

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201404047

范川 舒翔 李晓清 等. 施肥对香樟幼苗生长及养分分配的影响[J]. 广西植物 2015, 35(2): 213–220

Fan C, Shu X, Li XQ *et al.* Effects of fertilization on *Cinnamomum camphora* seedlings growth and nutrient distribution[J]. *Guihaia* 2015, 35(2): 213–220

## 施肥对香樟幼苗生长及养分分配的影响

范川<sup>1</sup>, 舒翔<sup>1</sup>, 李晓清<sup>2\*</sup>, 李贤伟<sup>1</sup>, 黄复兴<sup>1</sup>, 李平<sup>1</sup>

(1. 四川农业大学 林学院 长江上游林业生态工程四川省重点实验室, 四川

雅安 625014; 2. 四川省林业科学研究院, 成都 610081)

**摘要:** 施肥是苗木培育的重要方式, 香樟是乡土珍稀阔叶树种, 苗木培育对乡土珍稀树种的保护、繁育、推广具有极其重要的作用, 施肥对苗木的生长和发育具有重要的影响。因此, 为了探讨香樟幼苗生长及植物体内养分分配对施肥的响应, 该研究采用正交设计, 设置了氮、磷、钾 3 因素 3 水平 (N、P: 0、3、6 g·株<sup>-1</sup>; K: 0、2、4 g·株<sup>-1</sup>), 对盆栽香樟幼苗进行指数施肥。结果表明: (1) 氮肥对香樟幼苗苗高、地径、生物量的影响最为显著, 磷肥和钾肥的影响则较小; (2) 氮素在香樟幼苗叶、茎、根中的分布状况主要受氮肥的影响, 磷素在香樟幼苗叶、茎、根中的分布状况主要受氮肥和磷肥的影响, 钾素在香樟幼苗叶、茎、根中的分布状况主要受钾肥的影响; (3) 香樟幼苗的苗高生长与叶片氮含量、叶片磷含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 地径生长与茎氮含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 叶生物量与叶片氮含量、叶片磷含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 茎生物量与叶片磷含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ); (4) 综合分析得出, 对香樟幼苗苗高、地径生长, 以及枝叶生物量积累最具促进作用的施肥水平为氮肥 (6 g·株<sup>-1</sup>)、磷肥 (6 g·株<sup>-1</sup>)、钾肥 (4 g·株<sup>-1</sup>)。

**关键词:** 香樟; 指数施肥; 生物量; 养分分布

中图分类号: Q945.1; S792.23 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2015)02-0213-08

## Effects of fertilization on *Cinnamomum camphora* seedlings growth and nutrient distribution

FAN Chuan<sup>1</sup>, SHU Xiang<sup>1</sup>, LI Xiao-Qing<sup>2\*</sup>, LI Xian-Wei<sup>1</sup>, HUANG Fu-Xing<sup>1</sup>, LI Ping<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering of Sichuan Province, Ya'an 625014, China; 2. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Fertilization is an important way of seedling cultivation. *Cinnamomum camphora* is a native and rare broadleaf species and seedling cultivation of rare species plays an extremely important role in species protection, breeding, popularizing *et al.* Fertilization has an important impact on the growth and development of seedlings. This research try to reveal the influences of fertilization on seeding height, ground diameter, biomass and concentration content in different plant organs through orthogonal design with three factors including N, P, K nutrients at three levels (N, P: 0, 3, 6 g·pot<sup>-1</sup>; K: 0, 2, 4 g·pot<sup>-1</sup>) to conduct potted *C. camphora* seedlings with exponential fertilization. The main results were found as follows: (1) Fertilization could significantly promote the growth of seedlings, such as height and ground diameter. The effects of nitrogen was the most significant, followed by potassium fertilizer and phosphorus fertilizer; (2) Nitrogen could increase the nitrogen and phosphorus contents in the leaf, stem and root of seedlings. Phosphorus could increase phos-

收稿日期: 2014-05-29 修回日期: 2014-07-01

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2011BAC09B05); 中央林业公益性行业科研专项 (201104109)。

作者简介: 范川 (1973-) 男, 四川渠县人, 博士, 副教授, 主要从事人工造林理论及技术研究, (E-mail) fanchuan01@163.com。

\* 通讯作者: 李晓清, 博士, 研究员, 主要从事森林培育研究, (E-mail) 464394961@qq.com。

phorus content in the leaf stem and root of seedlings. Potassium could increase potassium content in the leaf stem and root of seedlings; (3) The seedlings height showed a significant positive relationship with nitrogen and phosphorus contents in the leaves ( $P < 0.05$ ). The ground diameter showed a significant positive relationship with nitrogen content in the stems ( $P < 0.05$ ). The biomass in leaves showed a significant positive relationship with nitrogen and phosphorus contents in the leaves ( $P < 0.05$ ). The biomass in stems showed a significant positive relationship with phosphorus content in the leaves ( $P < 0.05$ ); (4) For one-year-old *C. camphora* seedlings the mixed fertilization of  $6 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$  nitrogen  $6 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$  phosphorus and  $4 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$  potassium were beneficial to the seedlings height ground diameter and biomass of branches and leaves.

