

毛竹林爆发式生长期立竹器官营养成分的动态变化

曾莹莹¹, 王玉魁², 蔡先锋¹, 于晓鹏¹, 李洪吉¹, 袁佳丽¹, 张汝民¹, 温国胜¹

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 国家林业局 竹子研究开发中心, 浙江 杭州 310012)

摘要: 为了探讨毛竹 *Phyllostachys edulis* 爆发式生长与营养物质积累的关系, 在毛竹爆发式生长期的 4, 5, 6 月中旬分别采集不同年龄(1, 3, 5 年生)立竹器官(叶、枝、秆、鞭)样品, 测定氮、磷、钾、钙和镁质量分数, 分析不同年龄立竹间差异。结果表明: 在毛竹爆发式生长期, 相同年龄立竹叶、枝、秆、鞭中的养分质量分数存在差异, 氮、磷、钾、钙和镁质量分数竹叶中最高, 平均分别为 23.18, 2.51, 12.28, 4.08, 和 0.96 g·kg⁻¹; 竹鞭次之, 竹秆中最低; 氮、磷、钾质量分数竹叶 4 月较低, 5 月和 6 月较高, 而在竹枝、竹秆、竹鞭中则是 4 月较高, 5 月和 6 月较低; 不同年龄立竹相同器官的营养元素质量分数也存在差异, 且不同营养元素的动态变化规律亦不相同。在显著水平为 0.05 的条件下, 4 月, 叶、枝、秆中氮、磷、钾质量分数 1 年生立竹高于 3 年生和 5 年生立竹; 5 月, 竹叶中钾质量分数随竹龄增加而减少, 叶、鞭中氮质量分数 1 年生和 3 年生立竹显著高于 5 年生立竹; 6 月, 竹叶中氮和磷质量分数 1 年生立竹显著低于 3 年生和 5 年生立竹, 竹鞭中氮和磷质量分数 1 年生立竹显著高于 3 年生和 5 年生立竹; 5–6 月, 不同年龄立竹叶、枝、秆中镁质量分数均差异不显著。研究表明: 毛竹在爆发式生长期立竹器官营养物质存在明显的生理整合作用。表 4 参 15

关键词: 植物学; 毛竹; 爆发式生长期; 器官; 营养元素

中图分类号: S714.8 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2015)02-0272-06

Nutritional elements in organs of a *Phyllostachys edulis* stand during its fast growth period

ZENG Yingying¹, WANG Yukui², CAI Xianfeng¹, YU Xiaopeng¹, LI Hongji¹, YUAN Jiali¹,
ZHANG Rumin¹, WEN Guosheng¹

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. China National Bamboo Research Center, Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

Abstract: To explain the relationship between the explosive growth of *Phyllostachys edulis* and nutrition accumulation, samples of different aged (1-, 3-, and 5-year old) *Ph. edulis* and their organs (leaf, branch, stem, and rhizome) were collected in April, May and June from Lin'an County, Zhejiang Province in eastern China. The content of N, P, K, Ca, and Mg were studied to determine any discrepancies among the different ages. Results showed that the average nutritional content for leaves (in g·kg⁻¹) of the same age during the fast growth period were N, 23.18; P, 2.51; K, 12.28; Ca, 4.08; and Mg, 0.96 with leaves being higher, in turn, than rhizomes, branches, and stems. During the fast growth period, N, P, and K concentrations in leaves were higher in April than in May and June; whereas branch, stem, and rhizome concentrations in April were lower than in May and June. Nutrient content in the same organ for different aged plants varied by month. In April, N, P, and K in leaves, branches, and stems were significantly greater ($P < 0.05$) in 1-year old stands than 3- and 5-year old; in May, as bamboo age increased, K in leaves significantly decreased ($P < 0.05$), but N in 1- and 3-year

收稿日期: 2014-05-04; 修回日期: 2014-07-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31270497, 30972397)

作者简介: 曾莹莹, 从事森林生态学研究。E-mail: lisazengyy@163.com。通信作者: 温国胜, 教授, 博士, 博士生导师, 从事生态学研究。E-mail: wgs@zafu.edu.cn

old leaves was significantly greater ($P < 0.05$) than 5-year old; in June, N and P in 1-year old leaves were significantly less ($P < 0.05$) than 3- and 5-year old, but in rhizomes were significantly greater ($P < 0.05$). From May to June, among different ages, Mg in leaves, branches, and stems was not significantly different ($P > 0.05$). This study indicated that in different organs of *Ph. edulis*, nutrients existed physiological integration of the fast growth period. [Ch, 4 tab. 15 ref.]

