植物营养与肥料学报 2015,21(1):164-170
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2015.0118

青皮竹地上部营养元素的吸收、积累和分配特性研究

叶晶[1,2], 葛高波[1], 应雨骐[1], 项婷婷[1], 陶立华[2], 吴家森[1,3]*
(1 浙江农林大学环境与资源学院, 浙江临安 311300; 2 临安市板桥镇农业公共服务中心, 浙江临安 311301;
3 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)

摘要:【目的】青皮竹(*Bambusa textilis*)是重要的笋材两用丛生竹之一,具有一次造林成功即可永续利用、长期获益的特点,但对青皮竹的营养特性知之甚少。本文拟研究青皮竹地上部营养元素的吸收、积累和分配特性,为青皮竹的养分管理提供基础数据,以指导青皮竹的科学施肥工作。**【方法】**本研究于2013年1月,在青皮竹中心产区广东省广宁县,选择林分类型、组成、结构、生长状况和立地条件等具有代表性的青皮竹林分4块,建立面积为20 m×20 m的标准地。对每块标准地内的竹子按不同年龄进行每株检尺,计算出不同年龄竹子的平均胸径,选取与平均胸径一致的竹子作为标准株,砍伐不同年龄标准株各1株,并测量其株高。将不同标准株分叶、枝、秆,野外称出各器官鲜重。枝、秆分上、中、下三个部位取样组成混合样品,用于分析不同年龄(1～3 a)和不同器官(叶、枝、秆)的植株样品氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)和铜(Cu)等9种营养元素含量。**【结果】**青皮竹各器官中营养元素含量大小次序表现为Cu、Zn元素为枝>叶>秆,其他7种元素均表现为叶>枝>秆。各器官元素的含量均以氮元素最高,而以Cu含量最低。青皮竹地上部营养元素积累量为489.96 kg/hm^2,不同器官营养元素积累量的大小顺序为秆(331.05 kg/hm^2)>叶(101.14 kg/hm^2)>枝(57.77 kg/hm^2),营养元素的积累量大小顺序为N>K>P>Ca>Mg>Fe>Mn>Zn>Cu。各器官营养元素积累量最多的是氮,为219.59 kg/hm^2,占地上部积累量的44.82%,表明青皮竹具有较强的氮吸收能力。青皮竹地上部各器官营养元素的分配率大小顺序总体表现为秆(67.57%)>叶(20.64%)>枝(11.79%)。**【结论】**营养元素吸收量反映了植物对土壤养分需求和利用状况。青皮竹每生产1 t干物质所需5种大量营养元素为10.00 kg,以氮的吸收最多,其累积吸收量为219.59 kg/hm^2,占地上部积累量的44.82%。因此,在青皮竹生产过程中应适当增施氮肥,可以促进青皮竹特别是经济部位茎秆的生长。

关键词: 青皮竹; 器官; 营养元素; 积累; 分配
中图分类号: S718.43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)01-0164-07

Absorption, accumulation and distribution of bamboo (*Bambusa textilis*) to the main nutrients

YE Jing[1,2], GE Gao-bo[1], YING Yu-qi[1], XIANG Ting-ting[1], TAO Li-hua[2], WU Jia-sen[1,3]*
(*1 School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A&F University, Lin'an, Zhejiang 311300, China;*
2 Agricultural Service Center of Banqiao Town of Lin'an City, Lin'an, Zhejiang 311301, China;
3 Zhejiang A&F University/Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

Abstract:【Objectives】 Bamboo, *Bambusa textilis*, is one of the important dual-use materials for wood and bamboo shoot. It can be sustainably harvested and obtained long-term benefit after once forestation, but little is known about the nutrition characteristics of *Bambusa textilis*. In this study, the absorption, accumulation and distribution to the main nutrients by *Bambusa textilis* in the above-ground parts were investigated to provide basic

