不同肥料类型对尾巨桉幼林生物量分配及养分利用率的影响

刘学锋，李　慧，朱林生，张维耀，陈少雄*

(国家林业局桉树研究开发中心，广东 湛江 524022)

摘要：为了给尾巨桉幼林的施肥提供依据，以肥料类型为试验因素，采用随机区组设计对其进行培育，研究不同肥料类型对尾巨桉幼林生物量、养分分配及养分利用率的影响。结果表明：在等 N、P、K 施入量的条件下，地径、树高生长、生物量分配以处理Ⅲ最佳。整体排序为处理Ⅲ＞处理Ⅱ＞处理Ⅰ＞CK。国产的有机无机复合肥对幼林尾巨桉树高、地径、生物量效果最佳，进口复合肥次之，传统复混肥最差。国产的有机无机复合肥与进口复合肥的养分利用效率无显著差异。从尾巨桉的生长以及生产成本考虑，推荐使用国产的有机无机复合肥施肥。

关键词：尾巨桉；肥料类型；生物量分配；养分利用率

中图分类号：S725.5　　**文献标识码**：A

Effects of Different Fertilizer Types on Biomass, Nutrient Distribution and Nutrient Utilization of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*

LIU Xue-feng, LI Hui, ZHU Lin-sheng, ZHANG Wei-yao, CHEN Shao-xiong

(*China Eucalypt Research Centre, Zhanjiang 524022, Guangdong, China*)

Abstract: In order to provide a basis for efficient fertilization of *Eucalyptus urophylla*× *E. grandis*, a range of fertilizer types were applied in a randomized complete block design field trial. The effects of fertilizer type on the biomass, nutrient allocation and nutrient use efficiency were studied, with results showing that for the same total amounts of applied N, P, K, treatment III provided the greatest ground diameter, tree height growth as well as the highest fresh and dry biomass. The other treatments were generally ranked for these parameters (from best to poorest) in the order: treatment II > treatment I > CK. Domestic organic and inorganic compound fertilizers generally provided the largest ground diameters, dry and fresh biomass for *E. urophylla*× *E. grandis*, whilst traditional compound fertilizer gave the poorest growth and imported compound fertilizer was intermediate between the two types. As to nutrient use efficiency, no significant differences were found between imported compound fertilizer and both domestic organic and domestic inorganic fertilizers. Therefore, to optimize both growth and cost of production in commercial *E. urophylla*× *E. grandis* plantations, domestic organic and inorganic fertilizers are recommended.

Key words: *Eucalyptus urophylla*× *E. grandis*; fertilizer type; biomass allocation; nutrient utilization

桉树(*Eucalyptus*)原产于大洋洲的澳大利亚大陆，个别种原产于印度尼西亚的帝汶等岛屿和巴布亚新几内亚等[1]。土壤是桉树生长的主要载体，土壤养分供给是桉树养分的主要来源之一[2]。合理施肥已成为定向培育短轮伐期工业用材林和提高经济林效益的重要技术措施[3]。桉树的施肥效果不仅受桉树自身营养特性[4-5]、土壤类型[6-7]等因素的影响，还与肥料类型[8-10]有关。本文以尾巨桉(*E.urophylla* × *E.grandis*)幼林为研究对象，研究不同肥料类型对其生物量、养分分配及养分利用率的影响，以期为培育桉树人工林选用合适的肥料提供参考依据。

1　试验地概况

试验地位于广东省湛江市遂溪县岭北镇南方国家级林木种苗示范基地，地理位置为东经 111°38′，

基金项目：948 引进国际先进林业科学技术项目(2013-4-36)；广东省林业科技创新项目(2016KJCX005)。
作者简介：刘学锋(1985—　)，男，硕士，工程师，主要从事桉树定向培育研究，E-mail: afayewong@foxmail.com.
＊**通讯作者**：陈少雄(1965—　)，男，博士，研究员，主要从事桉树定向培育研究，E-mail:sxchen01@163.com.

