叶、秆中保持相对稳定，而在枝中则随着年龄的增大而降低。钙和镁质量分数在叶片中为 2.46~2.54，1.78~1.86 g \cdot kg⁻¹，在枝中为 0.33~0.50，0.43~0.50 g \cdot kg⁻¹，在秆中介于 0.19~0.22，0.30~0.32 g \cdot kg⁻¹。

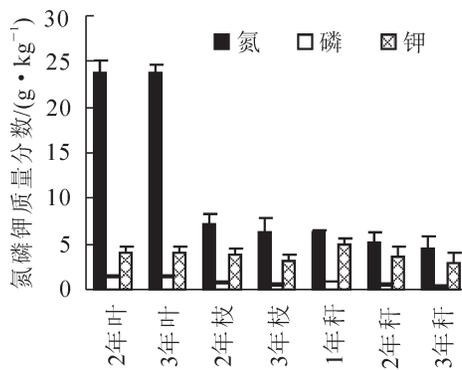


图 1 不同年龄绿竹各器官中氮、磷、钾质量分数

Figure 1 N, P and K contents in different organs of *Dendrocalamopsis oldhami* with different bamboo ages

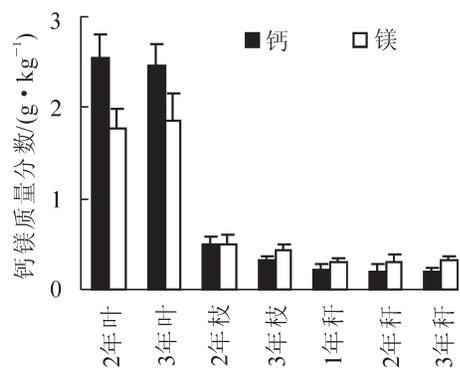


图 2 不同年龄绿竹各器官中钙、镁质量分数

Figure 2 Ca and Mg contents in different organs of *Dendrocalamopsis oldhami* with different bamboo ages

2.2.3 绿竹地上部各器官铁、锰、锌、铜质量分数 由图 3 可以看出：绿竹地上部各器官中铁、锰、锌、铜质量分数大小为叶 $>$ 枝 $>$ 秆。随着年龄的增大，叶片中铁质量分数增加，而锰、锌、铜质量分数

减小, 枝中4种微量元素质量分数均减少, 秆中锰质量分数增加, 铁、锌、铜质量分数则降低。绿竹枝、秆中营养元素质量分数大小表现为铁>锰>锌>铜, 而叶中质量分数大小则为锰>铁>锌>铜。铁、锰、锌、铜质量分数在叶中分别为333.98~351.31, 503.26~521.50, 21.59~23.23, 6.83~7.58 mg·kg⁻¹, 在枝中分别为131.49~200.16, 118.77~119.71, 15.96~17.01, 3.82~4.67 mg·kg⁻¹, 在秆中分别为21.07~73.36, 16.00~39.64, 5.82~7.20, 2.00~3.87 mg·kg⁻¹。

2.3 绿竹地上部各器官营养元素积累量

由表3可以看出, 绿竹地上部各器官9种营养元素的积累量为621.07 kg·hm⁻², 不同器官营养元素积累量的大小顺序为秆(344.04 kg·hm⁻²)>叶(158.81 kg·hm⁻²)>枝(118.22 kg·hm⁻²), 不同器官对各营养元素的积累量大小顺序为氮>钾>磷>镁>钙>铁>锰>锌>铜。

表3 绿竹不同器官各营养元素的积累量

Table 3 Nutrients accumulation amounts in different organs of *Dendrocalamopsis oldhami*

器官	生物量/(t·hm ⁻²)	营养元素积累量/(kg·hm ⁻²)									
		氮	磷	钾	钙	镁	铁	锰	锌	铜	合计
叶	4.64	110.41	6.20	17.95	11.66	8.48	1.59	2.39	0.10	0.03	158.81
枝	9.71	65.83	5.98	34.82	4.05	4.55	1.62	1.17	0.16	0.04	118.22
秆	32.94	178.04	18.01	127.88	6.76	10.46	1.51	1.08	0.21	0.09	344.04
小计	47.29	354.28	30.19	180.65	22.47	23.49	4.72	4.64	0.47	0.16	621.07