收稿日期: 2013-12-09 **接受日期:** 2014-08-01
基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY13C160010); 浙江农林大学科研发展基金项目(2014FR052)资助。
作者简介: 叶晶(1989—), 男, 浙江建德人, 硕士, 主要从事土水环境方面研究。E-mail: yejingzj2013@163.com
* 通信作者 E-mail: jswu@zafu.edu.cn

data information for the nutrient management in *Bambusa textilis* plantition. 【**Methods**】In January 2013, four typical *Bambusa textilis* forest blocks (20 m × 20 m) were selected basing on comprehensive investigation related to typical forest type, composition, structure, growth condition and site conditions. The age of every bamboo plant was investigated and the average breast diameters of bamboo plants at different ages were calculated. From each plot, one bamboo plant with the same average diameter at the same age was chosen for sampling. The plant heights, fresh weights of leaves and culms of bamboo were measured. Branches and culms at the top, middle and below were separately sampled and mixed as samples, and were collected for lab analysis of the contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn and Cu. 【**Results**】The nutrient contents in bamboo peels of different ages (1-3 a) and different organs (leaves, branches, culms) are: Cu and Zn in the order of branches > leaves > culms, the other seven nutrients in the order of leaves > branches > culms. The highest nutrient content in the various organs is N, the lowest is Cu. The total nutrient accumulation in the above-ground parts is 489.96 kg/ha, and the accumulation amounts are in the order of culms (331.05 kg/ha) > leaves (101.14 kg/ha) > branches (57.77 kg/ha). The nutrient accumulation amount is in order of N > K > P > Ca > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu. The maximum accumulation in various organs is N (219.59 kg/ha), accounting for 44.82% of the total accumulation in the above-ground parts, which indicates a strong absorption capacity and requirement to N by bamboo. The nutrients distribution in the above-ground parts is in order of culms (67.57%) > leaves (20.64%) > branches (11.79%). 【**Conclusions**】The contents and accumulation of nutrients represent the requirement of plants to soil nutrition. The net biomass production per ton of the bamboo *Bambusa textilis* forest needs 10.00 kg of macro-elements. Among the investigated nutrients, the accumulation of N is the highest with total absorption of 219.59 kg/ha and accounting for 44.82% of the total nutrients absorption. Therefore, the application of appropriate nitrogen fertilizer should be considered for promoting the growth of *Bambusa textilis*, especially the economic parts of bamboo culms.

Key words: *Bambusa textilis*; organ; nutrient elements; accumulation; distribution

植物中营养元素的积累、分配体现了植物在一定生态条件下对某些营养元素的需求和吸收能力[1],反映了植物与环境间的关系[2]。竹林是一种重要而特殊的森林资源,全球总面积超过 2.2×10^7 hm^2[3],具有一次造林成功即可永续利用、长期获益的特点[4]。丛生竹是竹子资源的重要组成部分,种类占世界竹子总数的 70% 以上[5]。我国丛生竹有 16 属 160 余种,面积 $8.0\times10^5 hm^2$,年产竹材 5.0×10^6 t[6]。

青皮竹(*Bambusa textilis*)是重要的丛生竹之一,成丛集聚,生长迅速,具有适应性强、繁殖容易、经营管理简便的特点,既是笋材两用竹种,也是美化环境、护岸固沙的好竹种,经济和生态效益极其显著[7-9]。有关人员已对毛竹、雷竹、苦竹的养分循环进行了较系统的研究[10-12],但对于青皮竹等丛生竹的研究则未见报道。为此本研究调查和分析了不同年龄青皮竹地上部各器官主要营养元素的含量、积累和分配,可为青皮竹的经营管理特别是林地营养管理提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

采样地点位于广东省广宁县坑口镇大良塘村,地理位置 E112°23′47″,N23°46′58″,海拔 96 m,坡度 30°,西南坡。属南亚热带季风气候,年平均温度 20.7°C,年平均降雨量 1732 mm,母岩为砂页岩。试验地土壤基本理化性质如表 1 所示。研究区域的青皮竹生长优良,林龄为 1 ～ 3 a,密度 610 ～ 750 clump/hm^2,地上部分生物量 35.70 ～ 59.60 t/hm^2,生长和经营水平具有较好的代表性。

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,在全面踏查的基础上,选择林分类型、组成、结构、生长状况和立地条件等具有代表性的青皮竹林分 4 块,建立面积为 20 m×20 m 的标准地。

对每块标准地内的竹子按不同年龄进行每株检尺,计算出不同年龄竹子的平均胸径,选取与平均胸径一致的竹子作为标准株,砍伐不同年龄标准株各 1 株,并测量其株高。将不同标准株分叶、枝、秆,