Key words: botany; *Phyllostachys edulis*; fast growth period; organs; nutritional elements

毛竹 *Phyllostachys edulis* 是中国分布最广的竹种之一, 栽植面积占中国竹林面积的 70% 左右, 具有较高的经济价值和重要的生态意义。毛竹是依靠竹鞭, 通过无性繁殖不断产生新的个体, 由此形成毛竹的生物产量^[1], 具有爆发式生长规律^[2]。氮(N), 磷(P), 钾(K), 镁(Mg)和钙(Ca)等矿质元素在毛竹生命活动中起着十分重要的作用, 在毛竹体内的积累、转移和循环对毛竹生物产量的形成尤为重要。毛竹爆发式生长期的营养状态对毛竹后期的成材具有极其重要的作用, 对指导毛竹林合理施肥也有重要的意义。植物生长过程中各器官所起的作用不同, 对营养元素的需求量也不同, 其营养元素的含量也就存在着明显的差异^[3]。研究表明: 毛竹笋期竹笋体内的矿质元素, 随竹笋生长期的推延而增加^[4]。对于当年生毛竹, 成竹期叶、枝、秆、根中的氮、磷、钾元素的含量变化趋势不同, 多数在 6~7 月达到高峰^[5]。不同年龄立竹不同器官营养元素含量也不相同, 叶、枝、秆中营养元素排序也有差异^[6]。但关于不同年龄立竹器官养分在爆发式生长期的时空分布规律鲜见报道。笔者以浙江省临安市青山镇毛竹林为研究对象, 研究了不同年龄立竹在爆发式生长期各器官中氮、磷、钾、钙、镁元素质量分数的动态变化规律, 以期为毛竹林科学施肥和固碳增汇提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于浙江省临安市青山镇研口村(29°56'N, 118°51'E), 属亚热带季风气候, 年平均气温为 15.9 °C, 极端最高气温 41.7 °C, 极端最低气温-13.3 °C, 年平均有效积温 5 774.0 °C。年平均降水量为 1 442.0 mm, 春夏多, 秋冬少。年平均日照时数为 1 920.0 h, 年平均无霜期为 235.0 d。试验地属丘陵区, 海拔为 100~250 m, 土壤类型为红壤, pH 5.94, 土层厚度 60 cm 以上。

试验林为毛竹纯林, 面积为 23.7 hm², 立竹密度 3 200 株·hm⁻², 立竹胸径 10~11 cm。试验毛竹林 5 月施肥 1 次·a⁻¹, 肥料为复合肥 [$m(\text{N}) : m(\text{P}_2\text{O}_5) : m(\text{K}_2\text{O}) = 15 : 15 : 15$], 施肥量为氮素 120~130 kg·hm^{-2·a⁻¹, 磷素 100~125 kg·hm^{-2·a⁻¹, 钾素 50~60 kg·hm^{-2·a⁻¹, 撒施法施入。每年夏秋季进行人工劈山除草。}}}

1.2 样地设置与样品采集

在立地条件一致的试验毛竹林中设置样地 3 个, 样地面积为 10 m × 10 m, 对每个样地内的立竹进行每竹调查, 进而计算出样地内 1 年生、3 年生、5 年生立竹的平均胸径^[7], 分别选择各年龄标准竹各 2 株, 分别在 4, 5, 6 月中旬取竹叶、竹枝、竹秆和竹鞭样品。在样竹竹冠的上部、中部、下部取混合竹叶样品 200 g; 按竹冠 5 等分法各取 1 枝, 将每枝的竹枝用枝剪剪成小段, 充分混匀后, 取竹枝混合样 200 g; 在竹秆基部离地面 4 m 处, 用锯子截取 10 cm 长的竹段作为竹秆样品; 在与样竹连接的竹鞭上采集竹鞭样品 200 g。所有样品均经蒸馏水刷洗, 除尽尘埃等污染物。将样品在 105 °C 条件下杀青 30 min, 迅速将烘箱温度降至 65 °C 继续烘干至恒量。烘干样品用粉碎机粉碎, 过 60 目筛孔, 经充分搅拌均匀后置于干燥瓶中密封, 编号, 供营养元素分析。