2.4 绿竹地上部各器官营养元素的分配

由图4可知: 不同营养元素在叶、枝、秆中的分配率并不一致, 有4种营养元素在秆中的分配率达一半以上, 大小顺序分别是钾(70.8%)>磷(59.7%)>铜(56.3%)>氮(50.3%); 钙和镁元素在叶片中的分配率为51.9%和51.5%; 铁在叶、枝、秆中的分配相对均匀, 其值在33%左右; 锰和锌在秆中的分配率在44.5%~44.7%。

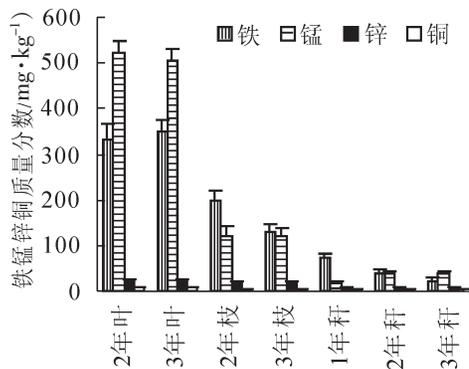


图3 不同年龄绿竹各器官铁、锰、锌、铜质量分数

Figure 3 Fe, Mn, Zn and Cu contents in different organs of *Dendrocalamopsis oldhami* with different bamboo ages

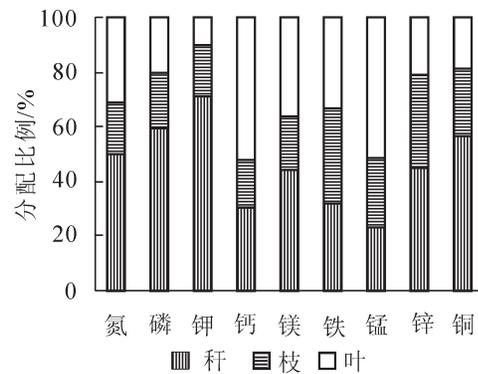


图4 绿竹9种营养元素积累量在各器官中的分配

Figure 4 Distribution of nutrient elements in organs of *Dendrocalamopsis oldhami*

2.5 绿竹不同营养元素的利用效率

营养元素利用效率反映了植物对土壤养分环境的适应和利用状况, 可用Chapin指数表示, 即植物养分积累量与植物生物量之比^[15]。从表4可以看出: 绿竹生产1.0 t干物质所需5种营养元素为12.92 kg, 略低于材用竹毛竹^[16]和苦竹 *Pleioblastus amarus*^[17], 而高于雷竹^[18]和青皮竹 *Bambusa textilis*^[19]。5种营养元素中需要量最大的是氮素, 达7.49 kg, 占58.0%。

表 4 不同竹种的营养元素利用效率比较

Table 4 Nutrients utilization efficiencies of different bamboo species

竹种	营养元素利用效率/(kg·t ⁻¹)						数据来源
	氮	磷	钾	钙	镁	合计	
绿竹 <i>Dendrocalamopsis oldhami</i>	7.49	0.64	3.82	0.48	0.50	12.92	本研究
青皮竹 <i>Bambusa textilis</i>	4.61	0.99	3.12	0.67	0.61	10.00	[19]
苦竹 <i>Pleioblastus amarus</i>	7.79	0.61	6.10	1.25	0.81	16.57	[17]
毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i>	5.19	0.26	6.72	0.32	0.49	12.98	[16]
雷竹 <i>Phyllostachys violascens</i>	3.33	0.53	1.65	0.25	0.10	5.86	[18]

3 讨论与结论

在植物生长过程中各器官所起的作用不同, 其生理机能和生物学特性有很大差异, 对营养元素的需要量也不同, 因此绿竹地上部各营养元素质量分数因器官不同而存在差异。9 种营养元素质量分数在绿竹各器官中均表现为叶>枝>秆, 这主要是由于叶是植物进行光合作用重要的营养器官, 生命活动最为活跃, 因而营养元素质量分数在叶中表现为最高。这与吴家森等^[18]在雷竹上的研究一致。绿竹地上部各器官对不同营养元素的选择吸收不同, 因而质量分数也不同, 各器官元素的质量分数均以氮元素最高, 而以铜质量分数最低。