野外称出各器官鲜重。枝、秆分上、中、下三个部位取样组成混合样品,并各取500～1000 g(准确称重)于样品袋中,带回实验室分析[13]。竹林地上部分生物量按林分中标准株生物量和各林分株数计算[14]。

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) Soil depth	容重(g/cm^3) Bulk density	pH (H_2O)	有机质(g/kg) Organic matter	碱解氮(mg/kg) Hydrolytic N	有效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K
0—10	1.29	4.90	28.82	159.18	6.23	61.67
10—30	1.35	4.88	17.11	73.44	3.24	43.28
30—60	1.35	5.00	13.10	59.88	0.77	28.53
60—100	1.40	5.11	11.59	52.92	1.94	31.12

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 cm、10—30 cm、30—60 cm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1000 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 植株样品在实验室内用去离子水清洗后于105°C杀青30 min,80°C烘干至恒重,用高速粉碎机将样品粉碎后测定养分含量。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)含量;另1份称取0.2000～0.3000 g的样品,用$H_2SO_4-H_2O_2$凯氏消煮法溶样,火焰光度计法测定钾(K)含量;钼蓝比色-分光光度法测定磷(P)含量;采用ICP-AES法,用Perkin ICP-MS 7000(美国Perkin Elmer公司)测定钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)元素的含量[15]。

营养元素积累量(吸收量)=养分含量×干物质量

植物器官营养元素分配(%)=器官营养元素积累量/植物地上部分营养元素积累量×100[16]。

1.3 数据处理

数据处理使用Microsoft Excel 2003和DPS分析软件进行。

2 结果与分析

2.1 青皮竹林分基本特征及标准株生物量

青皮竹林分的基本特征及标准株生物量如表2所示。从表中可知,不同年龄青皮竹在林分中的生长存在一定的差异,主要受竹林生长的差异及人为经营(砍伐强度)的影响。不同年龄植株胸径大小的排序为1a>3a>2a,平均株高差异不大,均约10 m左右。

由表2还可得出,青皮竹单株地上部分生物量为秆>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,占6.2%左右,而枝生物量占地上部分生物量的比重则由2a的9.0%上升为3a生的13.3%。

表2 青皮竹林分基本特征及标准株生物量

Table 2 The basic characteristics and standard plant biomass in *Bambusa textilis* stand

树龄(a) Age	密度(plant/hm^2) Density	胸径(cm) DBH	株高(m) Height	标准株生物量(g/plant) Standard plant biomass		
				秆 Culm	枝 Branch	叶 Leaf
1	3963±1977	4.1±0.7	11.5±1.4	2204.00±490.31	—	—
2	6188±2362	3.6±0.9	10.1±1.4	2181.26±1121.24	233.55±122.95	159.83±20.75
3	6938±3264	4.0±1.1	10.3±2.9	3354.36±1584.81	556.30±312.76	260.40±130.65

注(Note): DBH—Diameter at breast height.

2.2　青皮竹地上部各部分营养元素含量比较

2.2.1 青皮竹地上部各部分氮、磷、钾含量比较　由图 1 可以看出,青皮竹各器官中的 N、P、K 含量均为叶 > 枝 > 秆。地上部各器官 N、K 含量随着年龄的增大而减少,下降幅度大小则表现为秆 > 枝 > 叶。随着年龄的增大,叶中磷的含量增大,而枝、秆中则相对减少。

青皮竹地上部各器官中营养元素的含量均表现为 N > K > P,N、K、P 的含量在叶片中介于 21.24 ～21.65、4.29 ～4.48、1.58 ～1.80 g/kg,在枝中介于 5.10 ～ 5.64、3.15 ～ 3.68、0.92 ～ 0.94 g/kg,在秆中介于 2.58 ～4.28、2.00 ～3.91、0.77 ～0.84 g/kg。