1.3 分析测定方法

分析样品用硫酸-过氧化氢消化后, 氮采用凯氏定氮蒸馏法测定, 磷采用钒钼黄比色法测定, 钾采用火焰光度法测定^[8], 钙和镁采用电感耦合等离子体发射光谱仪法测定^[9]。

1.4 数据处理方法

试验数据在 Excel 2003 统计软件中进行处理和图表制作, 在 SPSS 19.0 统计软件中进行不同年龄立竹各器官养分质量分数的差异性比较分析。试验数据均表示为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 毛竹爆发式生长期不同年龄立竹叶片营养元素分析

由表1可知:毛竹不同年龄立竹叶片营养元素质量分数在爆发式生长期变化较大。叶片氮质量分数较高($17.61\sim27.87\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$),钾质量分数次之($4.68\sim19.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$),磷、钙和镁质量分数相对较低,分别为 $1.56\sim3.58\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $1.18\sim8.67\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.76\sim1.12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。不同年龄立竹叶片氮、磷和钾质量分数都是5月和6月高,4月相对较低,钙、镁质量分数则是4月高于5月和6月。

相同时期,不同年龄立竹器官的养分质量分数也存在一定的差异。4月,1年生立竹叶片氮质量分数显著高于3年生和5年生立竹,分别提高8.7%和21.1%。6月,1年生立竹叶片氮质量分数显著低于3年生和5年生立竹,分别降低21.3%和16.8%。4月,不同年龄立竹叶片钾质量分数差异并不显著,而5月和6月,均为1年生>3年生>5年生立竹,且不同年龄立竹间均存在显著差异。叶片钙质量分数,4月和5月,5年生立竹均显著低于1年生和3年生立竹,而1年生和3年生立竹间均无显著差异,6月,1年生、3年生和5年生立竹间均无显著差异。叶片镁质量分数,仅4月份,1年生和3年生立竹有显著差异,其他时间点均无显著差异。

表1 毛竹爆发式生长期不同年龄立竹叶片营养元素

Table 1 Nutrition content in leaves of *Phyllostachys edulis* of different ages

生长期	立竹年龄	营养元素/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)				
		氮	磷	钾	钙	镁
4月	1年生	$21.35\pm0.02\text{ a}$	$1.91\pm0.10\text{ a}$	$5.01\pm0.10\text{ a}$	$8.67\pm0.08\text{ a}$	$1.12\pm0.07\text{ a}$
	3年生	$19.65\pm0.24\text{ b}$	$1.77\pm0.05\text{ a}$	$4.68\pm0.08\text{ a}$	$8.43\pm0.03\text{ a}$	$0.76\pm0.04\text{ b}$
	5年生	$17.61\pm0.29\text{ c}$	$1.56\pm0.09\text{ ab}$	$4.99\pm0.36\text{ a}$	$6.60\pm0.21\text{ b}$	$1.02\pm0.04\text{ a}$
	平均值	19.54 ± 1.68	1.75 ± 0.17	4.89 ± 0.24	7.90 ± 1.02	0.97 ± 0.17
5月	1年生	$27.19\pm0.18\text{ a}$	$3.44\pm0.13\text{ a}$	$19.66\pm0.27\text{ a}$	$1.46\pm0.10\text{ b}$	$0.94\pm0.10\text{ a}$
	3年生	$27.87\pm0.94\text{ a}$	$2.70\pm0.09\text{ b}$	$13.54\pm0.22\text{ b}$	$1.71\pm0.08\text{ b}$	$0.88\pm0.04\text{ a}$
	5年生	$23.40\pm0.09\text{ b}$	$3.58\pm0.09\text{ a}$	$10.35\pm0.15\text{ c}$	$6.04\pm0.11\text{ a}$	$1.06\pm0.07\text{ a}$
	平均值	26.15 ± 2.20	3.24 ± 0.43	14.51 ± 4.23	3.07 ± 2.30	0.96 ± 0.10
6月	1年生	$20.59\pm0.14\text{ b}$	$1.71\pm0.12\text{ c}$	$19.25\pm0.21\text{ a}$	$1.18\pm0.04\text{ a}$	$0.94\pm0.06\text{ a}$
	3年生	$26.15\pm0.34\text{ a}$	$3.34\pm0.16\text{ a}$	$16.86\pm0.08\text{ b}$	$1.33\pm0.03\text{ a}$	$0.97\pm0.03\text{ a}$
	5年生	$24.76\pm0.70\text{ a}$	$2.54\pm0.08\text{ b}$	$16.20\pm0.57\text{ b}$	$1.33\pm0.08\text{ a}$	$0.95\pm0.03\text{ a}$
	平均值	23.84 ± 2.61	2.53 ± 0.73	17.43 ± 1.46	1.28 ± 0.09	0.95 ± 0.03