**Key words:** *Cinnamomum camphora*; exponential fertilization; biomass; nutrient distribution

施肥作为苗木培育的基本措施之一,对于苗木的生长具有显著的促进作用(左海军等 2010)。苗木的生长主要体现在苗高、地径的增长和生物量的积累上(陈竣等,1998)。苗木的养分含量与其生长量之间具有密切的关系,是苗木施肥与营养诊断的理论基础(祝燕等 2011)。因此,苗木施肥一直是国内外诸多学者的研究热点。施肥能显著促进苗木苗高、地径的生长,提高苗木的生物量积累,改善苗木的养分分配格局。丁铎冉等(2013)对白桦(*Betula platyphylla*)容器苗进行施肥处理,结果表明施肥能显著促进其苗高、地径的生长,以及生物量的积累。陈琳等(2010)对西南桦(*Betula alnoides*)幼苗进行施氮肥处理,结果表明西南桦叶片氮、磷、钾含量随施肥量的增加而递增。楸树(*Catalpa bungei*)和青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)的施肥实验分别表明施肥能显著促进楸树无性系苗的苗高、地径生长;青冈栎容器苗的根、茎、叶各器官含氮量随着施氮量的增加而增加,且叶片中的含氮量显著高于根、茎中的含氮量(王力朋等 2012;陈秋夏 2011)。施肥对于苗木的生长发育以及养分积累、分配具有显著的影响。

香樟(*Cinnamomum camphora*)即樟树,又名乌樟,为樟科樟属乔木(祁承经等 2005),在工业和生活生产中应用广泛(蒋云东等 2003),是属于具有定向培育和多元经营价值的珍贵经济树种,目前对于香樟的研究主要集中在园林绿化、育苗技术、组织培养、抗逆性等方面(田大伦等 2004;王晓立等,2010;杨应龙 2011;王利宝等 2010)。施肥是培育香樟的一项重要措施,但是关于施肥对香樟体内养分及其生长的影响却鲜有报道,更没有针对不同用途香樟幼苗的培育提出相应的施肥方案,因而在香樟幼苗培育过程中可能会出现因施肥不当而导致培育目标生长不理想。本文采用指数施肥法(Qu *et al.* 2003)研究不同氮磷钾水平配比施肥对香樟幼苗体内养分及其生长的影响,旨在揭示香樟苗期的

施肥规律,确定合适施肥量,为香樟幼苗培育以及多目标利用提供理论参考。

## 1 试验地概况

试验地位于雅安雨城区四川农业大学植物园。雅安市雨城区( $102^{\circ}51' \sim 103^{\circ}12' \text{ E}$ ,  $29^{\circ}40' \sim 30^{\circ}14' \text{ N}$ )位于四川盆地西缘,青衣江中游,成都平原向青藏高原过渡带,地处我国亚热带气候区,年降水量为  $1\ 000 \sim 1\ 800 \text{ mm}$ ,年均气温为  $14 \sim 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

供试材料是来自四川省林业科学研究院川南林业研究所的1年生香樟实生苗,苗高约  $24 \text{ cm}$ ,地径约  $5 \text{ mm}$ 。盆钵规格为  $25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ (上缘直径 $\times$ 高),于2011年11月选取长势相近的幼苗用耕作土(主要理化性质:有机质含量  $10.14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全氮  $0.26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮  $17.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效磷  $10.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾  $66.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,pH 6.55)进行栽培,每盆栽植1株,每株编号。所用的肥料为氮肥—尿素(N质量分数为46%)、磷肥—过磷酸钙( $\text{P}_2\text{O}_5$ 质量分数为18%)、钾肥—硫酸钾(K质量分数为44.8%)。

### 2.2 研究方法

2.2.1 试验设计 结合试验用土的养分情况、施肥前香樟幼苗养分含量、预试验结果以及查阅相关文献,综合考虑得出1年生香樟幼苗合理施肥量的大致范围为尿素  $0 \sim 15 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ ,硫酸钾  $0 \sim 20 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ ,过磷酸钙  $0 \sim 50 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。因此设置N、P、K 3因素3水平,采用  $L_9(3^4)$  正交设计(表1),共9个处理,分别为 H1 (N1P1K1,即为 CK: N0P0K0)、H2 (N1P2K2)、H3 (N1P3K3)、H4 (N2P1K2)、H5 (N2P2K3)、H6 (N2P3K1)、H7 (N3P1K3)、H8

(N3P2K1) 和 H9(N3P3K2), 每个处理 5 株, 重复 3 次, 共 135 株。

表 1  $L_9(3^4)$  正交试验因素与水平  
Table 1 Factors and levels of  $L_9(3^4)$  orthogonal experiment design

水平 Level	元素用量 Element usage ( $g \cdot pot^{-1}$ )		
	N	P	K
1	0(N1)	0(P1)	0(K1)
2	3(N2)	3(P2)	2(K2)
3	6(N3)	6(P3)	4(K3)

注: 表中 N、P、K 各水平均为元素用量。  
Note: N、P、K in the table are dosage of elements.

采用指数施肥法(魏红旭等, 2010; Hawkins *et al.*, 2005), 从 2012 年 4-8 月每隔 45 d 施肥 1 次, 分 4 次施完。每次施肥将肥料均匀撒施在花盆中, 覆土并立即浇水以润湿表层即可。采用目前普遍使用的指数施肥模型, 其方程如下:

表 2  $L_9(3^4)$  正交施肥量

Table 2 Amount of the fertilizer of  $L_9(3^4)$  orthogonal table

处理 Treat- ment	1~4 次施肥量 Fertilizer amount from the first to fourth times ( $g \cdot 株^{-1}$ )											
	4 月 1 日 April 1st			5 月 15 日 May 15th			6 月 30 日 June 30th			8 月 15 日 August 15th		
	尿素 Carbam- ide	过磷酸钙 Calcium superphos- phate	硫酸钾 Potassium sulphate	尿素 Carbam- ide	过磷酸钙 Calcium superphos- phate	硫酸钾 Potassium sulphate	尿素 Carbam- ide	过磷酸钙 Calcium superphos- phate	硫酸钾 Potassium sulphate	尿素 Carbam- ide	过磷酸钙 Calcium superphos- phate	硫酸钾 Potassium sulphate
H1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H2	0	0.044	0.098	0	0.301	0.310	0	2.072	0.975	0	14.250	3.073
H3	0	0.053	0.125	0	0.437	0.469	0	3.578	1.754	0	29.265	6.565
H4	0.083	0	0.098	0.265	0	0.310	0.849	0	0.975	2.720	0	3.073
H5	0.083	0.044	0.125	0.265	0.301	0.469	0.849	2.072	1.754	2.720	14.250	6.565
H6	0.083	0.053	0	0.265	0.437	0	0.849	3.578	0	2.720	29.265	0
H7	0.105	0	0.125	0.401	0	0.469	1.525	0	1.754	5.803	0	6.565
H8	0.105	0.044	0	0.401	0.301	0	1.525	2.072	0	5.803	14.250	0
H9	0.105	0.053	0.098	0.401	0.437	0.310	1.525	3.578	0.975	5.803	29.265	3.073