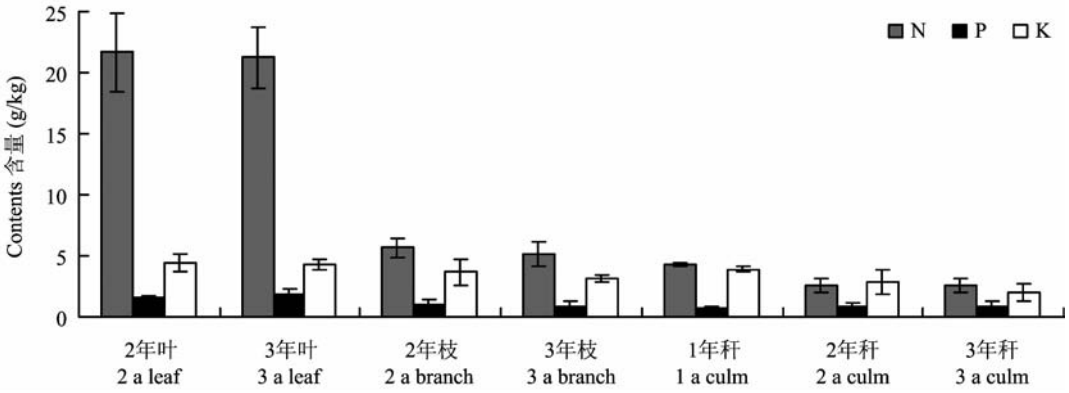

图 1　不同年龄青皮竹各器官中氮、磷、钾含量

Fig. 1　N, P and K Contents in different organs of *Bambusa textilis* in two and three years' bamboo

2.2.2 青皮竹地上部各部分钙、镁含量比较　由图 2 可以看出,青皮竹地上部各器官中 Ca、Mg 含量大小为叶 > 枝 > 秆。随着年龄的增大,Ca 含量在叶中相对降低,而在枝、秆中则相对增加,3a 生秆中的 Ca 含量显著高于 1、2a 生。随着年龄的增大,Mg 含量在叶、枝中减少,而秆中增加。

青皮竹 Ca、Mg 含量在叶片中介于 4783.09 ～4902.02、3228.84 ～ 3410.23 mg/kg,在枝中 Ca、Mg 元素含量介于 435.44 ～ 463.24、508.00 ～542.18 mg/kg,在秆中介于 154.51 ～481.76、212.56 ～487.25 mg/kg。青皮竹叶中营养元素含量 Ca > Mg,而枝、秆中营养元素含量则表现为 Ca < Mg。

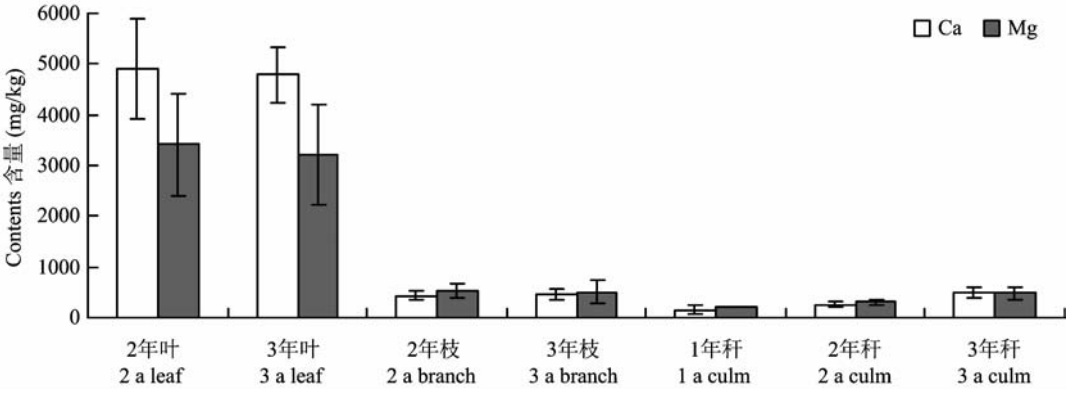

图 2　不同年龄青皮竹各器官中钙、镁含量

Fig. 2　Ca and Mg Contents in different organs of *Bambusa textilis* in two and three years' bamboo

2.2.3 青皮竹地上部各部位铁、锰、锌、铜含量比较　由图 3 可以看出,青皮竹地上部各器官中 Fe、Mn 含量大小为叶 > 枝 > 秆,而 Zn、Cu 含量大小顺序为枝 > 叶 > 秆。随着年龄的增大,青皮竹叶片中 Fe、Mn、Cu 含量降低,而 Zn 含量增加;枝中 Fe、Zn 含量减少,而 Mn、Cu 含量增加;秆中 Mn、Zn 含量增加,Fe 含量则呈先降低而后增加,而 Cu 含量则先增加后降低。

