

# 红河干热河谷 2 年生吉贝人工幼林施肥效应研究

高柱<sup>1,2</sup>, 伍建榕<sup>1</sup>, 马焕成<sup>1</sup>

(1. 西南林业大学 西南地区生物多样性保育国家林业局重点实验室, 昆明 650224; 2. 江西省科学院生物资源研究所, 南昌 330029)

**摘要:**为明确吉贝幼林施肥配比及施用量,采用单因素及 N,P,K 三因素  $L_9(3^4)$  正交设计法,研究了施肥对 2 a 生吉贝造林成活率及生长促进的影响。结果表明:(1)施肥基导致吉贝造林平均成活率下降 6.92% 以上,尿素 200 g/株处理与  $CK_0$  差异显著;(2)施用复合肥 400 g/株、尿素 300 g/株处理树高、地茎增量与  $CK_1$  差异显著,100 g/株 N+100 g/株 P+50 g/株 K、200 g/株 N+100 g/株 P+150 g/株 K 组合树高、地茎、冠幅与  $CK_1$  差异极显著,分枝数与  $CK_1$  差异显著,除 300 g/株 N+200 g/株 P+150 g/株 K 组合增效指数小于尿素 300 g/株处理外,其余组合增效指数大于复合肥 400 g/株、尿素 300 g/株处理;(3)极差 R 比较认为,P 肥对树高生长显著,N 肥对地茎和冠幅生长较好,而分枝数第 1 年施 K 肥较 P 肥、N 肥好,第 2 年施 P 肥较 K 肥、N 肥好;(4)N,P,K 组合较单因素肥效显著,肥效指数大小可作为吉贝幼林施肥生长快慢的衡量指标。可见,干热河谷吉贝造林以不施基肥为宜,尤其不能施尿素,幼林追肥经济效益显著,1~2 a 生林可采用 100 g/株 N+100 g/株 P+100 g/株 K 或 200 g/株 N+100 g/株 P+150 g/株 K 肥料组合以及复合肥 400 g/株、尿素 300 g/株单施。

**关键词:**吉贝; 幼林生长; 肥料配比; 施肥效应

中图分类号:S725.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0095-06

## Effects of Fertilization on the Growth of Two-year Old Stand of *Ceiba pentandra* in Dry-hot Valley of Honghe River

GAO Zhu<sup>1,2</sup>, WU Jian-rong<sup>1</sup>, MA Huan-cheng<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Biodiversity Conservation of Southwest China of State Forestry Administration, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Institute of Biological Resources, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** To understand the impact of fertilization with different types of the amounts of fertilizers on survival rate and growth of two-year old stand of *Ceiba pentandra*, the single-factor and the N, P, K three factors  $L_9(3^4)$  orthogonal design method were used. The results showed that: (1) it caused the average of plantation survival rate fell by 6.92% or more with fertilizers, there were a significant difference between treatment of urea with 200 g per plant and control; (2) the treatments of strain with 400 g per plant or urea with 300 g per plant were significant different from control in height increment and diameter increment, but the groups with 100 g per plant N+100 g per plant P+50 g per plant K and 200 g per plant N+100 g per plant P+150 g per plant K had extremely significant difference relative to the control in height, diameter, and crown. It's significant difference in branches increment between treatments and control. The remaining groups were higher than treatment of strain with 400 g per plant and urea with 300 g per plant except that 300 g per plant N+200 g per plant P+150 g per plant K combination was less than treatment of urea with 300 g per plant in fertilizer factor; (3) it has significance on tree growth by P fertilizer through range contrast, but with better growth on diameter and crown by N fertilizer. It was better increment in branches by K fertilizer than P fertilizer and N fertilizer in 1-year old trees, but P fertilizer has the better effect than K, N fertilizer in 2-year trees; (4) effect of the combination of N, P, K fertilizers was significantly higher than single-factor, fertilizer factor can be used to measure fertilization on the growth speed of stand of *Ceiba pentandra*. As a result, it is better for *Ceiba pentandra* forest culture with no-fertilizers, especially not fertilizer urea. It has significant

收稿日期:2011-09-07

修回日期:2011-12-28

资助项目:林业公益性行业科研专项(2011104034);林业科学技术推广项目([2011]35号)资助;云南省高校科技创新团队建设项目

作者简介:高柱(1981—),男,江西上饶人,硕士,助理研究员,主要从事林木栽培及育种研究。E-mail:jxauzg2008@126.com

通信作者:马焕成(1962—),男,湖南武岗人,教授,从事困难地段造林和植被恢复研究。E-mail:mahuancheng@yahoo.com.cn

economic benefits with topdressing in young *Ceiba pentandra* plantation, which can be used the combinations of 100 g per plant N+100 g per plant P+100 g per plant K or 200 g per plant N+100 g per plant P+150 g per plant K, and can be used with 400 g per plant strain or 300 g per plant urea in 1~2 years old forest.