北纬 21°30′。属北热带季风气候，日光充足；高温多雨，干湿季明显；夏秋季雨多，雷多，台风多。年平均温度为 22.7℃。土壤成土母质主要有：浅海沉积物占 68.4%，玄武岩占 20.4%，砂页岩占 5.4%，滨海沉积物占 5.8%。试验地各分层土壤养分含量情况见表 1。

表 1 试验地各分层土壤养分含量

土层深度 /cm	pH 值	有机质 /(g·kg^{-1})	全氮 /(g·kg^{-1})	全磷 /(g·kg^{-1})	缓效钾 /(g·kg^{-1})	有效氮 /(mg·kg^{-1})	有效磷 /(mg·kg^{-1})	有效钾 /(mg·kg^{-1})
0 ~ 20	5.20	21.24	0.89	0.66	1.54	117.30	0.39	18.58
20 ~ 40	5.08	20.67	0.97	0.67	1.99	129.94	0.33	31.51
40 ~ 100	5.25	21.97	1.04	0.67	2.13	130.36	0.27	40.14

2 材料与方法

2.1 试验材料

试验用苗取自南方国家级林木种苗示范基地，选取生长相对一致的尾巨桉无性系(DH32-29)轻基质网袋苗。

所用 3 种肥料分别为传统复混肥(尿素含氮 46%，过磷酸钙含 $P_2O_5$16%，氯化钾含 K_2O 37.7% 复混)、芬兰进口复合肥(15-15-15)及国产的有机无机复合肥(追肥：15-5-9)。

2.2 试验设计

以肥料类型为试验因素，采用完全随机设计。设置 4 个施肥处理：传统复混肥、商品肥、有机无机复合肥和不施肥(对照)，分别以处理Ⅰ、处理Ⅱ、处理Ⅲ和 CK 表示，各处理 3 次重复。造林时未施基肥，追肥时间分别为 2016 年 4 月中旬和 10 月中旬，于 2016 年 7 月和 10 月进行除杂抚育两次。本次试验采用等养分含量法施用(表 2)，以对比不同肥料类型，各处理氮、磷、钾利用率差异情况。

林分株行距为 2 m ×3 m，种植穴规格为 50 cm ×50 cm×40 cm(长×宽×深)。处理Ⅰ、处理Ⅱ和处理Ⅲ各占地 2 hm^2，CK 占地 2.5 hm^2。

表 2 各处理的施肥类型和施肥量

处理编号	肥料种类	追肥/(g·株$^{-1}$) 2016 年 4 月		追肥/(g·株$^{-1}$) 2016 年 10 月	
		养分比例	施用量	养分比例	施用量
Ⅰ	传统复混肥	6-12-6	438.5	15-5-9	197.4
Ⅱ	进口复合肥	15-15-15	225	15-15-15	145
Ⅲ	有机无机复合肥	15-5-9	422	15-5-9	225
CK	—	—	—	—	—

2.3 研究方法

林分 8 月生时，对样地内林木进行每木检尺，选取各施肥处理平均木 3 株，不施肥处理平均木 1 株，进行生物量调查，分树根、树干、树皮、叶片、树枝 5 个部位各自称重。称重后的样品各取 60 g，先于 105℃下杀青 30 min，然后 80℃烘干至恒重。烘干后称重，并根据取样与整株生物量换算到整株干重。

氮采用半微量凯氏法测定，磷采用碱熔—钼锑抗比色法测定，钾采用原子吸收仪测定。植株养分实际含量采用如下公式计算：

$$\text{养分实际含量} = \frac{\text{样品干重}}{\text{样品鲜重}} \times \text{植株总鲜重} \times \frac{\text{所测含量}}{1000}$$

测定出树根等 5 个部位样品氮、磷、钾含量后，根据该含量换算为植株各部位总的氮、磷、钾含量，各部位氮、磷、钾累积量之和即为整株氮、磷、钾总累积量。

通过田间地差法比较两种肥料氮、磷、钾利用

率的差异情况。肥料中单素养分利用率采用如下公式计算：

$$\frac{\text{施肥桉树该养分的含量} - \text{不施肥桉树该养分的含量}}{\text{肥料施肥量} \times \text{该养分的百分含量}} \times 100\%$$

3 结果与分析

3.1 不同肥料类型对尾巨桉幼林地径、树高的影响

由图 1 可知，处理III地径生长最佳，其次为处理Ⅱ、处理Ⅰ、CK。对处理间地径、树高均值进行多重比较可知，各处理间地径存在显著差异，与 CK 差异显著。树高指标排序为处理III＞处理Ⅰ＞处理Ⅱ＞CK。处理Ⅰ与处理Ⅱ差异不显著，处理III及 CK 均与其他处理差异显著。