半微量凯氏定氮法测定; 磷采用钼锑抗比色法测定; 钾采用火焰光度计法测定(鲁如坤, 2000)。

2.2.3 数据处理 使用 Microsoft Excel 2007 软件和 SPSS 17.0 软件对实验数据进行整理、统计分析和图表制作。采用 Duncan 法进行多重比较; 采用一般线性统计模型进行方差分析和极差分析; 采用 Pearson 相关系数进行相关分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 施肥对香樟幼苗生长的影响

3.1.1 施肥对香樟幼苗苗高的影响 施肥对香樟幼苗的苗高有明显的促进作用, CK 处理的苗高为

$$N_T = N_S(e^{rT} - 1)$$

式中  $N_T$  为需要施入的养分总量,  $N_S$  为施肥之前苗木体内养分含量,  $N_T + N_S$  即理想状态下施肥后苗木养分含量,  $T$  为总施肥次数,  $r$  是需要确定的系数。根据上式计算出  $r$  的值后, 再采用如下公式计算具体每次施肥量:

$$N_i = N_S(e^{rT} - 1) - N_{T-1}$$

式中  $i$  为当前施肥次数,  $N_i$  为当次施肥量,  $N_{i-1}$  为当次前积累施肥量总和。具体施肥量见表 2。

2.2.2 指标测定 于 10 月上旬对所有盆栽香樟幼苗进行苗高、地径的测定, 之后于每个处理随机选取 3 株, 重复 3 次, 将所选植株的各器官进行分离, 并带回实验室测定鲜重, 随后进行清洗、烘干(先在 105 °C 下杀青 30 min, 再调至 70 °C 左右烘至恒重), 并测定其干重。将烘干后的根、茎、叶分别粉碎、过筛(0.25 mm) 进行各养分的测定。测定方法: 氮采用

48.01 cm, 处理 H2、H3 的苗高与 CK 差异不大, 其余处理皆比 CK 处理高, H9 的苗高最大, 为 82.05 cm, 比 CK 高 70% (表 3)。由此可见, H9 处理对香樟幼苗苗高生长的促进作用最为显著。

方差分析表明(表 4), N 素对香樟幼苗苗高生长的影响达到了显著水平 ( $P < 0.05$ ), 说明 N 素能显著促进香樟幼苗苗高的生长, 因此未施 N 肥的 CK、H2、H3 处理之间苗高差异不大。多重比较结果显示(表 4), N、P、K 三因素对香樟幼苗苗高生长的影响顺序为  $N > P > K$ 。由 N 素引起的苗高变化幅度最大, 3 个水平间差异均为显著, 且随着 N 素水平的增加苗高也显著增大, 说明 N 素是香樟幼苗苗高生长最为重要的因素, 并且其促进作用随施 N 量

表 3 不同的施肥处理对香樟苗高、地径、生物量的影响  
Table 3 Effects of fertilizing on seedlings height ground diameter and biomass of *Cinnamomum camphora*

处理 Treatment	苗高 Seedling height (cm)	地径 Ground diameter (mm)	单株生物量 Single plant biomass (g)
H1	48.01 ± 2.83b	8.47 ± 0.95b	67.97 ± 9.57bc
H2	46.50 ± 2.12b	8.80 ± 1.98ab	62.32 ± 7.68c
H3	49.02 ± 2.83b	9.16 ± 0.06ab	66.40 ± 9.75bc
H4	69.25 ± 3.18a	10.92 ± 0.03ab	102.91 ± 7.71ab
H5	71.75 ± 5.30a	11.46 ± 0.96a	106.56 ± 13.61a
H6	74.04 ± 8.49a	11.06 ± 1.33ab	117.86 ± 9.37a
H7	68.25 ± 4.60a	11.45 ± 1.06a	130.58 ± 11.31a
H8	78.50 ± 7.78a	11.20 ± 0.14a	106.04 ± 8.25a
H9	82.05 ± 11.31a	10.89 ± 1.26ab	110.05 ± 0.66a

注:不同小写字母表示在同列间有显著差异( $P < 0.05$ )。

Note: Different small letters show significant differences at  $P < 0.05$  level in the same row.

的增大而增大。由 P 素引起的苗高变化幅度次之,1 水平与 2 水平、1 水平与 3 水平间差异达到显著,随着 P 素水平的上升,苗高也呈现增长趋势,说明 P 素也能促进苗高的生长,适当的增加施 P 量能在一定程度上促进香樟幼苗的苗高。由 K 素引起的苗高变化幅度最小,3 个水平间差异不显著,随着 K 素水平上升,苗高呈现逐步微减的趋势,说明香樟幼苗的苗高生长对 K 素的需求不是特别大,可能土壤本身的含 K 量已经能够满足其生长的需要,施入过量的 K 素反而会对其产生抑制作用。

3.1.2 施肥对香樟幼苗地径的影响 施肥对香樟幼苗的地径有明显的促进作用,CK 处理植株的地径为 8.47 mm,各施肥处理地径皆比 CK 大,H5、H7 处理的地径最大,分别是 11.46 和 11.45 mm,比 CK 大了 35% (表 3),说明 H5、H7 处理对香樟幼苗地径生长的促进作用最为显著。

方差分析表明(表 4),N 素对香樟幼苗地径生长的影响达到了显著水平( $P < 0.05$ ),说明 N 素能显著促进地径的生长。多重比较结果显示(表 4),N、P、K 三因素对香樟幼苗地径生长的影响顺序为  $N > K > P$ 。由 N 素引起的地径变化幅度最大,1 水平与 2 水平、1 水平与 3 水平间差异达到显著,随着 N 素水平的增加地径呈现先增加后趋于稳定的趋势,说明 N 素是香樟幼苗地径生长最为重要的因素,并且其促进作用在一定范围内随施 N 量的增大而增大。由 K 素引起的地径变化幅度次之,各水平间差异不显著,但随着 K 素水平的上升,地径也呈现增长趋势,说明 K 素也能促进地径的生长,且其