**Key words:** *Ceiba pentandra*; growth of young plantation; fertilizer rate; effect of fertilization

吉贝(*Ceiba pentandra* Linn. Gaertn.)为木棉科吉贝属半落叶大乔木<sup>[1-2]</sup>。原产热带美洲和东印度群岛,广泛引种于东南亚及非洲热带地区,我国主要分布在广西、云南、海南、广东等地<sup>[3]</sup>,福建亦有引种记录<sup>[4]</sup>,云南分布于西双版纳至元江一带<sup>[1]</sup>。吉贝果实长,是攀枝花木棉(*Bombax ceiba* L.)果实平均长度的 1.3~1.5 倍,单果纤维产量 1.7 倍,且成熟后不易爆裂,采收成本低;纤维长度长,能混纺更多英支纱,满足不同高端纺织产品需求<sup>[5]</sup>。木棉产业已成为云南林产业的重要组成部分,在干热河谷地区种植近 1 333 hm<sup>2</sup>,计划 5 a 内建成 1.8 万 hm<sup>2</sup> 的木棉种植基地,满足上海攀大公司 2 000 t 绒线年产需求,极具经济价值和生态效益<sup>[5]</sup>。

施肥能增加林地养分、改善土壤性状及根系分布,有效促进林木生长及开花结实,提高产量和质量,是集约化经营重要技术。在核桃、杨梅、印楝、膏桐等经济林种植区进行了广泛的施肥试验,提出了各种树种优化施肥方案,如刘朔<sup>[6]</sup>等研究认为施 P 肥或 K 肥能促进膏桐增产,而 N 肥作用不明显;郑益兴<sup>[7]</sup>等发现 N<sub>150</sub>P<sub>150</sub>K<sub>50</sub> 组合使印楝树高、地茎分别是对照的 1.9 倍和 2.7 倍。林秀香<sup>[4]</sup>、全吉文<sup>[8]</sup>都将吉贝苗分植后施肥按年度分为 3 次,但有关施肥对吉贝幼林生长的影响研究尚未见报道。苗期施肥不仅影响幼林生长量,而且对中龄林、近熟林的生长都有明显促进作用<sup>[9-10]</sup>。因此,本实验研究了施基肥对吉贝造林成活率的影响及追肥与幼林生长量的关系,分析施肥种类与幼林生长指标的联系,为吉贝人工丰产林科学施肥提供理论依据。

## 1 试验地概况

试验地位于云南省红河州个旧市保和乡冷墩村,为云南攀大木棉科技应用有限公司种植基地。地处 102°56'49.3"E,23°11'20.7"N,海拔 336 m,属典型干热河谷气候;年均温 25.12℃,极端最高气温 47.5℃,最低气温 0℃,无霜期 363 d;日照时数 1 770.2 h,年均降雨量低于 700 mm,蒸发量大于降雨量,且雨季和干季分明,6—9 月为雨季,降雨量占全年降雨量的 85% 以上,2—5 月几乎无雨,严重干旱。土壤为燥红土,A 层(0—20 cm)的 pH 为 7.03,有机质 14.58 g/kg;碱解 N 12.4 mg/kg;速效 K 51.4 mg/kg;速效 P 无。

## 2 材料与方 法

### 2.1 供试肥料与造林方法

2.1.1 供试肥料 含 N46% 的尿素,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>16% 的过磷酸钙,含 KCl 60% 的氯化钾,总养分 25% 的通用复合肥。

2.1.2 造林方法 新造林时间为 2009 年 6 月,植树穴上口径 50 cm,底径 40 cm,深度 50 cm。先回填 20 cm 后,将基肥与土混合均匀后回填至满;不施基肥处理则直接回满土。降雨新土湿润 7 d 后,在降雨或降雨来临之前造林。采用 I 级营养袋苗造林,苗高 70~85 cm,密度为 630 株/hm<sup>2</sup>。当年 10 月 30 日对吉贝成活率进行调查,然后再用营养袋苗补植。