说明:同一时间相同营养元素不同年龄立竹间比较。不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。

2.2 毛竹爆发式生长期不同年龄立竹枝营养元素分析

与竹叶相比,不同年龄立竹枝中氮、磷、钾、钙和镁质量分数均较低(表2),平均质量分数分别为4.81,0.41,2.31,0.13和0.25 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,且各营养元素质量分数均是4月高于5月和6月。相同时点,不同年龄立竹枝中氮、磷质量分数总体上没有显著差异。竹枝钾质量分数,4月,1年生和3年生立竹间有显著差异;5月,1年生和3年生、1年生和5年生立竹间差异显著;6月,不同年龄立竹间均无显著差异;4~6月,竹枝钙和镁质量分数不同年龄立竹间均无显著差异。

2.3 毛竹爆发式生长期不同年龄立竹秆营养元素分析

由表3可知,和竹枝一样,不同年龄立竹秆中氮、磷、钾、钙和镁质量分数都较低,平均质量分数分别为4.51,0.32,2.90,0.11和0.30 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。不同年龄立竹竹秆氮质量分数总体上为5月高于4月和6月。氮、钾、钙质量分数为4月高于5月和6月,镁为4月<5月<6月。

相同时点,不同年龄立竹竹秆氮质量分数均有显著差异。竹秆磷质量分数,4月,1年生立竹显著高于3年生和5年生立竹;5月,1年生和5年生立竹间差异不显著,均显著高于3年生立竹;6月,1年生、3年生和5年生立竹间均差异均不显著。竹秆钾质量分数,4月和6月不同年龄立竹间差异均不显著;5月,3年生和5年生立竹间差异不显著,均显著低于1年生立竹。竹秆钙质量分数,4月,1

表2 毛竹爆发式生长期不同年龄立竹枝营养元素

Table 2 Nutrition content in branches of *Phyllostachys edulis* of different ages

生长时期	立竹年龄	营养元素/(g·kg ⁻¹)				
		氮	磷	钾	钙	镁
4月	1年生	5.81 ± 0.49 a	0.70 ± 0.04 a	3.07 ± 0.21 a	0.14 ± 0.06 b	0.25 ± 0.04 a
	3年生	5.79 ± 0.28 a	0.41 ± 0.04 a	2.30 ± 0.07 ab	0.28 ± 0.07 a	0.20 ± 0.02 a
	5年生	5.48 ± 0.23 a	0.36 ± 0.21 a	2.68 ± 0.14 a	0.14 ± 0.02 b	0.23 ± 0.05 a
	平均值	5.61 ± 0.31	0.49 ± 0.19	2.68 ± 0.36	0.19 ± 0.08	0.23 ± 0.04
5月	1年生	4.71 ± 0.43 a	0.65 ± 0.13 a	3.15 ± 0.09 a	0.08 ± 0.03 a	0.29 ± 0.05 a
	3年生	4.14 ± 0.04 ab	0.30 ± 0.13 b	1.87 ± 0.04 b	0.02 ± 0.01 ab	0.21 ± 0.03 a
	5年生	5.35 ± 0.40 a	0.27 ± 0.08 b	1.93 ± 0.07 b	0.03 ± 0.01 a	0.28 ± 0.04 a
	平均值	4.74 ± 0.58	0.40 ± 0.21	2.31 ± 0.65	0.04 ± 0.03	0.26 ± 0.05
6月	1年生	3.46 ± 0.27 ab	0.40 ± 0.04 a	2.05 ± 0.21 a	0.07 ± 0.03 ab	0.30 ± 0.04 a
	3年生	4.43 ± 0.33 a	0.31 ± 0.01 a	1.95 ± 0.07 a	0.12 ± 0.02 a	0.28 ± 0.07 a
	5年生	4.63 ± 0.02 a	0.29 ± 0.04 ab	1.80 ± 0.01 a	0.19 ± 0.05 a	0.24 ± 0.04 a
	平均值	4.08 ± 0.54	0.33 ± 0.06	1.93 ± 0.15	0.13 ± 0.06	0.27 ± 0.05