青皮竹地上部各器官营养元素含量大小表现为 Fe > Mn > Zn > Cu。Fe、Mn、Zn、Cu 含量在叶中分别介于 262.89～327.81、259.23～293.95、49.30～54.34、6.63～7.25 mg/kg，在枝中分别介于 159.70～250.03、141.49～217.97、56.65～68.05、9.42～10.54 mg/kg，在秆中分别介于 79.82～133.89、8.70～129.25、8.20～20.41、3.84～5.12 mg/kg。

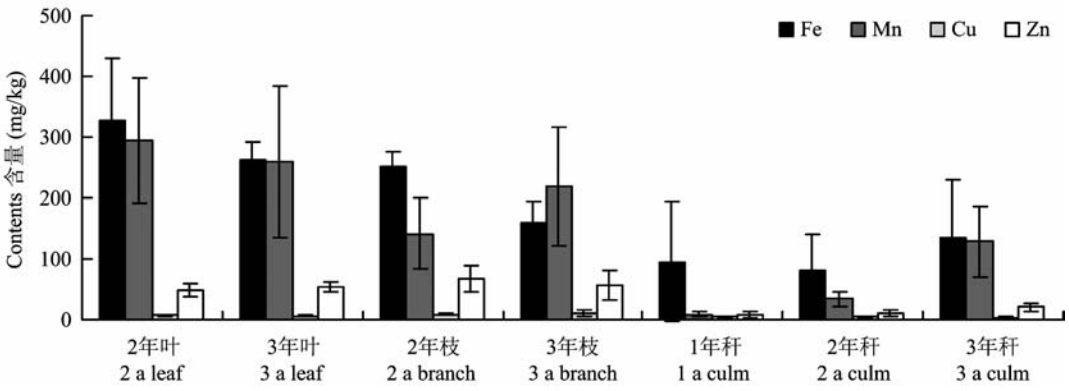

图3 不同年龄青皮竹各器官铁、锰、锌、铜含量

Fig. 3 Fe, Mn, Zn and Cu contents in different organs of *Bambusa textilis* in two and three years' bamboo

2.3 青皮竹地上部各部位营养元素积累量

由表3可以看出，青皮竹各营养元素主要积累在秆中。2 a 生秆中的 P、K、Fe、Cu 积累量占地上部各器官总积累量的 61.3%～79.9%，N、Mg、Mn、Zn 占总积累量的 48.1%～55.0%，Ca 占总积累量的 39.4%；3 a 生植株中 N、P、K、Cu 元素在竹秆中的积累开始下降，Ca、Mg、Fe、Mn、Zn 积累有所升高。

青皮竹地上部各器官9种营养元素的积累量为 489.96 kg/hm²（表4），不同器官营养元素积累量的大小顺序为茎秆（331.05 kg/hm²）> 叶（101.14 kg/hm²）> 枝（57.77 kg/hm²），不同器官对各营养元素的积累量大小顺序为 N > K > P > Ca > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu。

表3 青皮竹不同器官对各营养元素的积累量

Table 3 Nutrient amounts in different organs of *Bambusa textilis*

树龄(a) Age	器官 Organ	积累量 Accumulation (g/plant)					积累量 Accumulation (mg/plant)			
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
1	秆 Culm	9.41	1.69	8.60	0.34	0.47	210.07	19.17	18.07	11.19
	小计 Total	9.41	1.69	8.60	0.34	0.47	210.07	19.17	18.07	11.19
2	叶 Leaf	3.47	0.25	0.72	0.78	0.55	52.39	46.98	7.88	1.16
	枝 Branch	1.30	0.22	0.85	0.10	0.13	58.40	33.05	15.89	2.20
	秆 Culm	5.62	1.83	6.22	0.58	0.66	174.12	74.00	22.53	11.18
	小计 Total	10.39	2.30	7.79	1.46	1.34	284.91	154.02	46.31	14.54
3	叶 Leaf	5.52	0.47	1.12	1.24	0.84	68.46	67.50	14.15	1.73
	枝 Branch	2.86	0.51	1.76	0.26	0.28	88.84	121.26	31.52	5.87
	秆 Culm	8.63	2.77	6.68	1.61	1.63	449.12	433.54	68.48	12.87
	小计 Total	17.01	3.75	9.56	3.11	2.75	606.42	622.30	114.14	20.46