促进作用随施 K 量的增大而增大。由 P 素引起的地径变化幅度最小,3 个水平间差异不显著,随着 P 素水平上升,苗高呈现先升高后降低的趋势,说明 P 素能在一定程度上促进香樟幼苗的地径生长,但是过量施入 P 素反而会对其产生抑制作用。

3.1.3 施肥对香樟幼苗生物量的影响 施肥对香樟幼苗的生物量积累有明显的促进作用。CK 处理植株的单株生物量为 63.97 g,处理 H2、H3 的单株生物量与 CK 差异不大,其余处理的单株生物量皆比 CK 大,H7 处理的单株生物量最大,为 130.58 g,是 CK 的 2.04 倍(表 3),说明 H7 处理对香樟幼苗单株生物量的积累具有显著的促进作用。

N、P、K 三因素对香樟幼苗单株生物量的平均值通过方差分析表明(表 4),N 素对香樟幼苗生物量的影响达到了显著水平( $P < 0.05$ ),说明 N 素能显著促进其生物量的积累。多重比较结果显示(表 4),N、P、K 三因素对香樟幼苗地径生长的影响顺序为  $N > K > P$ 。由 N 素引起的生物量变化幅度最大,2、3 水平与 1 水平之间的差异分别达到了显著,且随着 N 素水平的增加生物量也显著增大,说明 N 素是香樟幼苗生物量积累最为重要的因素,并且其促进作用随施 N 量的增大而增大。由 K 素引起的生物量变化幅度次之,各水平之间差异不显著,但是随着 K 素水平的上升,生物量呈现先降低后升高的趋势。由 P 素引起的生物量变化幅度最小,各水平间差异未达显著,但是随着 P 素水平的上升,生物量呈现先降低后升高的趋势。

由图 1 可知,除 H2 以外的各处理植株叶生物量都比 CK 大,H8 处理的叶生物量最大,为 37.13 g,是 CK 的 2.98 倍,说明 H8 处理对香樟幼苗叶生物量的积累具有显著的( $P < 0.05$ )促进作用。除 H2 以外的各处理茎生物量皆比 CK 大,H6 处理的茎生物量最大,为 25.52 g,是 CK 的 2.34 倍,这说明 H6 处理对香樟幼苗茎生物量的积累具有显著的( $P < 0.05$ )促进作用。各施肥处理的根生物量皆比 CK 大,H7 处理的根生物量最大,为 78.69 g,是 CK 的 1.93 倍,说明 H7 处理对香樟幼苗根生物量的积累具有显著的促进作用( $P < 0.05$ )。

### 3.2 施肥对香樟幼苗养分分配的影响

3.2.1 施肥对香樟幼苗叶、茎、根氮含量的影响 在香樟幼苗各器官中,叶片的 N 含量最大,说明 N 素主要集中在叶片中。较之 CK 处理,各施肥处理叶、茎、根 N 含量皆有上升,说明施肥能促进香樟幼苗

表 4 氮、磷、钾不同水平对苗高、地径、生物量影响的影响

Table 4 Effects of N , P and K fertilizer on seedling height ground diameter and biomass of *Cinnamomum camphora*

水平 Level	苗高 Seedlings height (cm)			地径 Ground diameter (mm)			生物量 Biomass (g)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1	47.84 ± 1.25c	61.84 ± 2.83b	66.85 ± 7.44a	8.81 ± 0.43b	10.28 ± 1.85a	10.24 ± 0.97a	65.56 ± 8.86b	100.49 ± 9.15a	97.29 ± 10.34a
2	71.68 ± 8.83b	65.58 ± 7.55a	65.93 ± 6.32a	11.15 ± 0.88a	10.49 ± 1.35a	10.20 ± 2.06a	109.11 ± 10.25a	91.64 ± 8.54a	91.76 ± 9.81a
3	76.27 ± 7.62a	68.37 ± 8.59a	63.01 ± 5.46a	11.18 ± 1.03a	10.37 ± 1.24a	10.69 ± 1.82a	115.56 ± 9.53a	98.10 ± 8.84a	101.18 ± 11.35a
R 值 R Value	28.42	6.53	3.84	2.37	0.21	0.49	49.99	8.85	9.42
Sig.	0.020*	0.308	0.543	0.005*	0.438	0.103	0.048*	0.641	0.626

注：不同小写字母表示在同列间有显著差异 ( $P < 0.05$ )；R 值为极差；\* 表示在 0.05 水平上显著。

Note: Different small letters show significant differences at  $P < 0.05$  level in the same row; R is range; \* shows significant difference at  $P < 0.05$  level.

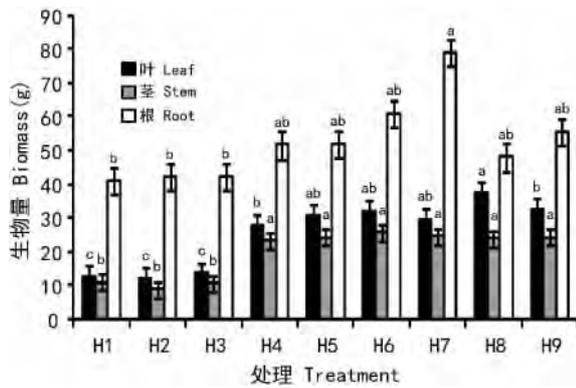


图 1 不同的施肥处理对香樟生物量的影响  
不同小写字母表示处理间有显著差异 ( $P < 0.05$ )。下同。  
Fig. 1 Effects of fertilizing on *Cinnamomum camphora* seedlings biomass. Different small letters mean significant differences ( $P < 0.05$ ). The same below.