从绿竹不同年龄来看, 各器官不同营养元素质量分数基本随着竹子年龄增大而减小, 与刘力等^[17]在苦竹上的研究基本一致, 表明营养元素在代谢强的幼竹上积累, 并随着竹子的不断生长营养进行再分配和继续利用, 合成新竹逐步消耗而减少。绿竹地上部营养元素积累量为 621.07 kg·hm⁻², 不同器官按营养元素积累量大小排序为秆>叶>枝。各器官营养元素积累量最多的是氮, 为 354.28 kg·hm⁻², 占地上部积累量的 57.04%, 绿竹每生产 1.0 t 干物质所需 5 种主要营养元素(氮、磷、钾、钙、镁)为 12.92 kg, 其中需要量最大的是氮素, 达 7.49 kg, 占 58.0%, 表明绿竹具有较强的氮吸收能力。适时合理地补充氮肥, 可以促进绿竹的生长; 其他营养元素积累量次序为钾>磷>镁>钙>铁>锰>锌>铜。竹秆中钾、磷、铜、氮和叶片中钙、锰元素在地上部的分配率均达到 50%以上; 铁在地上部不同器官中的分配率相对均匀, 约为 33%左右; 镁和锌在秆中的分配率在 44.5%~44.7%。

4 参考文献

- [1] 杨菲, 肖唐付, 周连碧, 等. 铜矿尾矿库无土修复植物营养元素含量特征[J]. 地球与环境, 2011, **39**(4): 464 - 468.
YANG Fei, XIAO Tangfu, ZHOU Lianbi, et al. Characteristics of nutrient element contents in plants grown in copper mine tailings [J]. *Earth Environ*, 2011, **39**(4): 464 - 468.
- [2] SHARMA J C, SHARMA Y. Nutrient cycling in forest ecosystems: a review [J]. *Agric Rev*, 2004, **25**(3): 157 - 172.
- [3] 李伟成, 盛海燕, 钟哲科. 竹林生态系统及其长期定位观测研究的重要性[J]. 林业科学, 2006, **42**(8): 95 - 101.
LI Weicheng, SHENG Haiyan, ZHONG Zheke. Importance of long-term location investigation for bamboo ecosystem [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42**(8): 95 - 101.
- [4] 彭颖, 范少辉, 苏文会, 等. 籼竹地上生物量分配格局及秆形结构特征[J]. 四川农业大学学报, 2013, **31**(3): 296 - 301.
PENG Ying, FAN Shaohui, SU Wenhui, et al. Distribution pattern of above-ground biomass and culm form characteristics of *Bambusa blumeana* [J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2013, **31**(3): 296 - 301.
- [5] 陈宝昆, 杨宇明, 张国学, 等. 大型丛生竹的培育技术及其综合利用研究[J]. 西部林业科学, 2007, **36**(2): 1 - 9.
CHEN Baokun, YANG Yuming, ZHANG Guoxue, et al. A study on cultivation and integrated utilization of large-size cluster bamboo [J]. *J West China For Sci*, 2007, **36**(2): 1 - 9.
- [6] WU Jiasen, XU Qiufang, JIANG Peikun, et al. Dynamics and distribution of nutrition elements in bamboos [J]. *J Plant Nutr*, 2009, **32**(3): 489 - 501.
- [7] 黄张婷, 姜培坤, 宋照亮, 等. 不同竹龄雷竹中硅及其他营养元素吸收和积累特征[J]. 应用生态学报,