说明: 同一时间相同营养元素不同年龄立竹间比较。不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。

年生立竹显著低于3年生立竹; 5月, 1年生立竹显著低于3年生和5年生立竹, 6月, 不同年龄立竹间均差异不显著。竹秆镁质量分数, 不同时间点不同年龄立竹间均无显著差异。

表3 爆发式生长期不同年龄立竹秆营养元素

Table 3 Nutrition content in stems of *Phyllostachys edulis* of different ages

生长时期	立竹年龄	营养元素/(g·kg ⁻¹)				
		氮	磷	钾	钙	镁
4月	1年生	4.03 ± 0.10 c	0.59 ± 0.04 a	3.35 ± 0.10 a	0.11 ± 0.02 ab	0.17 ± 0.01 a
	3年生	5.52 ± 0.13 a	0.36 ± 0.04 b	1.21 ± 0.07 c	0.26 ± 0.04 a	0.25 ± 0.04 a
	5年生	4.98 ± 0.16 b	0.39 ± 0.01 b	2.51 ± 0.72 b	0.18 ± 0.03 a	0.22 ± 0.03 a
	平均值	4.84 ± 0.68	0.44 ± 0.12	2.35 ± 1.02	0.18 ± 0.07	0.21 ± 0.04
5月	1年生	4.81 ± 0.08 b	0.38 ± 0.04 a	7.22 ± 0.28 a	0.02 ± 0.01 b	0.26 ± 0.06 a
	3年生	3.53 ± 0.13 c	0.18 ± 0.01 b	2.16 ± 0.04 b	0.08 ± 0.02 a	0.32 ± 0.04 a
	5年生	6.08 ± 0.45 a	0.30 ± 0.04 a	1.93 ± 0.07 b	0.10 ± 0.02 a	0.35 ± 0.03 a
	平均值	4.81 ± 1.16	0.29 ± 0.10	3.77 ± 2.68	0.07 ± 0.04	0.31 ± 0.05
6月	1年生	2.75 ± 0.15 c	0.20 ± 0.01 a	3.03 ± 0.28 a	0.09 ± 0.02 a	0.24 ± 0.04 c
	3年生	4.30 ± 0.02 b	0.17 ± 0.04 ab	2.53 ± 0.21 a	0.07 ± 0.02 a	0.39 ± 0.03 b
	5年生	4.63 ± 0.06 a	0.29 ± 0.04 a	2.30 ± 0.28 a	0.06 ± 0.01 a	0.48 ± 0.08 a
	平均值	3.89 ± 0.90	0.22 ± 0.06	2.57 ± 0.33	0.07 ± 0.02	0.37 ± 0.12

说明: 同一时间相同营养元素不同年龄立竹间比较。不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。

2.4 毛竹爆发式生长期不同年龄立竹鞭营养元素分析

竹鞭中营养元素质量分数较高(表4), 仅次于叶片, 氮、磷、钾、钙和镁平均质量分数分别为7.73, 0.55, 2.67, 0.18和0.63 g·kg⁻¹。1年生立竹竹鞭氮质量分数4月<5月<6月, 3年生和5年生立竹则是4月>5月>6月。不同年龄立竹竹鞭磷质量分数都较低, 在不同月份未发现明显的变化规律。竹鞭钾和钙质量分数总体上6月高于4月和5月, 镁质量分数则是4月低于5月和6月。

4月, 3年生和5年生立竹竹鞭氮质量分数均显著高于1年生立竹; 5月, 1年生立竹与3年生立竹差异不显著, 而与5年生立竹差异显著; 6月, 1年生立竹显著高于3年生和5年生立竹。4月, 不同年龄立竹间竹鞭磷质量分数均无显著差异; 5月, 1年生立竹显著低于3年生和5年生立竹; 6月, 1年生立竹显著高于3年生和5年生立竹。竹鞭钙质量分数较低, 在不同时间点, 不同年龄立竹间总体上

没有显著差异。竹鞭镁质量分数变化较大,4月,1年生和3年生立竹显著低于5年生立竹,5月和6月不同年龄立竹间均有显著差异,以5年生立竹竹鞭中镁质量分数最高。

表4 毛竹爆发式生长期不同年龄立竹鞭营养元素

Table 4 Nutrition content in rhizomes of *Phyllostachys edulis* of different ages