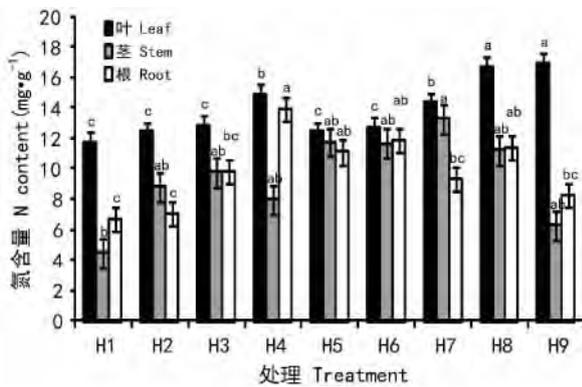


图 2 不同处理香樟幼苗各器官的氮含量  
Fig. 2 N content of *Cinnamomum camphora* seedling organs under different treatments

各器官对 N 素的积累。比较各处理的叶片 N 含量，发现叶片 N 含量逐渐上升，H9 处理最大，为 16.93  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，显著高于 CK ( $P < 0.05$ )，是 CK 植株叶片 N 含量的 1.44 倍。比较各处理茎的 N 含量，发现 N 含量呈先升高后降低的趋势，H7 处理最大，为 13.

25  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，显著高于 ( $P < 0.05$ ) CK，是 CK 的 2.98 倍。比较各处理根的 N 含量，发现 N 含量呈先升高后降低的趋势，H4 处理最大，为 13.95  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，显著高于 CK ( $P < 0.05$ )，是对照的 2.08 倍。

多重比较 (表 5) 表明，N、P、K 三因素对香樟幼苗叶片 N 含量的影响顺序为  $N > K > P$ ，叶片 N 含量随 N 素水平的增加而增加，说明 N 素能促进植株对叶片的 N 分配，且促进作用随施 N 量的增加而加强。N、P、K 三因素对香樟幼苗茎的 N 含量影响顺序为  $K > N > P$ ，茎的 N 含量随着 K 素水平的增大呈现先减小后增加的趋势，说增加供 K 水平能促进植株对茎的 N 分配。N、P、K 三因素对香樟幼苗根的 N 含量影响顺序为  $N > K > P$ ，根的 N 含量随着 N 素水平的增加呈现先升高后降低的趋势，说明施 N 量过大会减少植株对根的 N 分配。

3.2.2 施肥对香樟幼苗叶、茎、根磷含量的影响 P 素在香樟幼苗各器官中的分布具有差异性，不同处理间差异性显著。叶片中的 P 素分布总体上变化不大，各处理较之 CK 皆有增加，H6 处理出现最大值，为 1.62  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，显著高于 CK ( $P < 0.05$ )。茎中的 P 素分布则有较大变化幅度，H3 处理出现最大值，为 2.12  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，显著高于 CK ( $P < 0.05$ )，是 CK 的 1.25 倍；H8 处理出现最小值，为 0.81  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，是 CK 的 0.47 倍。根中的 P 素分布变化趋势同茎相似，H3 处理出现最大值，为 1.85  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，显著高于 CK ( $P < 0.05$ )，是 CK 的 1.6 倍；H8 处理出现最小值，为 0.83  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ，是 CK 的 0.72 倍。

多重比较表明，N、P、K 三因素对香樟幼苗叶片 P 含量的影响顺序为  $N > P > K$ ，随着施 N 量和施 P 量的增加，叶片 P 含量随之上升，说明加大施 N 量和施 P 量能促进植株对 P 素的吸收以及对叶片的 P 分配。N、P、K 三因素对香樟幼苗茎的 P 含量影响顺序为  $P > N > K$ ，随着施 P 量的增加，茎的 P 含量

表 5 氮、磷、钾不同水平对各器官氮、磷、钾浓度的影响  
Table 5 Effects of N P and K fertilizer on N P K concentration of seeding organs

因素 Factor	水平 Lever	N			P			K		
		叶 Leaf	茎 Branch	根 Root	叶 Leaf	茎 Branch	根 Root	叶 Leaf	茎 Branch	根 Root
N	$k_1$	12.33 ± 1.33b	7.68 ± 1.02b	7.85 ± 0.84b	0.89 ± 0.03b	1.65 ± 0.15a	1.30 ± 0.16a	20.31 ± 1.87a	20.57 ± 1.53a	15.22 ± 2.07a
	$k_2$	13.35 ± 1.05b	10.45 ± 0.86a	12.30 ± 1.36a	1.26 ± 0.08a	1.34 ± 0.12a	1.26 ± 0.11a	14.88 ± 2.03b	13.94 ± 0.86b	11.89 ± 0.74a
	$k_3$	16.00 ± 2.33a	10.24 ± 0.84a	9.65 ± 0.65b	1.28 ± 0.06a	1.14 ± 0.12a	1.00 ± 0.04a	14.88 ± 1.74b	19.26 ± 2.35a	12.35 ± 1.21a
	R	3.67	2.78	4.45	0.39	0.51	0.30	5.43	6.63	3.33
P	$k_1$	13.65 ± 1.26a	8.55 ± 0.82a	9.98 ± 1.03a	0.95 ± 0.06a	1.23 ± 0.11a	1.10 ± 0.04a	15.93 ± 1.33b	14.92 ± 2.51b	12.96 ± 1.67a
	$k_2$	13.85 ± 0.89a	10.60 ± 0.88a	9.84 ± 0.82a	1.14 ± 0.03a	1.12 ± 0.14a	0.97 ± 0.06b	15.85 ± 2.86b	16.45 ± 2.52b	13.38 ± 1.38a
	$k_3$	14.17 ± 1.33a	9.22 ± 1.05a	9.98 ± 0.87a	1.33 ± 0.12a	1.78 ± 0.06a	1.49 ± 0.11a	18.28 ± 1.56a	22.40 ± 2.88a	13.12 ± 1.15a
	R	0.53	2.05	0.14	0.38	0.66	0.52	2.43	7.48	0.41
K	$k_1$	13.73 ± 1.15a	9.10 ± 0.81a	9.99 ± 0.73a	1.23 ± 0.26a	1.34 ± 0.11a	1.15 ± 0.15a	10.77 ± 1.28c	9.79 ± 1.37c	8.22 ± 1.55b
	$k_2$	14.74 ± 1.55a	7.68 ± 0.62a	9.73 ± 0.94a	1.06 ± 0.03a	1.32 ± 0.07a	1.07 ± 0.02a	16.42 ± 1.58b	18.63 ± 1.89b	14.05 ± 2.46a
	$k_3$	13.21 ± 1.89a	11.59 ± 2.57a	10.08 ± 1.05a	1.13 ± 0.08a	1.47 ± 0.06a	1.35 ± 0.04a	22.88 ± 3.56a	25.36 ± 2.84a	17.19 ± 1.83a
	R	1.53	3.90	0.35	0.17	0.15	0.28	12.11	15.57	8.97

