

文章编号: 100F-1498(2002)06-0644-10

尾叶桉实生林施肥 6 a 试验研究*

梁坤南¹, 周文龙¹, 李贻铨²

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要: 本文是对尾叶桉实生林施肥试验 6 a 的生长、生物量、养分含量和经济效益进行全面的总结。结果表明: 施肥对尾叶桉幼林具有极明显的增产效应, 6 年生施肥处理与不施肥处理间的树高、胸径和每公顷材积生长的差异达极显著。施肥处理的树高、胸径和材积生长比不施肥处理的分别提高了 34.76%、56.80% 和 206.59%, 尤其是施肥最佳处理 9(树高 13.17 m, 胸径 13.73 cm 和材积 141.1 m³·hm⁻²) 分别提高了 41.77%、78.54% 和 290.86%。该试验中 N、P、K 的最佳施肥配比为 2:3:1。施肥既提高了尾叶桉的生长量, 也增加了尾叶桉各组分的生物量, 促进了尾叶桉对各种营养元素的吸收和积累。此外, 合理施肥还可获得可观的经济效益。最佳施肥处理 9, 6 年生时获纯利达 9 946.84 元·hm⁻², 是不施肥处理的 9.58 倍, 其投入产出比达 2.74, 内部收益率为 32.33%。

关键词: 尾叶桉; 施肥效应; 生物量; 养分含量; 经济效益

中图分类号: S792.39

文献标识码: A

尾叶桉(*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake) 原产于印度尼西亚的一些岛屿, 位于 8°30′-10°S。我国自 1976 年开始引种, 20 世纪 80 年代广西东门林场的中澳合作示范林项目以及中国林科院热带林业研究所的中澳合作阔叶树种引种与栽培项目, 对尾叶桉进行了系统的种源试验、家系试验以及大面积的丰产栽培试验^[1]。由于其生长快, 轮伐期短(5-7 a), 造纸制浆性能好, 现已在广东、广西、海南等省区大面积推广, 成为南方重要的短周期纸浆材桉属树种。早期的引种栽培表明, 尾叶桉的速生特性, 必须在施肥的条件下才能充分发挥出来。因此, 施肥成为提高尾叶桉单位面积产量的一个重要措施之一, 合理施肥, 尤其是 N、P、K 配合施用对尾叶桉幼林生长有明显的促进作用^[2-5]。本文是对在广东省恩平市开展的尾叶桉幼林不同施肥量和不同配比试验进行 6 a 的全面总结, 以期尾叶桉在南方赤红壤的合理施肥提供科学的依据。

1 试验地概况

试验地位于广东省西南部恩平市境内的东安镇(22°11′ N, 112°18′ E), 海拔 24.6 m, 坡度 5°。丘陵坡地, 土壤为砂质岩堆积母质发育的赤红壤, 土层深厚, 土层厚度大于 2.0 m, 质地轻粘至重粘, 肥力一般(表 1)。气候为南亚热带季风气候, 年降水量 3 070.3 mm, 年平均气温

收稿日期: 2001-07-25

基金项目: 世行贷款国家造林项目(1991-1995 年)和森林资源发展和保护项目(1996-2000 年)“主要树种丰产林施肥技术与推广”课题(90-08)以及广东桉树发展工程“桉树营养诊断与林地改良的研究”内容之一

作者简介: 梁坤南(1962), 男, 广西北流人, 副研究员。

* 参加本试验的还有何其轩等同志, 试验得到广东省恩平市东安镇政府及镇林业站的大力支持, 一并致谢!

22.1 ℃, 极端最低气温 4.1 ℃, 相对湿度 80%。试验地植被为芒萁(*Dicranopteris dichotoma* (Thunb.) Bernh.)、岗松(*Baechea frutescens* L.)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk.)^[6]。

表 1 试验地土壤化学分析结果

取土深度 / cm	有机质	全 N	全 P	全 K	速效 P		速效 K		pH 值		代换 性 Ca	代换 性 Mg	代换 性 K	代换 性 Na	水解 酸
					(mg·kg ⁻¹)		(mg·kg ⁻¹)		H ₂ O	KCl					
0 20	17.88	0.767	0.215	4.832	0.659	12.89	4.58	3.79	0.154	0.039	0.0429	0.0510	5.17		
20 40	4.53	0.263	0.224	5.364	0.674	8.55	4.77	3.89	0.194	0.097	0.0268	0.0787	3.08		
40 60	3.39	0.265	0.258	6.058	0.620	8.27	4.81	3.96	0.173	0.019	0.0258	0.0404	2.96		
60 80	2.56	0.208	0.249	6.975	0.378	9.08	4.86	4.02	0.038	0.115	0.0273	0.0438	2.66		
80 100	2.27	0.242	0.297	9.123	0.770	12.37	5.00	4.07	0.135	0.058	0.0336	0.0808	2.57		