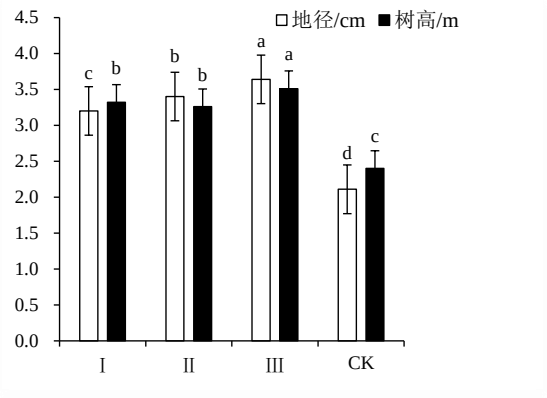

图 1　不同肥料类型对尾巨桉幼林地径、树高的影响

3.2 不同肥料类型对尾巨桉幼林鲜生物量分配的影响

由表 3 可知，树根鲜生物量处理Ⅰ与处理III无显著差异，与其余处理差异显著，所占比例以 CK 最高。树干鲜生物量以处理III最高，为 1 616.07 g，分别是处理Ⅰ、处理Ⅱ和 CK 的 1.28、1.36 与 3.94 倍，处理Ⅰ、处理Ⅱ间差异不显著，其余处理间均存在显著差异。树皮鲜生物量最大为处理III，处理Ⅰ、处理Ⅱ间差异不显著。处理Ⅰ、处理Ⅱ和处理III的叶片鲜生物量均与 CK 存在显著差异。树枝鲜生物量以处理III最高。总鲜生物量大小排序为处理III＞处理Ⅱ＞处理Ⅰ＞CK。

由表 4 可知，树根干生物量最大为处理Ⅱ，其所占比例也最高，树干生物量最大为处理III，所占比例达到 34.23%，其次为处理Ⅰ、处理Ⅱ，最低为 CK。树根、树干干生物量处理Ⅰ与处理Ⅱ、处理Ⅱ与处理III之间差异不显著，但处理Ⅰ与处理III差异显著，且均与 CK 差异显著。各处理间树皮干生物量大小排序为处理III＞处理Ⅰ＞处理Ⅱ＞CK，除处理Ⅰ、Ⅱ间无显著差异，其余各处理间均差异显著。叶片干生物量的 CK 与各处理间差异显著，最高为处理Ⅱ。树枝干生物量以处理Ⅱ最大，处理Ⅱ与处理III无显著差异，但均与处理Ⅰ和 CK 差异显著。总干生物量排序与总鲜生物量排序一致。

表 3　不同肥料类型对尾巨桉幼林鲜生物量分配的影响　　g

部位	处理Ⅰ	处理Ⅱ	处理III	CK
树根	615.00±69.82b(15.58%)	935.60±24.25a(21.03%)	753.47±81.86b(15.19%)	343.47±7.76c(23.17%)
树干	1264.93±150.73b(32.05%)	1188.40±23.13b(26.72%)	1616.07±30.46a(33.10%)	410.47±26.77c(27.68%)
树皮	358.07±36.08b(9.07%)	338.07±4.12b(7.60%)	445.07±36.08a(9.11%)	128.77±3.53c(8.69%)
叶片	1093.67±62.20a(27.71%)	1229.43±35.68a(27.64%)	1277.53±97.95a(26.16%)	390.70±53.34b(26.35%)
树枝	615.30±30.05b(15.59%)	756.87±17.21a(17.01%)	790.97±12.23a(16.20%)	209.40±14.50c(14.12%)
合计	3946.97±264.59b	4448.40±93.79ab	4883.10±138.67a	1482.77±75.99c

注：同列不同小写字母表示不同处理生物量差异显著(P＜0.05)，下同。

表 4　不同肥料类型对尾巨桉幼林干生物量分配的影响　　g

部位	处理Ⅰ	处理Ⅱ	处理III	CK
树根	232.57±36.51b(16.62%)	349.51±28.64ab(22.20%)	266.87±35.10a(16.16%)	118.49±7.34c(21.97%)
树干	468.86±69.46b(33.51%)	422.49±7.30ab(26.83%)	565.46±10.56a(34.23%)	160.02±11.64c(29.67%)
树皮	115.69±9.55b(8.27%)	108.81±3.09b(6.91%)	138.63±6.89a(8.39%)	45.04±2.30c(8.35%)
叶片	349.74±16.76a(24.99%)	394.83±16.24a(25.07%)	389.79±24.34a(23.60%)	125.67±4.25b(23.30%)
树枝	232.39±11.10b(16.61%)	299.08±13.49a(18.99%)	290.98±18.06a(17.62%)	90.14±11.85c(16.71%)
合计	1399.25±105.55b	1574.72±53.11a	1651.73±58.57ab	539.36±3.59c