注: 不同小写字母表示同列处理之间有显著性差异 ( $P < 0.05$ );  $k_1, k_2, k_3$  分别为水平 1~3 的均值 R 为极差。  
Note: Different small letters show significant differences at  $P < 0.05$  level in the same row;  $k_1, k_2, k_3$  are mean value of 1-3 levels respectively R is range.

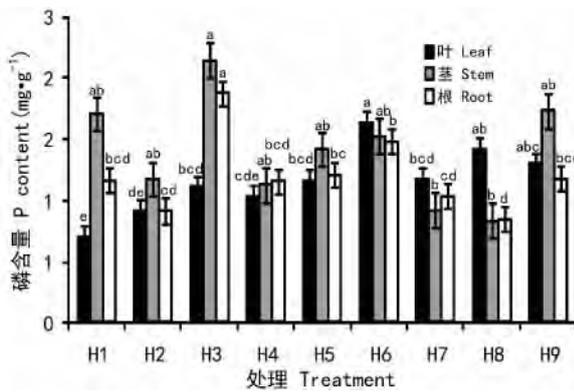


图 3 不同处理香樟幼苗各器官的磷含量  
Fig. 3 P content of *C. camphora* seeding organs under different treatments

呈现先降低后升高的趋势,说明在 P 素较少的情况下,茎的 P 素积累会受到限制,加大施 P 量能保证植株对茎的 P 素分配。N、P、K 三因素对香樟幼苗根的 P 含量影响顺序为  $P > N > K$ ,随着施 P 量的增加,根的 P 含量呈现先降低后升高的趋势,说明加大施 P 量能保证植株对根的 P 素分配。

3.2.3 施肥对香樟幼苗叶、茎、根钾浓度的影响 K 素在香樟幼苗各器官的分布具有差异性,不同的处理间差异性显著。各处理叶片中的 K 素分布较之 CK 变化幅度很大,H3 处理出现最大值,为  $29.12 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于 CK ( $P < 0.05$ ),是对照的 2.23 倍;H8 处理出现最小值,为  $9.15 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,是对照的 0.7 倍。各处理茎的 K 含量变化趋势与叶片大致相似,H3 处理出现最大值,为  $32.71 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于 CK ( $P < 0.05$ ),是 CK 的 2.6 倍;H6 处理出现最

小值,为  $6.90 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,是对照的 0.55 倍。各处理根的 K 含量变化趋势也与叶片大致相似,H3 处理出现最大值,为  $20.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,显著高于 CK ( $P < 0.05$ ),是对照的 1.88 倍;H6 处理出现最小值,为  $5.26 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,是对照的 0.49 倍。

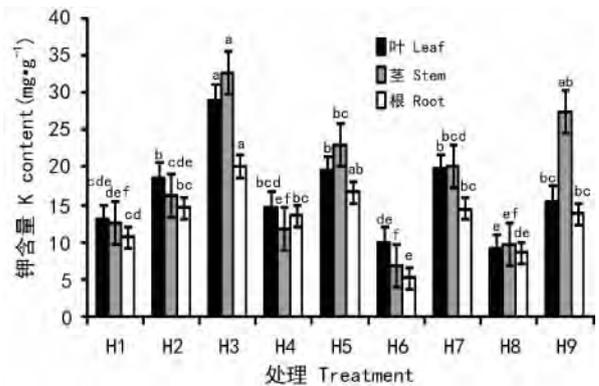


图 4 不同处理香樟幼苗各器官的钾含量  
Fig. 4 K content of *C. camphora* seeding organs under different treatments

多重比较表明,N、P、K 三因素对香樟幼苗叶片 K 含量的影响顺序为  $K > N > P$ ,随着施 K 量增加,叶片 K 含量随之上升,说明增加施 K 量能促进植株对叶片的 K 分配。N、P、K 三因素对香樟幼苗茎的 K 含量影响顺序为  $K > P > N$ ,随着施 K 量、施 P 量增加,茎的 K 含量随之上升,说明增加施 K 量、施 P 量能促进植株对茎的 K 分配。N、P、K 三因素对香樟幼苗根的 K 含量影响顺序为  $K > N > P$ ,随着施 K 量增加,根的 K 含量随之上升,说明增加施 K 量能促进植株对 K 素的吸收和对根的 K 分配。

表 6 香樟幼苗养分含量与苗高、地径、生物量的相关分析  
Table 6 Correlation of nutrition with seedling height, ground diameter and biomass

指标 Index	叶 N Leaf N	茎 N Branch N	根 N Root N	叶 P Leaf P	茎 P Branch P	根 P Root P	叶 K Leaf K	茎 K Branch K	根 K Root K
苗高 Seedling height	0.67*	0.1	0.43	0.78*	-0.12	0.03	-0.52	-0.23	-0.52
地径 Ground diameter	0.27	0.72*	0.50	0.57	-0.52	-0.07	-0.10	-0.20	-0.18
叶生物量 Leaf biomass	0.68*	0.45	0.59	0.76*	-0.47	-0.30	-0.54	-0.27	-0.45
茎生物量 Branch biomass	0.55	0.43	0.61	0.69*	-0.41	-0.22	-0.49	-0.26	-0.42
根生物量 Root biomass	0.27	0.59	0.23	0.47	-0.40	-0.14	-0.08	-0.04	-0.17

注: \* 表示在  $P < 0.05$  水平上显著。

Note: \* means significant correlation at  $P < 0.05$  level.