### 2.2 施肥与施肥试验设计

2.2.1 施肥试验设计 基肥共设 A(尿素 200 g/株)、B(过磷酸钙 400 g/株)、C(复合肥 300 g/株)3 个处理,1 次施入,对照(CK<sub>0</sub>)为不施肥。单种肥料试验采用复合肥(F)和尿素(N),浓度见表 1。肥料配比以 N,P,K 为试验因素,分别设定低、中、高 3 水平,以角标 0,1,2 表示,采用 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交试验设计(表 1)。对照为挖穴不施肥,正交试验与单种肥料共设 1 组对照(CK<sub>1</sub>)。

表 1 试验因子与水平

水平	单肥因子		正交因子		
	F	N	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	KCl
1	200	100	46	46	30
2	400	200	92	92	90
3	600	300	138	138	150
4	800	400	—	—	—
5	—	500	—	—	—

注:“—”指无此水平。

2.2.2 追肥方法 各肥料成分按设计施用量充分混合均匀后,距离林木主干 25 cm,挖弧形沟,宽 20 cm,深 20 cm,将肥料施入沟中后,随即混匀覆土。施肥时间分别为 2010 年和 2011 年的 5 月,共 2 次。

2.2.3 施肥试验林设计 试验小区按正方形布置,面积为 1 024 m<sup>2</sup>,株数 64 株(8 行×8 株),均采用随机区组设计,其中基肥试验设 4 次重复,所有植株为调查对象;追肥试验设 3 次重复,中间 36 株为观测株,外围 28 株为保护行。每年对林地抚育一次,清理杂、灌、草。生长量测定在每年生长停止时进行,采用

电子读数游标卡尺测定地茎,普通卷尺测定树高和冠幅,并计算:(1)某施肥处理效应=某施肥处理生长量/对照生长量 $\times 100\%$ ;(2)某施肥处理贡献率=(某施肥处理生长量-对照生长量)/某施肥处理生长量 $\times 100\%$ ;(3)某肥料组合贡献率=(某肥料组合生长量-单肥最高生长量)/某肥料组合生长量 $\times 100\%$ ;(4)肥效指数=处理区  $D^2H$ /对照区  $D^2H$ 。

### 2.3 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 16.0 进行方差分析,成活率经反正弦后采用 HSD 法进行多重比较,生长量采用 Duncan 多重比较,制图采用 Microsoft Excel 2007 软件进行。

## 3 结果与分析

### 3.1 施肥对吉贝造林成活率的影响

由表 2,3 可知,CK<sub>0</sub> 处理造林平均成活率为 90.91%,依次较施肥 A, B, C 处理高 8.5%, 19.74%, 6.92%,不同基肥处理对吉贝造林平均成活率存在降低的影响;其中 B 处理(尿素)平均成活率最低,仅为 CK<sub>0</sub> 的 78.91%,HSD 法比较显示两者差异显著( $|\bar{X} - \bar{X}_j| > 5\%D$ );A, C 处理与对照造差异不显著( $|\bar{X} - \bar{X}_j| < 5\%D$ ),说明以复合肥和过磷酸钙为基肥对成活率降低影响不明显。

表 2 基肥对吉贝造林成活率的影响

区组	处理			
	CK <sub>0</sub>	A	B	C
I	93.99	87.52	61.24	90.17
II	84.92	80.02	83.64	72.69
III	89.74	77.54	76.59	80.52
IV	94.99	84.54	65.48	92.58
平均	90.91 $\pm 2.30a$	82.41 $\pm 2.24ab$	71.74 $\pm 5.12b$	83.99 $\pm 4.58ab$
标准差	4.60	4.46	6.88	2.89

表 3 成活率经反正弦转换后处理之间 HSD 比较

处理	$\bar{X}$	$\bar{X}_1 - \bar{X}_j$	$\bar{X}_2 - \bar{X}_j$	$\bar{X}_3 - \bar{X}_j$	Q 检验	Q-Test
B	80.90	34.19*	20.52	16.3	$Q_{0.05}(4,12)=4.20$	
A	97.20	17.89	4.22		$Q_{0.01}(4,12)=5.50$	
C	101.42	13.67				5%D=27.8
CK <sub>0</sub>	115.09					1%D=36.4

注:“\*”差异显著。

### 3.2 施肥对吉贝幼林生长的影响

3.2.1 单种肥料处理对吉贝幼林生长的影响 由图 1 可知,2 a 生吉贝施用复合肥以 F<sub>4</sub> 处理树高、地茎、冠幅生长量最快,依次较 CK<sub>1</sub> 高 55.85 cm、大 0.59 cm、宽 30.60 cm,施用尿素以 N<sub>3</sub> 树高、地茎、冠幅生长最快,依次较 CK<sub>1</sub> 高 58.23 cm、大 0.39 cm、宽