2 试验方法

以 N、P、K 为 3 个施肥因子, N: 尿素, 含有效 N 46%; P: 过磷酸钙, 含 P₂O₅ 14%; K: KCl 含 K₂O 60%。各 3 个施肥水平(表 2), 以 L₉(3⁴) 正交表进行设计, 产生 9 个施肥处理, 以不施肥为对照(CK)(表 3)。处理小区随机排列, 3 次重复, 每小区 25 株, 中间 9 株为固定观测株。株行距 2.0 m × 3.0 m。

本试验于 1992 年 1 月 12 日造林, 造林前过磷酸钙作基肥 1 次施入。尿素、KCl 既作基肥, 又作追肥, 均分 3 次施入。追肥则分别于造林后 3 个月和 1 a 时施入。

表 2 施肥水平、施肥量 kg·hm⁻²

施肥水平	因 子		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	25	50	25
2	50	100	50
3	100	150	100

处理号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
肥料配方	N ₂₅ P ₅₀ K ₂₅	N ₂₅ P ₁₀₀ K ₃₀	N ₂₅ P ₁₅₀ K ₁₀₀	N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀	N ₅₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	N ₅₀ P ₁₅₀ K ₂₅	N ₁₀₀ P ₅₀ K ₁₀₀	N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₂₅	N ₁₀₀ P ₁₅₀ K ₅₀	N ₀ P ₀ K ₀

造林后 6 个月观测树高、胸径, 并调查成活率。之后, 每年进行树高、胸径生长的调查, 并测定不同处理叶片中营养元素的含量。6 年生时对处理 2、4、6、9 和 10 进行地上生物量测定, 每个处理 6 株, 共计 30 株。每个处理的 3 个重复内各选 2 株平均木采用全部称量法测定各器官(去皮树干、树皮、树叶、树枝)的鲜质量, 并采集各器官样品(500—800 g)带回实验室, 在 80 ℃恒温下烘至恒质量, 求植物含水量, 将各器官鲜质量换算成干质量, 以此建立生物量与生长的回归方程。

植物体养分测定: 全 N 测定用凯氏法, P 的测定用磷钼蓝比色法, K、Ca、Mg 用原子吸收光谱分析法测定。

试验数据采用 GESTAT 统计软件包^[7], 对树高、胸径和每公顷材积进行方差分析和多重比较。材积公式^[8]为: $V = H \times D^2 / 30\ 000$

3 结果与分析

3.1 施肥对 6 年生尾叶桉生长的影响

通过对 6 年生尾叶桉施肥试验的树高、胸径和材积生长进行方差分析, 结果(表 4)表明,

区组间和处理间的差异均极显著。进一步作邓肯多重比较(表5)表明,9个施肥处理与不施肥处理在树高、胸径和材积生长的差异均达极显著,因此,尾叶桉施肥与不施肥有极显著的生长差异,增产效果极明显。通过施肥树高生长、胸径生长和材积生长分别提高了34.76%、56.80%和206.59%。尤其是施肥最佳处理9分别提高了41.77%、78.54%和290.86%。而施肥处理间的差异主要是施肥处理9与其它施肥处理间达显著至极显著,除施肥处理9外,其它施肥处理间的差异不显著。施肥处理9在6年生时,树高、胸径和材积生长分别为13.17 m, 13.73 cm和 $141.1 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,分别是最差施肥处理5的1.11倍、1.19倍和1.43倍。在前6 a,处理9的生长一直名列前茅。

表4 6年生树高、胸径和每公顷材积方差分析

变异来源	自由度	树高				胸径				每公顷材积			
		平方和	均方	F值	显著水平	平方和	均方	F值	显著水平	平方和	均方	F值	显著水平
区组	2	229.75	114.87	45.06***	< 0.001	185.03	92.52	15.33***	< 0.001	101.981	50.991	22.42***	< 0.001
处理	9	288.16	32.02	12.56***	< 0.001	569.92	63.33	10.49***	< 0.001	175.002	19.445	8.55***	< 0.001
区组×处理	18	106.35	5.91	2.32***	0.003	138.35	7.69	1.27	0.209	61.285	3.405	1.50	0.094
误差	191(49)	486.94	2.55			1152.81	6.04			434.355	2.274		
总和	191(49)	925.37				1746.58				671.097			

表5 不同施肥处理6年生树高、胸径、材积生长邓肯多重比较

处理号	树高/m	LSR		处理号	胸径/cm	LSR		处理号	材积/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	LSR	
		0.01	0.05			0.01	0.05			0.01	0.05
9	13.17	a	a	9	13.73	a	a	9	141.1	a	a
8	12.86	a	ab	2	12.28	ab	b	4	117.7	ab	ab
6	12.79	a	ab	4	12.21	ab	b	2	115.5	ab	ab
4	12.62	a	ab	6	12.21	ab	b	6	114.7	ab	ab
1	12.57	a	ab	8	11.86	b	b	8	106.1	ab	ab
7	12.41	a	ab	1	11.68	b	b	1	102.1	b	b
2	12.28	a	ab	3	11.53	b	b	3	100.1	b	b
3	12.09	a	b	5	11.51	b	b	7	100.1	b	b
5	11.88	a	b	7	11.51	b	b	5	98.7	b	b
10	9.29	b	c	10	7.69	c	c	10	36.1	c	c