3.3 不同肥料类型对尾巨桉幼林不同部位间养分含量差异的影响

由图 2 可知，树根养分含量中氮素含量处理III明显高于其他处理，处理III与处理Ⅱ、处理Ⅱ与处理Ⅰ差异不显著，均与 CK 差异显著；磷素、钾素含量各处理间差异不大。树干的氮素含量最大为处理Ⅱ，分别是处理Ⅰ、Ⅲ、CK 的 1.23 倍、1.12 倍和 1.59 倍，处理Ⅱ与处理Ⅰ、Ⅲ差异不显著，CK 与处理Ⅰ、Ⅲ差异不显著，处理Ⅱ与 CK 差异显著；磷素含量以处理Ⅱ最高，除处理III差异不显著外，其余各处理均有显著差异；钾素含量处理Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ均与 CK 存在显著差异。树皮氮素养分含量处理Ⅱ最佳，除处理III外，与各处理差异显著；磷素含量处理Ⅰ含量最低，且与处理Ⅱ、Ⅲ存在显著差异，与 CK 差异不显著；钾素含量各处理与 CK 差异显著。叶片氮素养分含量均不存在显著差异，磷素养分含量中，除 CK 与处理III差异显著外，其余各处理间无显著差异。树枝养分含量中氮、磷、钾素在各处理间无显著差异。