39.77 cm。吉贝幼林第 2 年除 F<sub>8</sub>, N<sub>4</sub>, N<sub>5</sub> 处理地茎增量小于 CK<sub>1</sub> 外,其余处理树高、地茎、冠幅增长量均超过了 CK<sub>1</sub>,而 F<sub>2</sub>, F<sub>4</sub>, F<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>4</sub> 处理分枝数增量低于 CK<sub>1</sub>;第 1 年施肥后处理树高、地茎、分枝数增量较 CK<sub>1</sub> 不明显;施肥后树木在第 1 年生长较好的处理,第 2 年生长同样也较好。由于第 1 年生长增量不明显,因此仅对第 2 年生长量进一步方差分析和 Duncan 比较,结果表明, F<sub>4</sub> 处理树高增量与 F<sub>6</sub>, CK<sub>1</sub> 差异显著, N<sub>3</sub> 处理树高增量与 N<sub>2</sub>, N<sub>4</sub>, CK<sub>1</sub> 差异显著 ( $F_{复}=5.488, F_{0.05}(4,10)=3.48; F_{尿}=7.83, F_{0.05}(5,12)=3.11; P < 0.05$ ); F<sub>4</sub> 处理地茎增量与 CK<sub>1</sub> 差异显著,其余处理间差异不显著, N<sub>3</sub> 处理地茎增量与 CK<sub>1</sub> 差异不显著,与 N<sub>5</sub> 差异显著 ( $F_{复}=2.87; F_{尿}=2.31$ ); F<sub>4</sub> 处理分枝数增量与 F<sub>8</sub> 处理差异显著,其余处理间差异不显著,尿素处理与 CK<sub>1</sub> 差异不显著 ( $F_{复}=2.79; F_{尿}=0.92$ ); N<sub>3</sub> 处理幅与 N<sub>4</sub>, N<sub>5</sub>, CK<sub>1</sub> 差异显著,其余差异不显著 ( $F_{复}=0.24; F_{尿}=3.02$ )。因此, F<sub>4</sub>, N<sub>3</sub> 为单种肥料最优施肥量。

由图 1 可知,第 2 年林木随复合肥施肥量增加,树高增量、地茎增量、冠幅呈现单峰曲线,施肥量在 0~400 g/株生长量呈增加趋势,峰值均出现在 F<sub>4</sub> 处理(400 g/株),600 g/株处理树木生长量开始下降,其中 F<sub>8</sub> 处理地茎增量小于 CK<sub>1</sub>;分枝数则呈现相反的趋势,最低值出现在 F<sub>4</sub> 处理,其中 F<sub>8</sub> 处理高于 CK<sub>1</sub>。追施尿素随施肥量增加,树高增量、地茎增量、冠幅也呈现近似的单峰曲线,但波动较复合肥大,峰值均出现在 N<sub>3</sub> 处理(300 g/株),从 400 g/株处理生长量开始下降,其中 N<sub>4</sub>, N<sub>5</sub> 处理地茎增量低于 CK<sub>1</sub>;分枝数增量随施肥量增加变化趋势规律不明显,但 N<sub>2</sub>, N<sub>4</sub> 处理低于 CK<sub>1</sub>。

3.2.2 肥料配比对吉贝幼林生长的影响 由表 4 可知, N, P, K 不同肥料配比组合对吉贝幼林生长促进作用在第 1 年就有一定效果,除 N<sub>0</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>0</sub> 组合树高增量, N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>0</sub> 组合地茎增量低于 CK<sub>1</sub> 外,其余组合 3 个生长指标均高于 CK<sub>1</sub>;除 N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 组合分枝数第 2 年增量低于 CK<sub>1</sub> 外,其余组合生长量均高于 CK<sub>1</sub>,且组合同一生长指标高低顺序与第 1 年极为相似。同样以第 2 年生长量进行方差分析与 Duncan 比较,结果显示,树高增量差异极显著 ( $P < 0.01$ ), N<sub>1</sub>P<sub>0</sub>K<sub>1</sub> 组合与 N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 组合差异不显著,与其余组合差异显著, N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 组合与 N<sub>0</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>, N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>, N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>0</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub> 组合差异不显著;地茎增量差异极显著, N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub> 组合与 N<sub>1</sub>P<sub>0</sub>K<sub>1</sub>, N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>, N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub> 组合差异不显著,与其余组合差异显著;分枝数增量差异显著 ( $P < 0.05$ ),