生长时期	立竹年龄	营养元素/(g·kg ⁻¹)				
		氮	磷	钾	钙	镁
4月	1年生	7.16 ± 0.31 c	0.64 ± 0.08 a	1.06 ± 0.01 c	0.19 ± 0.03 a	0.22 ± 0.01 b
	3年生	10.20 ± 0.03 a	0.71 ± 0.12 a	4.89 ± 0.17 a	0.10 ± 0.02 ab	0.27 ± 0.03 b
	5年生	8.68 ± 0.10 b	0.53 ± 0.04 a	2.83 ± 0.04 b	0.15 ± 0.02 a	0.68 ± 0.06 a
	平均值	8.70 ± 1.39	0.60 ± 0.11	2.93 ± 1.72	0.15 ± 0.04	0.39 ± 0.23
5月	1年生	7.92 ± 0.08 a	0.30 ± 0.08 b	2.33 ± 0.22 b	0.07 ± 0.02 b	0.68 ± 0.06 b
	3年生	7.97 ± 0.01 a	0.41 ± 0.01 b	4.56 ± 0.14 a	0.10 ± 0.01 b	0.50 ± 0.04 b
	5年生	7.53 ± 0.10 b	0.62 ± 0.04 a	1.18 ± 0.14 c	0.22 ± 0.05 a	1.13 ± 0.05 a
	平均值	7.80 ± 0.22	0.44 ± 0.15	2.69 ± 1.55	0.13 ± 0.07	0.77 ± 0.29
6月	1年生	10.80 ± 0.14 a	0.91 ± 0.04 a	2.93 ± 0.07 a	0.27 ± 0.03 a	0.28 ± 0.03 c
	3年生	4.67 ± 0.43 b	0.40 ± 0.04 b	2.03 ± 0.28 ab	0.25 ± 0.02 a	1.18 ± 0.06 a
	5年生	4.48 ± 0.04 b	0.51 ± 0.04 b	2.38 ± 0.28 a	0.23 ± 0.03 a	0.76 ± 0.07 b
	平均值	6.68 ± 3.27	0.61 ± 0.24	2.40 ± 0.50	0.25 ± 0.03	0.74 ± 0.40

说明:同一时间相同营养元素不同年龄立竹间比较。不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。

3 结论与讨论

竹叶中营养元素质量分数既能反映毛竹林养分状况,又能反映林地土壤营养状况,是毛竹林养分管理的重要依据^[10]。氮元素被称为生命的元素^[11]。在毛竹爆发式生长期,立竹器官氮、磷、钾、钙和镁测定营养元素中氮质量分数最高,尤其以竹叶氮的质量分数(17.61~28.87 g·kg⁻¹),高于苦竹 *Pleioblastus amarus* 叶中氮质量分数(17.73~22.98 g·kg⁻¹)^[12],低于雷竹 *Phyllostachys violascens* 叶中氮质量分数(28.16~34.00 g·kg⁻¹)^[13]和麻竹 *Dendrocalamus catiflorus* 叶中氮质量分数(28.6~35.8 g·kg⁻¹)^[14],说明毛竹叶的氮在竹类植物中居于中等水平。在5~6月毛竹叶片质量分数迅速上升,为防止土壤中氮供不应求,可以在爆发式生长前期(4月)进行毛竹林营养诊断,根据叶片氮养分状况进行土壤氮肥补充,以保证新竹的正常生长。

毛竹氮、磷、钾元素的质量分数在爆发式生长期竹叶中是4月较低,5月和6月较高,而在竹枝、竹秆、竹鞭中则是4月较高,5月和6月较低。氮、磷、钾是能在体内参与循环的元素,可以进行再分配和继续被利用。研究表明:马占相思 *Acacia mangiu* 体内营养转移,提高了养分的利用效率,与从环境中吸收的养分共同满足了植物生长过程中的养分需求,同时降低了对环境中养分供应的依赖^[15]。由此可以推测:在毛竹爆发式生长过程中,氮、磷、钾元素存在由4月的竹鞭、竹秆、竹枝向5月和6月的竹叶转移的生理整合作用。

毛竹是典型的异龄林,生产实践中基本采用全林施肥,肥料利用率较低,易造成养分流失和环境污染。本研究通过分析毛竹不同年龄立竹在爆发式生长期不同时间点的器官营养元素含量动态变化,可以确定毛竹林较为合理的施肥时间和对象。从4月到5月,不同年龄立竹叶片中氮、磷和钾质量分数均大幅度提高分析,说明毛竹在这段时期对氮、磷和钾的需求量很大,需在此时段合理地补充土壤氮、磷、钾养分。