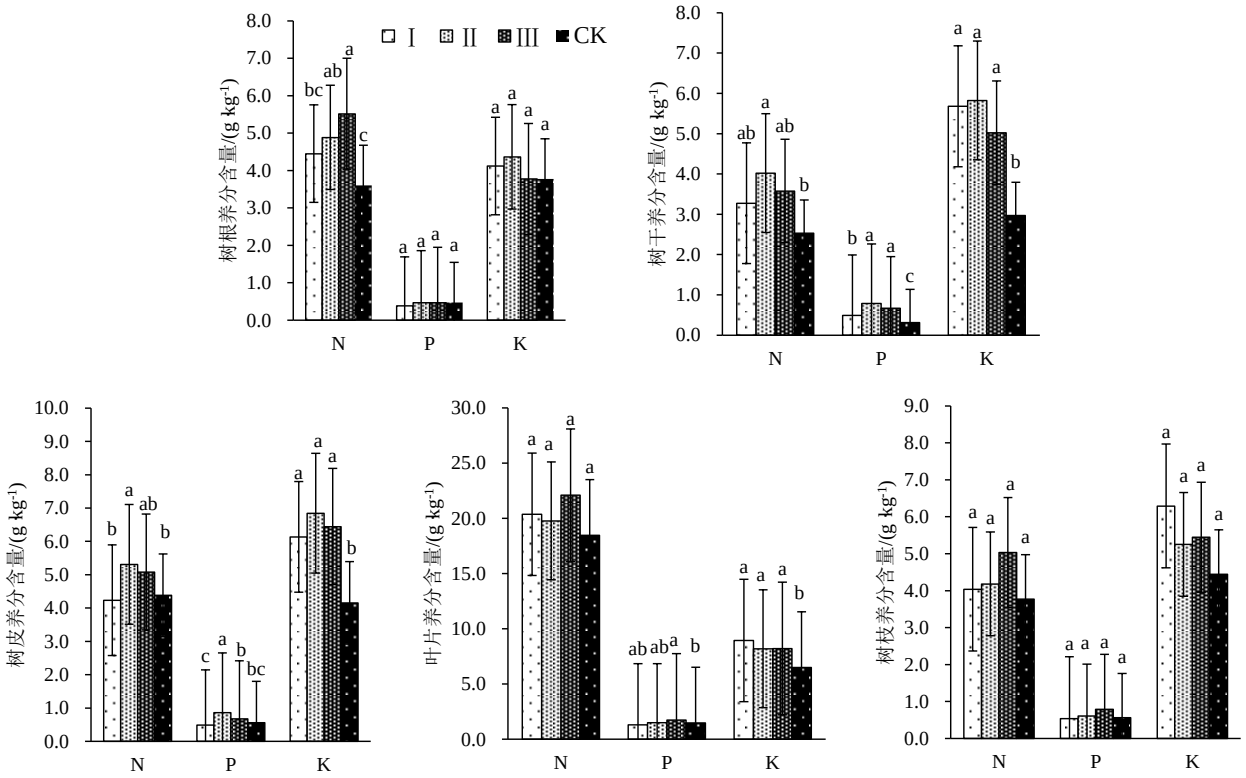

图 2 不同肥料类型对尾巨桉不同部位的养分分配影响

3.4 不同肥料类型对尾巨桉幼林养分分配的影响

图 3 是不同肥料类型对尾巨桉不同部位的养分分配影响。由图 3 可知，树根部养分累积量均以处理Ⅱ最大，N、P、K 分别达到 1.71、0.16 和 1.50 g kg^{-1}；处理Ⅰ的累积量分别为 1.00、0.09 和 0.93 g kg^{-1}；处理III的累积量分别为 1.37、0.12 和 0.92 g kg^{-1}。树干养分累积量最大为处理III，N 累积量是处理Ⅰ的 1.7 倍，是处理Ⅱ的 1.2 倍，是 CK 的 5.2 倍；P 累量是处理Ⅰ的 2.1 倍，是处理Ⅱ的 1.5 倍，是 CK 的 7.6 倍；K 累积量是处理Ⅰ的 1.4 倍，是处理Ⅱ的 1.2 倍，是 CK 的 6.2 倍。树皮、树皮 N、P、K 养分累积量排序为处理Ⅱ＞处理III＞处理Ⅰ＞CK。树枝 N、P、K 养分累积量排序为处理III＞处理Ⅱ＞处理Ⅰ＞CK。

3.5 不同肥料类型对尾巨桉幼林养分利用率的影响

由图 4 可知，不同肥料类型下尾巨桉的树根氮、磷、钾素养分利用率排序为处理Ⅱ＞处理III＞处理Ⅰ＞CK，树干氮、磷、钾素养分利用率为处理III＞处理Ⅱ＞处理Ⅰ＞CK。叶片氮、钾素养分利用率为处理Ⅱ＞处理III＞处理Ⅰ＞CK，磷素养分利用率为

处理III＞处理Ⅱ＞处理Ⅰ＞CK，树皮氮、钾素养分利用率为处理III＞处理Ⅱ＞处理Ⅰ＞CK，磷素养分利用率为处理Ⅱ＞处理III＞处理Ⅰ＞CK，树枝氮、磷素养分利用率为处理III＞处理Ⅱ＞处理Ⅰ＞CK，钾素养分利用率为处理Ⅱ＞处理III＞处理Ⅰ＞CK。