- 2013, **24**(5): 1347 – 1353.
- HUANG Zhangting, JIANG Peikun, SONG Zhaoliang, *et al.* Uptake and accumulation characteristics of silicon and other nutritional elements in different age *Phyllostachys praecox* plants [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2013, **24**(5): 1347 – 1353.
- [8] 邱尔发, 陈卓梅, 洪伟, 等. 山地麻竹林生态系统养分分配格局[J]. 生态学报, 2004, **24**(12): 2693 – 2699.
- QIU Erfa, CHEN Zhuomei, HONG Wei, *et al.* Nutrient allocation pattern of *Dendrocalamus latiflorus* forest ecosystem planted on hill [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, **24**(12): 2693 – 2699.
- [9] 林益明, 林鹏. 绿竹 *Dendrocalamopsis oldhami* 林的几种营养元素含量特征及其动态[J]. 武夷科学, 1998, **14**(12): 229 – 233.
- LIN Yiming, LIN Peng. The content and dynamics of nutrient elements in *Dendrocalamopsis oldhami* forest [J]. *Wuyi Sci J*, 1998, **14**(12): 229 – 233.
- [10] 邱细妹. 绿竹不同器官养分含量变化研究[J]. 安徽农学通报, 2012, **18**(17): 149 – 150.
- QIU Ximei. The research of nutrient content in different organs change of *Dendrocalamopsis oldhami* [J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2012, **18**(17): 149 – 150.
- [11] 王刚, 周本智, 李晓靖, 等. 吊丝单竹林生态系统碳储量及其垂直空间分配特征[J]. 热带亚热带植物学报, 2012, **20**(1): 72 – 77.
- WANG Gang, ZHOU Benzhi, LI Xiaojing, *et al.* Carbon storage and vertical spatial distribution of *Dendrocalamopsis vario-striata* ecosystem [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2012, **20**(1): 72 – 77.
- [12] 张学元. 青海黄土丘陵区退耕还林地沙棘林生物量研究[J]. 林业调查规划, 2011, **36**(4): 25 – 27.
- ZHANG Xueyuan. Biomass of *Hippophae rhamnoides* forest on converted land in Loess Hilly Plateau of Qinghai Province [J]. *For Invent Plan*, 2011, **36**(4): 25 – 27.
- [13] 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, 2000: 146 – 226.
- [14] 陈恺林, 刘洋, 张玉焯, 等. 不同水分管理下覆膜旱植稻营养特性及其与光合生理的相关性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, **19**(6): 1287 – 1296.
- CHEN Kailin, LIU Yang, ZHANG Yuzhu, *et al.* Relationships between nutrition uptake characteristics and photosynthetic physiology under different water managements of mulching upland rice [J]. *J Plant Nutr Fert*, 2013, **19**(6): 1287 – 1296.
- [15] 韦善华, 何斌, 魏国余, 等. 速生阶段灰木莲人工林营养元素积累及其分配格局[J]. 东北林业大学学报, 2012, **40**(12): 36 – 39.
- WEI Shanhua, HE Bin, WEI Guoyu, *et al.* Accumulation and distribution of nutrients in *Manglietia glauca* plantation at fast growing stage [J]. *J Northeast For Univ*, 2012, **40**(12): 36 – 39.
- [16] 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.
- WU Jiasen, ZHOU Guomo, QIAN Xinbiao, *et al.* Distribution of nutrient elements in different organs of *Phyllostachys pubescens* under different managements [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22**(5): 486 – 489.
- [17] 刘力, 林新春, 金爱武, 等. 苦竹各器官营养元素分析[J]. 浙江林学院学报, 2004, **21**(2): 172 – 175.
- LIU Li, LIN Xinchun, JIN Aiwu, *et al.* Analysis of nutrient elements in various organs of *Pleioblastus amarus* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2004, **21**(2): 172 – 175.
- [18] 吴家森, 吴夏华, 叶飞. 雷竹林营养元素分配与积累[J]. 竹子研究汇刊, 2005, **24**(1): 29 – 31.
- WU Jiasen, WU Xiaohua, YE Fei. Nutrient Distribution and Accumulation in *Phyllostachys praecox* f. *prevernalis* [J]. *J Bamboo Res*, 2005, **24**(1): 29 – 31.
- [19] 叶晶, 葛高波, 应雨骐, 等. 青皮竹地上部营养元素的吸收、积累和分配特性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, **21**(1): 164 – 170.
- YE Jing, GE Gaobo, YING Yuqi, *et al.* Absorption, accumulation and distribution of bamboo (*Bambusa textilis*) to the main nutrients [J]. *J Plant Nutr Fert*, 2015, **21**(1): 164 – 170.