### 3.3 养分含量与苗高、地径、生物量的相关关系

表 6 显示, 香樟幼苗的苗高生长与叶片氮含量、叶片磷含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 地径生长与茎氮含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 叶生物量与叶片氮含量、叶片磷含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 茎生物量与叶片磷含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )。说明提高香樟幼苗叶片中的氮、磷含量, 能显著促进其苗高生长及叶生物量和茎生物量的积累; 提高茎中的氮含量, 能显著促进其地径的生长。

## 4 讨论与结论

### 4.1 施肥对香樟幼苗养分分配的影响

本研究中, 氮素在香樟幼苗叶、茎、根中的分配主要受氮肥影响, 受钾肥、磷肥影响较小。随着施氮量增加, 叶、茎、根中的氮含量随之上升, 说明香樟幼苗生长所需的氮素远远超过土壤本身的氮含量, 要保证香樟幼苗的生长不受阻, 施加氮肥不可缺少。这与何茜等 (2012) 的研究结果相似。由此可见, 本研究施加的氮肥水平有利于香樟幼苗各器官氮含量的积累。随着施钾量增大, 香樟幼苗茎部的氮含量显著上升, 说明钾肥能显著提高植株的茎氮含量。钾素能提高植物对氮素的吸收与利用 (祖艳群等, 2000)。由此推测, 钾肥能促进香樟幼苗对氮素的吸收利用, 同时加强向茎部的氮分配, 其作用机制有待进一步研究。

磷素在香樟幼苗叶、茎、根中的分配主要受氮肥的影响, 受磷肥、钾肥的影响最小。随着施氮量增加, 叶片的磷含量随之上升; 随着施磷量的增加, 茎、根的磷含量随之上升。植株为了满足各种生长代谢活动的需求, 总是会有限的养分资源分配到最需要该养分的器官或部位, 从而有效促进植株的生长发育 (Craine *et al.* 2001)。因此推测, 在磷素供应有限时, 施加氮肥促进了叶片的光合作用, 从而植株将

有限的磷素分配到叶片参与光合生产, 导致叶片磷含量上升; 当磷素供应水平上升后, 超过了叶片对磷素的需求, 植株则将磷素分配到茎和根。

钾素在香樟幼苗叶、茎、根中的分配主要受钾肥的影响, 受氮肥、磷肥的影响最小。随着施钾水平的上升, 香樟幼苗叶、茎、根中的钾含量随之上升。说明香樟幼苗对钾的吸收利用主要受外界钾含量的影响。这与柴仲平等 (2011) 的研究相似。

### 4.2 施肥对香樟幼苗生长的影响

不同施肥处理对香樟幼苗苗高、地径的影响不同, 氮肥的影响最为显著, 磷肥和钾肥的影响则较小。这与康瑶瑶等 (2011) 的研究一致。本研究显示, 香樟幼苗的苗高生长与叶片氮含量和磷含量呈显著正相关, 地径的生长则与茎氮含量呈显著正相关; 而施加氮肥能显著增加植株各器官的氮含量及叶片磷含量, 因此氮肥能显著促进香樟幼苗苗高、地径的生长。

不同施肥处理香樟幼苗的叶、茎、根生物量差异显著, 说明不同的施肥配比会影响植株各器官的生物量分配。本研究中, 香樟幼苗叶片的生物量与叶片氮含量和叶片磷含量呈显著正相关, 茎生物量与叶片磷含量呈显著正相关, 说明提高叶片氮含量和磷含量能显著促进植株的枝叶生长。这与魏红旭等 (2010) 的研究结果相似。由此可见, 施加氮、磷、钾肥能促进香樟幼苗枝叶生物量的积累。

综上所述, 施肥能改善香樟幼苗的养分分配格局, 显著促进其苗高、地径的生长, 以及生物量的积累, 其中氮肥起主导作用, 磷肥和钾肥次之。综合而言, H9 处理即氮肥 ( $6 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ )、磷肥 ( $6 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ )、钾肥 ( $4 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ ) 混合施肥, 最能促进 1 年生香樟幼苗苗高、地径的生长, 以及枝叶的生物量积累。

香樟幼苗的生长是一个复杂的生理过程, 本研究仅针对了施肥对植株苗高、地径、生物量和养分分配进行了探讨, 在今后的研究中还需深入探讨基质

养分在香樟幼苗生长过程中的变化情况以及植株对养分的吸收、利用和同化的反应机制等,进一步为香樟多目标定向培育提供科学合理的理论依据,也为其它树种的相关研究提供一定的参考依据。