$N_2P_2K_1$  组合与  $N_2P_0K_2$ ,  $N_1P_0K_1$  组合差异不显著, 与其余组合差异显著,  $N_1P_0K_1$  组合与  $CK_1$  差异显著,  $N_0P_0K_0$  组合与  $CK_1$  差异不显著; 冠幅差异极显

著,  $N_1P_2K_0$  组合与所有组合差异显著,  $N_0P_0K_0$  组合与  $N_1P_0K_1$ ,  $N_0P_2K_2$  组合差异不显著。说明  $N_0P_0K_0$ ,  $N_1P_0K_1$  组合为本实验较优组合。

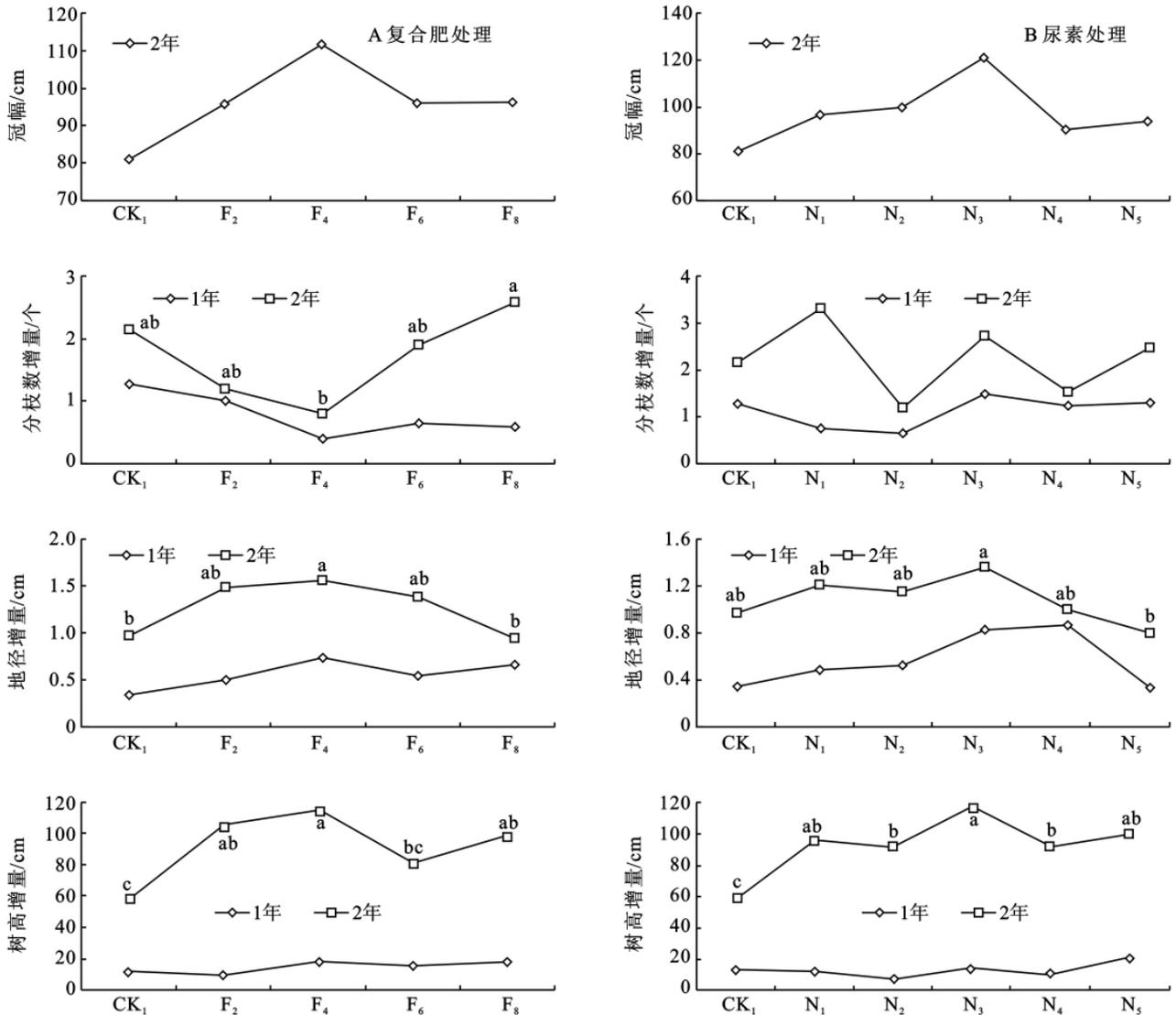


图 1 单种肥料对吉贝幼林生长的影响

依据 N, P, K 各水平  $k$  值大小, 1 a, 2 a 地茎增量施肥最优水平组合  $N_0P_0K_1$ ,  $N_1P_0K_0$  及冠幅施肥最优水平组合  $N_1P_2K_2$  未在试验设计内, 其它都在试验设计内。极差  $R$  值愈大的因素对指标影响愈显著, 树高增量 1 a, 2 a 肥效因素主次关系为  $P \rightarrow K \rightarrow N$ ,  $P \rightarrow N \rightarrow K$ , P 肥对吉贝幼林树高生长影响显著; 1~2 a 地茎增量主导因子为 N 肥, 和冠幅一致, 而分枝数第 1 年主导因子为 K 肥, 第 2 年则为 P 肥。除主导因子外, 树高增量、地茎增量、分枝数增量、冠幅较次因子随林龄变化而变化。

### 3.3 施肥效应分析

不同施肥对吉贝 2 a 生幼林施肥生长反应的肥效指数 ( $R'$ ) 及效应值, 以及各处理肥效贡献率见表 5。由表 5 可以看出, 尿素肥效指数均值达 1.21, 最大

为  $N_3$  处理, 肥效指数低于 1.00 说明处理对林木生长的促进作用小于对照; 最高贡献率达到 21.34%, 负值说明处理生长量低于对照。复合肥肥效指数均值达 1.55, 最高处理 ( $F_4$ ) 是最低处理 ( $F_8$ ) 的 1.71 倍, 分枝数、地茎贡献率分别有 3 个和 1 个处理出现负值。不同肥料配比组合肥效指数均值最高 (3.05), 是尿素的 2.52 倍、复合肥的 1.97 倍, 最高处理  $N_0P_0K_0$  肥效系数达 4.49, 其次为  $N_1P_0K_1$  组合, 正交组合未出现负值。  $N_3, F_4, N_0P_0K_0, N_1P_0K_1$  肥效指数高于其它同类设计组合, 为较处理好, 与前面的分析结果一致。

为了进一步观察不同肥料配比的优越性, 以单种肥料较好施肥量 ( $N_3, F_4$ ) 为对照, 与正交设计组合进行贡献率及施肥增效指数对比 (表 6)。从表中可以

看出,正交组合除  $N_2P_2K_1$  增效指数小于  $N_3$  处理外, 配比组合较单种肥料对树木生长肥效更显著,肥效指  
其余组合增效指数均大于  $N_3, F_4$  处理,说明 N, P, K 数大小能够反映肥料对吉贝幼林生长快慢。