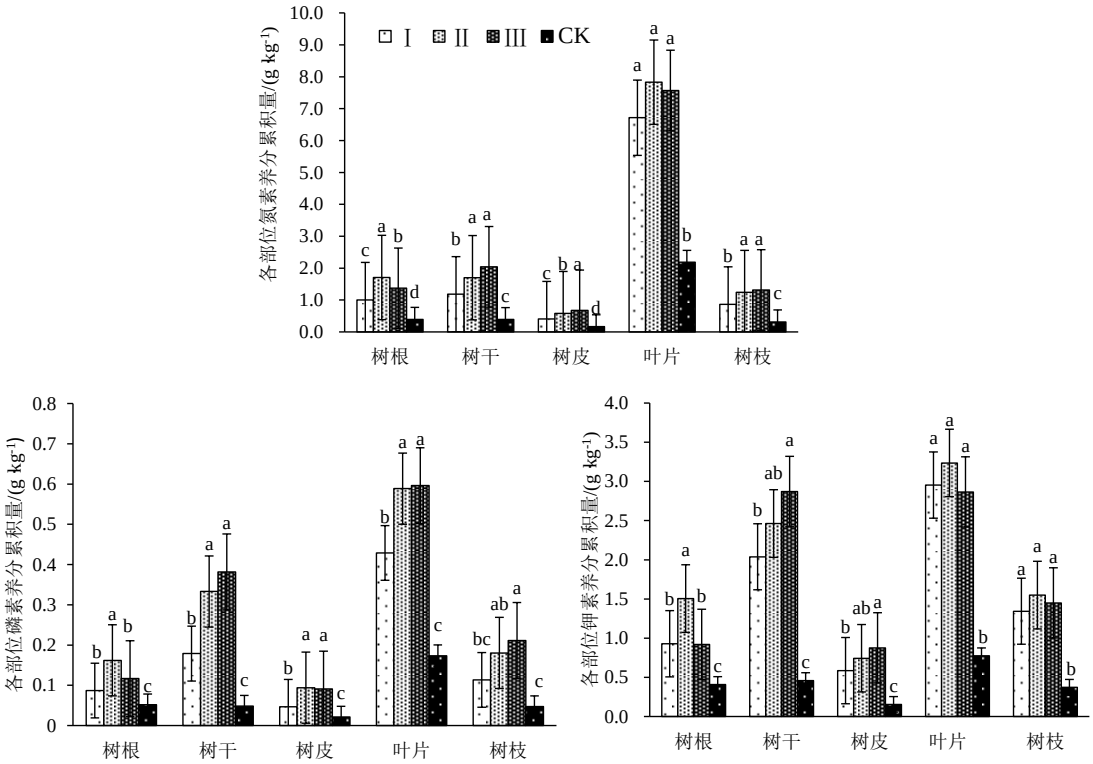

图 3　不同肥料类型对尾巨桉幼林养分分配的影响

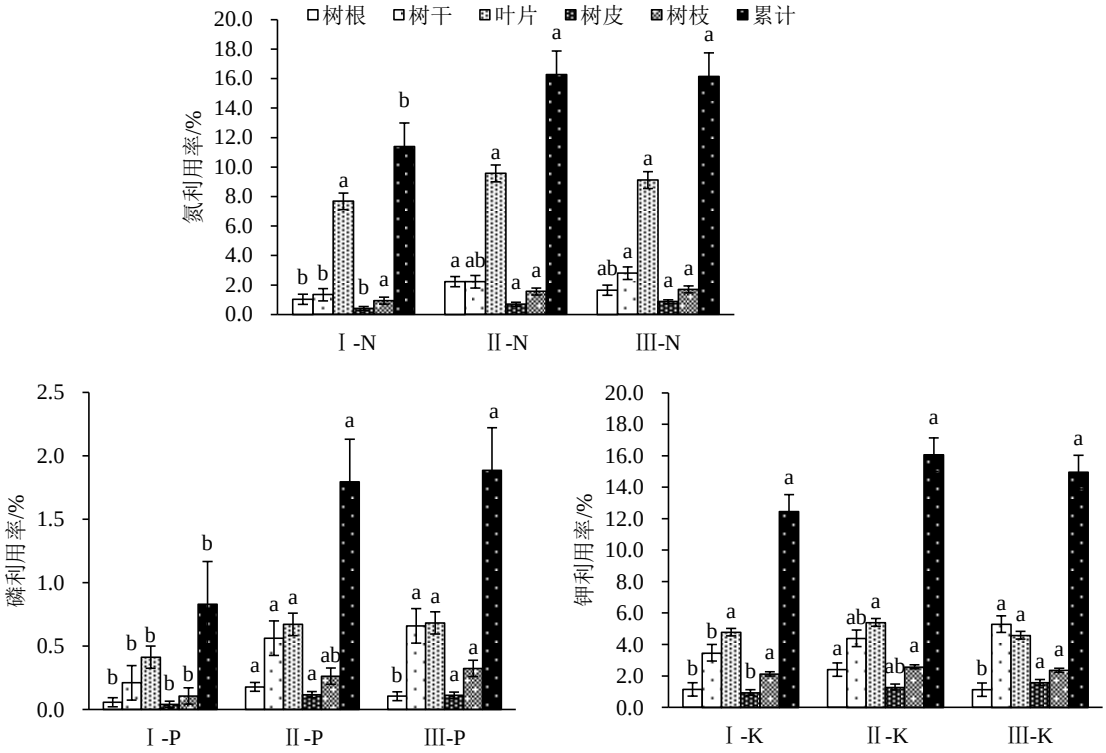

图 4　不同肥料类型对养分利用率的影响

4 讨论与结论

本试验结果表明：等养分含量不同肥料对桉树树高、地径的影响以进口复合肥和国产有机无机复合肥的使用效果较好，使用传统复混肥效果最差，说明仅仅施用速效养分不足以满足桉树的生长。廖胜彪[12]研究表明施用复混肥的效果较差，复混肥施用后营养元素快速释放，易被土壤中重金属固定或随雨水流失，不能被作物利用，造成浪费。生物量大小排序为处理Ⅲ＞处理Ⅱ＞处理Ⅰ＞CK，且各部位生物量分配排序为：树干＞叶片＞树根＞树枝＞树皮，与付威波等[13]的研究结果一致。本试验叶片养分含量显著高于其他部位，且氮含量高于磷、钾含量。树根养分含量中处理Ⅲ氮素含量明显高于其他处理；树干养分含量中氮素、磷素含量最佳为处理Ⅱ；树皮氮素养分含量处理Ⅱ最佳；树根、树皮、叶片部养分累积量均以处理Ⅱ最佳；树干树枝养分累积量以处理Ⅲ为最佳；树根氮、磷、钾素，叶片氮、钾素，树皮磷素，树枝钾素养分养分利用率排序为处理Ⅱ＞处理Ⅲ＞处理Ⅰ＞CK，树干氮、磷、钾素，叶片磷素，树皮氮、钾素，树枝氮、磷素养分利用率为处理Ⅲ＞处理Ⅱ＞处理Ⅰ＞CK。

桉树是典型的速生丰产林木，生长期长且需肥量大，生产中需多次大量追肥才能满足其正常生长需求[14]。施肥周期长，肥料养分流失，造成利用率低、损失严重，既增加了林农的生产成本，又对环境造成污染。因此，肥料的科学使用将为桉树栽培减少肥料养分流失，降低环境污染，提高肥料利用率，促进桉树生长，提高桉树产业经济效益[15]。本试验结果表明，国产的有机无机复合肥对幼林尾巨桉树高、地径、生物量效果最佳，进口复合肥次之，传统复混肥最差。在养分利用效率方面，国产的有机无机复合肥与进口复合肥无显著差异。因此，在生产上为促进尾巨桉的生长以及考虑生产成本，推荐使用国产的有机无机复合肥。

参考文献

[1] 祁述雄,王洪峰,文应乾.桉树栽培实用技术[M].北京:中国林业出版社,2006.