### 参考文献:

- Chai ZP(柴仲平),Wang XM(王雪梅),Sun X(孙霞),*et al.* 2011. Influence on plant nutrient content of *Zizyphus Jujube* under different treatments of N P K(氮、磷、钾施肥对比对红枣植株养分含量的影响) [J]. *Tianjin Agric Sci*(天津农业科学), **17**(3):32-35
- Chen J(陈竣),Li YQ(李贻铨),Yang CD(杨承栋),*et al.* 1998. Status of the research in fertilization and nutrient diagnosis of forest soil in China(中国林木施肥与营养诊断研究现状) [J]. *World For Res*(世界林业研究) **11**(3):58-65
- Chen L(陈琳),Zeng J(曾杰),Xu DP(徐大平),*et al.* 2010. Effects of exponential nitrogen loading on growth and foliar nutrient status of *Betula alnoides* seedlings(氮素营养对西南桦幼苗生长及叶片养分状况的影响) [J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), **46**(5):35-40
- Chen QX(陈秋夏),Wang JW(王金旺),Zheng J(郑坚),*et al.* 2011. Effects of nitrogen on morphological and physiological characteristics of *Cyclobalanopsis glauca* container seedlings(不同施氮水平对青冈栎容器苗的形态和生理特性影响) [J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农学通报) **27**(28):28-35
- Craine JM, Froehle J, Tilman DG. 2001. The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients [J]. *Oikos*, **93**(2):273-285
- Ding DR(丁钊冉),Hao FL(郝龙飞),Zhang JX(张静娴),*et al.* 2013. Effect of exponential fertilization on biomass and morphological characteristics of *Betula platyphylla* seedlings(指数施肥对白桦容器苗生物量及形态特征的影响) [J]. *J Northeast For Univ*(东北林业大学学报) **41**(10):31-34
- Hawkins BJ, Burgess D, Mitchell AK. 2005. Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions [J]. *Can J For Res* **35**(4):1 002-1 016
- He Q(何茜),Wang R(王冉),Li JY(李吉跃),*et al.* 2012. Nutrient uptake of *Aquilaria malaccensis* & *Aquilaria sin* seedlings in response to different exponential regimes(不同浓度指数施肥方法下马来沉香与土沉香苗期需肥规律) [J]. *Plant Nutr & Fert Sci*(植物营养与肥料学报) **18**(5):1 193-1 203
- Jiang YD(蒋云东),Wang DM(王达明),Qiu Q(邱琼),*et al.* 2003. Fertilization experiment on young plants of seven broad-leaved tree species indigenous to tropical areas(7种热带阔叶树种的苗木施肥试验) [J]. *Yunnan For Sci & Technol*(云南林业科技) **2**(6):11-15
- Kang YY(康瑶瑶),Liu Y(刘勇),Ma LY(马履一),*et al.* 2011. Effects of fertilization on uptake and availability of N and P nutrient pool of *Larix olgensis* seedlings(施肥对长白落叶松苗木养分库氮磷吸收及利用的影响) [J]. *J Beijing For Univ*(北京林业大学学报) **33**(2):31-36
- Lu RK(鲁如坤). 2000. The Analysis Method of Soil Agricultural Chemistry(土壤农业化学分析方法) [M]. Beijing(北京): Chinese Agricultural Science Press(中国农业科技出版社):309-310,313-316,332-333
- Qi CJ(祁承经),Tang GG(汤庚国). 2005. Dendrology(树木学) [M]. Beijing(北京): China Forestry Press(中国林业出版社):91
- Qu L, Quoreshi AM, Koike T. 2003. Root growth characteristics, biomass and nutrient dynamics of seedlings of two larch species raised under different fertilization regimes [J]. *Plant & Soil* **25**(5):293-302
- Tian DL(田大伦),Luo Y(罗勇),Xiang WH(项文化),*et al.* 2004. Photosynthetic characteristics of *Cinnamomum camphora* and its response to elevation of CO<sub>2</sub> and temperature(樟树幼树光合特性及其对CO<sub>2</sub>浓度和温度升高的响应) [J]. *Sci Silv Sin*(林业科学) **40**(5):88-92
- Wang LB(王利宝),Zhu NH(朱宁华),E JH(鄂建华),*et al.* 2010. Effects of heavy metals lead, zinc and copper on young seedlings growth of *Cinnamomum camphora* and *Koelreuteria paniculata* (Pb、Zn等重金属对樟树、栾树幼苗生长的影响) [J]. *J Cen South Univ For & Technol*(中南林业科技大学学报) **30**(2):44-47
- Wang LP(王力朋),Li JY(李吉跃),Wang JH(王军辉),*et al.* 2012. Effects of exponential fertilization on seedlings growth and nitrogen uptake and utilization efficiency of *Catalpa bungei* clones(指数施肥对楸树无性系幼苗生长和氮素吸收利用效率的影响) [J]. *J Beijing For Univ*(北京林业大学学报) **34**(6):55-62
- Wang XL(王晓立),Han HZ(韩浩章),Jiang YF(江宇飞),*et al.* 2010. The study of main physiological variation patterns of *Camphora Etiolation*(香樟黄化主要生理指标变化规律研究) [J]. *Hubei Agric Sci*(湖北农业科学) **49**(3):620-622
- Wei HX(魏红旭),Xu CY(徐程扬),Ma LY(马履一),*et al.* 2010. Advances in study on seedlings exponential fertilization Regime(苗木指数施肥技术研究进展) [J]. *Sci Silv Sin*(林业科学) **46**(7):140-146
- Wei HX(魏红旭),Xu CY(徐程扬),Ma LY(马履一),*et al.* 2010. Nutrient uptake of *Larix olgensis* seedlings in response to different exponential regimes(不同指数施肥方法下长白落叶松播种苗的需肥规律) [J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报) **30**(3):685-699
- Yang YL(杨应龙). 2011. The characteristics and cultivation techniques of *Camphora Etiolation*(香樟树的特征特性及栽培技术) [J]. *Modern Agric Sci & Technol*(现代农业科技), (12): 213-234
- Zhu Y(祝燕),Liu Y(刘勇),Li GL(李国雷),*et al.* 2011. Effects of nitrogen fertilization on the growth and nutrient status in *Larix olgensis* seedlings(氮素营养对长白落叶松移植苗生长及养分状况的影响) [J]. *Sci Silv Sin*(林业科学) **47**(9):168-172
- Zhu YQ(祖艳群),Lin KH(林克惠). 2000. Interaction of nitrogen and phosphorus nutrition and its effect on crop yield and quality(氮钾营养的交互作用其对作物产量和品质的影响) [J]. *Soil & Fert*(土壤肥料), (2):3-7
- Zuo HJ(左海军),Ma LY(马履一),Wang Z(王梓),*et al.* 2010. Research on fertilizer application technology for seedlings and its development trends(苗木施肥技术及其发展趋势) [J]. *World For Res*(世界林业研究) **23**(3):39-43