4 参考文献

- [1] 黄伯惠.毛竹矿质营养元素动态的研究[J].竹子研究汇刊,1983,2(1): 87~111.
HUANG Bohui. Dynamics of mineral nutrition of *Phyllostachys pubescens* [J]. *J Bamboo Res*, 1983, 2(1): 87~111.
- [2] 黄浩,温国胜.毛竹爆发式生长机理的探究[J].科技资讯,2009(31): 218~219.

- HUANG Hao, WEN Guosheng. A study on explosive growth mechanism of *Phyllostachys pubescens* [J]. *Sci & Technol Inf*, 2009(31): 218 – 219.
- [3] 黄建辉, 陈灵芝. 北京百花山附近杂灌丛的化学元素含量特征[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991, **15**(3): 224 – 233.
- HUANG Jianhui, CHEN Lingzhi. Study on chemical element content features of shrub land nearby Beijing Baihua Mountain [J]. *Acta Phytoecol et Geobot Sin*, 1991, **15**(3): 224 – 233.
- [4] 刘耀荣. 毛竹笋期的营养动态[J]. 林业科学研究, 1990, **3**(4): 363 – 367.
- LIU Yaorong. Dynamics of nutrition during shooting period of *Phyllostachys pubescens* [J]. *For Res*, 1990, **3**(4): 363 – 367.
- [5] 张文元. 毛竹成竹期各器官营养元素动态变化规律[J]. 安徽农业科学, 2009, **37**(36): 18227 – 18232.
- ZHANG Wenyuan. A dynamic change law on nutrition elements in various organs of *Phyllostachys pubescens* during bamboo forming stage [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2009, **37**(36): 18227 – 18232.
- [6] 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.
- WU Jiasen, ZHOU Guomo, XU Qiufang, et al. Spatial distribution of nutrition element and its relationship with soil nutrients in different years of *Phyllostachys pubescens* [J]. *Sci Sil Sin*, 2005, **41**(3): 171 – 173.
- [7] 李振基, 林鹏, 丘喜昭. 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.
- LI Zhenji, LIN Peng, QIU Xizhao. South Fujian bamboo forest biomass and productivity [J]. *J Xiamen Univ Nat Sci*, 1993, **32**(6): 762 – 767.
- [8] 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: 308 – 316.
- [9] 胡友波, 李东刚, 孙长华. 电感耦合等离子体发射光谱法分析小麦粉制品中的 K, Na, Ca, Mg, Al, Ti [J]. 化学分析计量, 2011, **2**(1): 29 – 31.
- HU Youbo, LI Donggang, SUN Changhua. Determination of K, Na, Ca, Mg, Al, Ti in wheat flour products by ICP-OES [J]. *Chem Ann Meterage*, 2011, **2**(1): 29 – 31.
- [10] 郭晓敏, 牛德奎, 范方礼, 等. 平衡施肥毛竹林叶片营养与土壤肥力及产量的回归分析[J]. 林业科学, 2007, **43**(1): 53 – 57.
- GUO Xiaomin, NIU Dekui, FAN Fangli, et al. Regression analysis of leaf nutrition, soil fertility and output in bamboo forest of balance fertilization [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, **43**(1): 53 – 57.
- [11] 陆景陵. 植物营养学[M]. 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 23 – 100.
- [12] 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 *Pleoblastus amarus* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2004, **21**(2): 172 – 175.
- [13] 黄张婷, 姜培坤, 宋照亮, 等. 不同年齡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.
- [14] 林电, 黄慧德, 程宁宁, 等. 麻竹营养规律的研究[J]. 热带农业科学, 2005, **21**(10): 364 – 367.
- LIN Dian, HUANG Huide, CHENG Ningning, et al. Nutritive peculiarity of bamboo [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2005, **21**(10): 364 – 367.
- [15] 李志安, 邹碧, 曹裕松, 等. 华南 2 种豆科人工林体内养分转移特性[J]. 生态学报, 2003, **23**(7): 1395 – 1402.
- LI Zhian, ZOU Bi, CAO Yusong, et al. Nutrient resorption in the leaves of two Leguminous species widely planted in South China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23**(7): 1395 – 1402.