[2] Epron D, Marsden C, M’Bou A T, et al.Soil carbon dynamics following afforestation of a tropical savannah with *Eucalyptus* in Congo[J].Plant and soil, 2009, 323(1/2):309–322.

[3] 王力,侯庆春.林地施肥与水肥效益[J].西北林学院学报,2000,15(2):84–88.

[4] 梁坤南,周文龙,李贻铨.施肥对尾叶桉MLA无性系幼林生物量及养分含量的影响[J].林业科学研究,2004,17(3):327–333.

[5] 杨曾奖,郑海水,翁启杰,等.刚果12号桉施肥效应研究[J].广东林业科技,1997,13(3):14–18.

[6] 仲崇禄,弓明钦,陈羽,等.赤桉、细叶桉和巨桉幼林施磷量的确定[J].林业科学研究,2000,13(4):377–384.

[7] 吴建平,吴天乐,姚敏.幼林桉树施肥效应研究[J].湖南农业科学,2006(2):92–94.

[8] 陈少雄,王观明,项东云.尾叶桉施肥效果研究[J].林业科学研究,1996,9(6):573–578.

[9] 曹继钊,农必昌,唐黎明,等.广西桉树人工林配方施肥技术应用示范效益研究与评价[J].广西林业科学,2010,39(3):136–139.

[10] 谭长强,周建群,王凌晖,等.不同桉树复合肥基肥对比试验[J].林业科技开发,2014,28(1):101–104.

[11] 唐春红,吴朝学,姚姜铭,等.不同桉树专用追肥对桉树生长的影响[J].南方农业学报,2012,43(8):1154–1157.

[12] 廖胜彪.闽江下游山地巨桉无性系施肥试验研究[J].福建林业科技,2005,32(3):100–104.

[13] 付威波,彭晚霞,宋同清,等.不同林龄尾巨桉人工林的生物量及其分配特征[J].生态学报,2014,34(18):5234–5241.

[14] 梁坤南,周文龙,李贻铨.施肥对尾叶桉MLA无性系幼林生物量及养分含量的影响[J].林业科学研究,2004,17(3):327–333.

[15] 谭长强,申文辉,王凌晖,等.不同肥料对桉树幼苗营养及生长的影响[J].湖北农业科学,2016,55(12):3134–3138.