表 4 不同肥料配比对吉贝生长量的影响

试验号	施肥量(g/株)			第 1 年生长指标			第 2 年生长指标			冠幅/ cm
	N	P	K	树高增 量/cm	地茎增 量/cm	分枝数 增量/个	树高增 量/cm	地茎增 量/cm	分枝数 增量/个	
$N_0P_0K_0$	100	100	50	39.72	1.20	0.80	170.58ABab	2.70Aa	2.08b	170.17ABb
$N_0P_1K_1$	100	200	150	17.68	0.88	2.18	145.69ABbc	1.94ABCbcde	2.30b	136.58BCDcde
$N_0P_2K_2$	100	300	250	9.16	0.71	2.61	136.98ABbc	1.64BCDde	2.97b	144.67BCDbcd
$N_1P_0K_1$	200	100	150	33.90	0.98	1.53	192.72Aa	2.25ABCabc	3.22ab	133.83BCDcdef
$N_1P_1K_2$	200	200	250	14.75	0.65	1.28	143.17ABbc	2.37ABab	2.68b	148.75BCbc
$N_1P_2K_0$	200	300	50	17.62	0.95	1.80	123.08Bc	2.19ABCabcd	2.68b	203.33Aa
$N_2P_0K_2$	300	100	250	16.15	0.40	1.72	134.13ABbc	1.78BCcde	3.42ab	115.33CDEdef
$N_2P_1K_0$	300	200	50	11.30	0.35	0.64	139.48ABbc	2.07ABCbcde	2.93b	111.42CDEef
$N_2P_2K_1$	300	300	150	24.90	0.67	4.71	130.44Bbc	1.55CDe	4.84a	104.67DEfg
CK <sub>1</sub>	0	0	0	12.34	0.34	1.27	58.20Cd	0.97Df	2.15b	81.07Eg
R <sub>1</sub>	4.74	15.35	12.14	9.31	$N_0P_0K_0$	P→K→N		$F_4=6.43$		
R <sub>2</sub>	0.46	0.08	0.26	0.16	$N_0P_0K_1$ #	N→K→P		$F_5=8.10$		
R <sub>3</sub>	0.82	1.68	1.73	0.67	$N_2P_2K_1$	K→P→N		$F_6=1.99$		
R <sub>4</sub>	18.31	35.64	18.19	22.10	$N_1P_0K_1$	P→N→K		$F_7=13.74$		
R <sub>5</sub>	0.47	0.45	0.41	0.24	$N_1P_0K_0$ #	N→P→K				
R <sub>6</sub>	1.29	1.30	0.89	0.39	$N_2P_0K_3$	P→N→K				
R <sub>7</sub>	51.50	18.46	36.61	21.78	$N_1P_2K_2$ #	N→K→P				