表 4　青皮竹不同器官对各营养元素单位面积的积累量 (kg/hm²)

Table 4　Nutrients accumulation amounts per hectare in the above-ground parts of *Bambusa textilis*

器官 Organ	生物量(t/hm²) Biomass	营养元素积累量 Nutrient accumulation									
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	合计 Sum
叶 Leaf	2.516	59.75	4.80	12.18	13.48	9.20	0.80	0.76	0.15	0.02	101.14
枝 Branch	4.816	27.85	4.90	17.47	2.42	2.74	0.98	1.05	0.32	0.05	57.77
秆 Culm	40.310	131.98	37.27	118.94	16.11	17.29	5.03	3.54	0.69	0.20	331.05
小计 Total	47.643	219.59	46.97	148.58	32.01	29.23	6.80	5.35	1.15	0.28	489.96

2.4　青皮竹地上部各部分营养元素的分配

由图 4 可知,青皮竹地上部各器官营养元素的分配率大小顺序总体表现为秆(67.57%) > 叶(20.64%) > 枝(11.79%)。N、P、K 元素在秆中的分配率分别为 60.10%、79.36% 和 80.05%,在叶中的分配率分别为 27.21%、10.22% 和 8.20%,在枝中的分配率分别为 12.68%、10.42% 和 11.76%。Ca、Mg 元素在秆中的分配率为 50.33% 和 59.14%,而在叶中的分配率则达到 42.12% 和 31.47%。

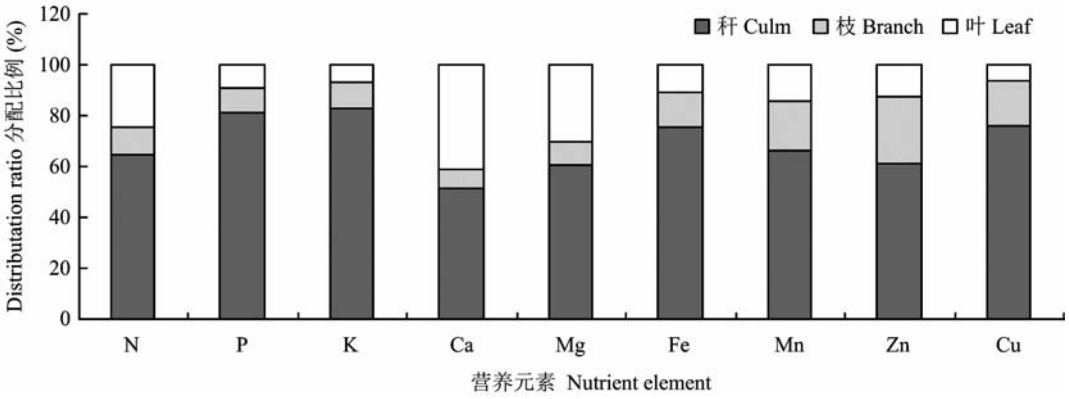

图 4　青皮竹 9 种营养元素积累量在各器官中的分配

Fig. 4　Distribution of nutrient elements in organs of *Bambusa textilis*

3　结论

青皮竹地上部各营养元素含量因器官不同而存在差异,Cu、Zn 含量大小为枝 > 叶 > 秆,而其他 7 种营养元素含量均表现为叶 > 枝 > 秆。各器官元素的含量均以氮元素最高,而以 Cu 含量最低,不同器官中钙镁含量与青秆竹相似[17]。青皮竹地上部营养元素积累量为 489.96 kg/hm²,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 219.59 kg/hm²,占地上部积累量的 44.82%,青皮竹每生产 1 t 干物质所需 5 种营养元素为 10.00 kg,其中需氮量达 4.61kg,占 46.10%,表明青皮竹具有较强的氮吸收能力,适时合理地补充氮肥,可能对促进青皮竹的生长具有良好的效果;其他营养元素积累量次序为 K > P > Ca > Mg > Fe > Mn > Zn > Cu。青皮竹地上部各器官营养元素的分配率大小顺序为秆(67.57%) > 叶(20.64%) > 枝(11.79%)。N、P、K 元素在秆中的分配率分别为 60.10%、79.36% 和 80.05%。这与雷竹不同器官营养元素的积累特征相似[11]。

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 F, Xiao T F, Zhou L B *et al*. Characteristics of nutrient element contents in plants grown in copper mine tailings[J]. Earth and Environment, 2011, 39(4): 464-468.