注:“#”表示无此组合;“→”表示从左到右因素的主到次; $F_{0.05}(9,20)=2.39, F_{0.01}(9,20)=3.46$ ,大写字母表示差异极显著,小写字母表示差异显著,相同字母表示差异不显著。

表 5 肥料处理对 2 a 生吉贝幼林施肥生长反应

试验号	树高		地茎		分枝数		冠幅		肥效 指数 R'
	效应/%	贡献率/%	效应/%	贡献率/%	效应/%	贡献率/%	效应/%	贡献率/%	
$N_1$	96	-3.67	114	12.35	158	36.73	119	16.07	1.26
$N_2$	94	-6.71	106	5.80	121	17.14	123	18.93	1.06
$N_3$	122	17.72	127	21.34	158	36.73	149	32.91	1.96
$N_4$	96	-3.81	91	-0.73	106	5.95	111	10.18	0.80
$N_5$	98	-1.86	100	0.12	128	21.80	116	13.61	0.98
$F_2$	106	5.86	122	17.77	92	-8.75	118	15.26	1.57
$F_4$	112	10.35	124	19.67	98	-2.35	138	27.40	1.83
$F_6$	111	9.85	116	13.70	75	-33.85	118	15.56	1.73
$F_8$	96	-3.81	105	5.01	88	-14.10	119	15.58	1.07
CK <sub>1</sub>	100	0.00	100	0.00	100	0.00	100	0.00	1.00
$N_0P_0K_0$	278	41.50	293	34.95	96	25.16	210	52.36	4.49
$N_0P_1K_1$	200	36.27	250	31.40	107	30.40	168	40.65	3.59
$N_0P_2K_2$	169	32.44	235	27.68	138	38.95	178	43.96	3.03
$N_1P_0K_1$	232	34.77	331	39.00	150	47.27	165	39.43	3.85
$N_1P_1K_2$	244	35.04	246	27.80	125	40.00	183	45.50	3.28
$N_1P_2K_0$	226	36.38	211	21.80	125	37.30	251	60.13	3.16
$N_2P_0K_2$	184	23.39	230	20.91	159	32.43	142	29.71	2.18
$N_2P_1K_0$	213	24.24	240	23.39	136	41.51	137	27.24	2.27
$N_2P_2K_1$	160	11.71	224	19.07	225	42.00	129	22.55	1.59
CK <sub>1</sub>	100	0.00	100	0.00	100	0.00	100	0.00	1.00

表 6 肥料组合对 2 a 生吉贝幼林施肥生长反应

试验号	树高		地茎		分枝数		冠幅		增效指数	
	N/%	F/%	N/%	F/%	N/%	F/%	N/%	F/%	$R'_N$	$R'_F$
$N_0P_0K_0$	23.84	37.44	17.42	23.92	-18.28	26.88	28.99	34.38	2.18	3.51
$N_0P_1K_1$	17.03	31.84	12.93	19.78	-10.00	32.00	11.53	18.24	1.74	2.80
$N_0P_2K_2$	12.04	27.75	8.20	15.43	3.51	40.35	16.47	22.81	1.47	2.36
$N_1P_0K_1$	15.08	30.24	22.57	28.67	16.67	48.48	9.71	16.56	1.87	3.01
$N_1P_1K_2$	15.43	30.53	8.35	15.57	5.17	41.38	18.77	24.93	1.59	2.56
$N_1P_2K_0$	17.18	31.97	0.74	8.55	0.90	38.74	40.57	45.08	1.53	2.47
$N_2P_0K_2$	0.92	18.61	-0.39	7.51	-6.80	33.98	-4.77	3.18	1.06	1.70
$N_2P_1K_0$	1.37	18.98	2.76	10.41	7.56	42.86	-8.45	-0.22	1.10	1.78
$N_2P_2K_1$	-14.94	5.58	-2.73	5.36	8.33	43.33	-15.45	-6.69	0.77	1.24
$N_3$	0.00	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—	1.00	—
$F_4$	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—	0.00	—	1.00

注：“—”表示无此项。

#### 4 结论与讨论

干热气候不仅直接影响造林的成活率,而且对肥料的降解和消耗也有很大影响。尿素在高温干旱气候下易分解释放出氨气而伤根或烧苗,氯化钾也会因为 Cl 对林木根系有伤害<sup>[11]</sup>。干热河谷吉贝造林施基肥对造林成活率有不利影响,将导致造林成活率降低 6.92% 以上,该结果与卢立华<sup>[12]</sup>研究马尾松在干旱条件下造林施肥结论相似。施尿素造林成活率与  $CK_0$  差异显著,推测可能与尿素分解为氨气及其释放伤害根系有关。复合肥做基肥对成活率影响不大,这与燥红土水分不足,第 2 年挖穴时发现仍有部分肥料未分解,肥料利用率低有关。可见,从造林成活率和造林成本考虑,吉贝在干热河谷造林以不施基肥为佳,尤其不施以 N 肥为基肥。

植物对肥的吸收具有选择性,K 肥在马尾松幼林第 2 年追施优于第 3 年,N 肥造林后第 3 年优于第 2 年<sup>[12]</sup>;印楝幼林对 N,P 反应显著,组合时具有交互性,且对树高、地茎生长相关性存在差异,而 K 肥对生长量影响不显著,分析与干热河谷土壤营养盈亏有关<sup>[7]</sup>。可见,人工林丰产栽培科学施肥技术,应综合植物自身内因及外部生境。本试验结果显示,施肥后吉贝幼林生长明显高于  $CK_1$ ,施肥处理第 1 年生长量排序与第 2 年相似,肥效的影响具有长效性,与 1993 年在马尾松苗期肥效研究上结论一致<sup>[13]</sup>。N,P,K 组合促进生长效果较单施尿素、复合肥好,除  $N_2P_2K_1$  增效指数小于  $N_3$  处理外,其余组合增效指数均大于  $N_3$ , $F_4$  处理,且反映在第 1 年生长上。吉贝幼林生长对肥种需求不同,P 肥对树高生长显著,N 肥对地茎和冠幅生长较好,而分枝数第 1 年施 K 肥较 P 肥、N 肥好,第 2 年施 P 肥较 K 肥、N 肥好。因此,单施复合

肥 400 g/株、尿素 300 g/株可达到较好的效果,而肥料组合以  $N_0P_0K_0$ , $N_1P_0K_1$  最好。吉贝幼林施肥试验表明,吉贝幼林施肥是有效的,选择合适的肥种和肥量,对吉贝幼林生长将产生持续的促进作用,且施肥投资少、操作简单,经济效益显著,值得推广应用。

参考文献:

- [1] “中国植物志”编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [2] 高柱, 王小玲, 马焕成, 等. 木棉栽培技术研究进展[J]. 江西科学, 2009, 27(5): 761-766.
- [3] 国家林业局国有林场和林木种苗工作总站. 中国木本植物种子[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 621-622.
- [4] 林秀香. 青皮木棉引种试种初报[J]. 热带林业科学, 2007, 27(1): 12-14.
- [5] 李文华, 熊定国. 木棉产业导引: 首届中国木棉产业发展研讨会文集[C]. 北京: 中国纺织出版社, 2009.
- [6] 刘朔, 余波, 何朝均, 等. 不同施肥处理对膏桐幼林结实的影响[J]. 西南林学院学报, 2009, 29(3): 11-14.
- [7] 郑益兴, 刘秀贤, 杨朝凤, 等. 元谋干热河谷印楝幼林施肥效应初步研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 137-142.
- [8] 全吉文, 罗建华, 易观路, 等. 爪哇木棉育苗技术[J]. 林业实用技术, 2005(5): 18.
- [9] 梁瑞龙, 温恒辉, 谏红辉. 马尾松中龄林施肥效应研究[J]. 林业科学研究, 1996(9): 99-102.
- [10] 汪炳根, 卢立华, 何日明. 马尾松近熟林施肥效应效益初步研究[J]. 林业科学研究, 1996(9): 93-98.
- [11] 南京林产工业学院土壤教研室. 苗圃施肥[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981.
- [12] 卢立华, 蔡道雄, 何日明. 马尾松幼林施肥效应综合分析[J]. 林业科学, 2004, 40(4): 99-105.
- [13] 卢立华, 汪炳根. 广西大青山马尾松苗期施肥试验[J]. 林业科学研究, 1993(6): 699-702.