[2]　金茜, 王瑞, 周向睿, 等. 水淹胁迫对紫穗槐生长及营养元素积累的影响[J]. 草业科学, 2013, 30(6): 904-909.
Jin Q, Wang R, Zhou X R *et al*. Vegetative growth and nutrient element accumulation of amorpha fruticosa under different waterlogging stress conditions[J]. Pratacultural Science, 2013,

30(6): 904-909.

[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 W C, Sheng H Y, Zhong Z K. Importance of long-term location investigation for bamboo ecosystem[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(8): 95-101.

[4] 彭颖, 范少辉, 苏文会, 夏鹏云. 篌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 Y, Fan S H, Su W H, Xia P Y. Distribution pattern of above-ground biomass and culm form characteristics of bambusa blumeana[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 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 B K, Yang Y M, Zhang G X *et al*. A study on cultivation and integrated utilization of large-size cluster bamboo[J]. Journal of West China Forestry Science, 2007, 36(2): 1-9.

[6] 马乃训. 国产丛生竹类资源与利用[J]. 竹子研究汇刊, 2004, 23(1): 1-5.
Ma N X. Resourees of sympodial bamboos in China and their utilization[J]. Journal of Bamboo Research, 2004, 23(1): 1-5.

[7] 张自斌, 周光益, 林亲众. 我国丛生竹研究进展与问题探讨[J]. 热带林业, 2007, 35(2): 12-14.
Zhang Z B, Zhou G Y, Lin Q Z. Research progress and some problems in cluster bamboo in China[J]. Tropical Forestry, 2007, 35(2): 12-14.

[8] 吴良如, 高贵宾, 潘雁红, 等. 广宁县竹子资源培育利用展望[J]. 竹子研究汇刊, 2009, 28(4): 54-57.
Wu L R, Gao G B, Pan Y H *et al*. A study on bamboo cultivation and utilization in Guangning county[J]. Journal of Bamboo Research, 2009, 28(4): 54-57.

[9] 杨淑敏, 江泽慧, 任海青. 青皮竹研究进展及展望[J]. 竹子研究汇刊, 2007, 26(1): 15-19, 26.
Yang S M, Jiang Z H, Ren H Q. Advances in the study of *bambusa textiles*[J]. Journal of Bamboo Research, 2007, 26(1): 15-19, 26.

[10] Wu J S, Xu Q F, Jiang P K *et al*. Dynamics and distribution of nutrition elements in bamboos[J]. Journal of Plant Nutrition, 2009, 32(3): 489-501.

[11] 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 Z T, Jiang P K, Song Z L *et al*. Uptake and accumulation characteristics of silicon and other nutritional elements in different age *Phyllostachys praecox* plants[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5): 1347-1353.

[12] 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 E F, Chen Z M, Hong W *et al*. Nutrient allocation pattern of *Dendrocalamus latiflorus* forest ecosystem planted on hill[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2693-2699.

[13] 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 G, Zhou B Z, Li X J *et al*. Carbon storage and vertical spatial distribution of *Dendrocalamopsis vario-striata* ecosystem[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2012, 20(1): 72-77.

[14] 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 X Y. Biomass of *Hippophae rhamnoides* forest on converted land in Loess Hilly Plateau of Qinghai Province[J]. Forest Inventory and Planning, 2011, 36(4): 25-27.

[15] 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.
Lu R K. Analysis methods for soil and agro-chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. 146-226.

[16] 陈恺林, 刘洋, 张玉烛, 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 K L, Liu Y, Zhang Y Z *et al*. Relationships between nutrition uptake characteristics and photosynthetic physiology under different water managements of mulching upland rice[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013, 19(6): 1287-1296.

[17] 周毅, 古炎坤, 陈远生, 陈如强. 海岸带农林复合系主要植物的养分含量和分配[J]. 华南农业大学学报, 1999, 20(2): 55-59.
Zhou Y, Gu Y K, Chen Y S, Chen R Q. Content and allocation of nutrient elements of the main species in the coastal agroforestry system[J]. Journal of South China Agricultural University, 1999, 20(2): 55-59.