正交试验方差分析结果(表6)表明:不同K水平对尾叶桉的胸径和材积生长差异显著,对树高生长的差异不显著。而不同P和N水平间的生长差异不显著。由不同处理间差异显著或极显著,到不同N、P、K水平间差异显著或不显著,说明了NPK配合施用的生长效应明显到极明显。从方差分析的F检验值来说,尾叶桉树高、胸径和材积生长均对K比较敏感,这种敏感性与土壤养分含量密切相关,土壤速效K含量约 $10.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,属缺K的土壤。敏感大小次序归纳为:树高K、N、P,胸径K、P、N,材积K、P、N,与3 a结果一致^[6]。

从表7可以看出,不同N、P、K水平对尾叶桉树高、胸径和材积生长的影响基本一致,N、P和K 3因素的最佳施肥水平为 N_3 、 P_3 、 K_2 ,即施肥处理9,每公顷施N 100 kg、 P_2O_5 150 kg、 K_2O 50 kg,与3年生结果保持一致。由此说明,幼林的施肥效应一直保持到6年生或更长一段时间。

表 6 正交试验方差分析

变异来源	自由度	树高				胸径				每公顷材积			
		平方和	均方	F 值	显著水平	平方和	均方	F 值	显著水平	平方和	均方	F 值	显著水平
区组	2	24.955	12.478	19.64		18.966	9.483	10.38		11316.7	5658.3	15.74	
N	2	1.767	0.883	1.39	0.274	2.150	1.075	1.18	0.331	686.2	343.1	0.95	0.404
P	2	0.538	0.269	0.42	0.661	2.854	1.427	1.56	0.237	958.2	479.1	1.33	0.289
K	2	2.112	1.056	1.66	0.217	6.473	3.237	3.54*	0.050	2851.4	1425.7	3.97*	0.037
误差	18	11.433	0.635			16.450	0.914			6471.4	359.5		

表 7 不同 N、P、K 水平与幼林树高、胸径和材积的生长量

施肥水平	树高/m			胸径/cm			材积/(m ³ ·hm ⁻²)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1	12.31	12.56	12.75	11.79	11.84	11.94	105.2	107.4	107.9
2	12.43	12.37	12.74	11.98	11.86	12.73	110.2	106.4	125.0
3	12.90	12.71	12.15	12.46	12.54	11.56	117.7	119.5	100.4

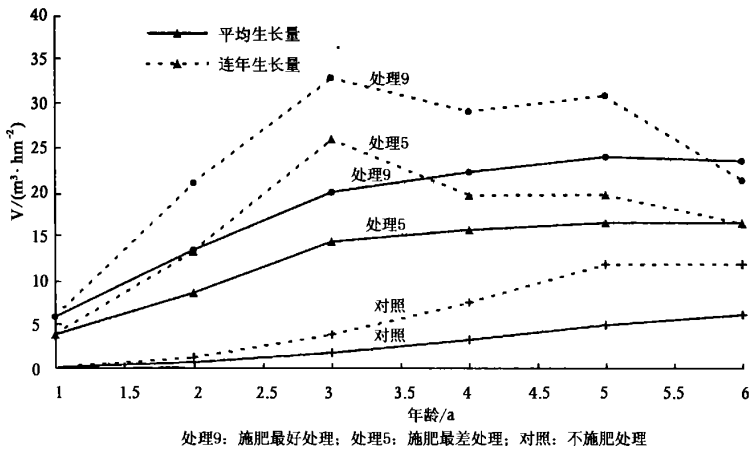


图 1 尾叶桉幼林施肥试验材积连年生长量和平均生长量曲线图

从图 1 可看出, 两个施肥处理在前 3 a 的连年生长量和平均生长量迅速增加, 第 3 a 后连年生长量开始缓慢下降, 而平均生长量仍在缓慢增加。在 6 年生左右, 两个施肥处理的平均生长量和连年生长量出现相交。对照(不施肥)的连年生长量和平均生长量, 一直在缓慢上升。3 年生时最好施肥处理的连年生长量达最高为 32.94 m³·hm⁻², 6 年生的平均生长量达 21.3 m³·hm⁻²。不施肥处理 6 年生时的连年生长量仍低于施肥处理(表 8)。因此, 此时施肥肥效尚未消失。各施肥处理材积生长仍然与不施肥处理的差异达极显著。

3.2 施肥对尾叶桉生物量的影响

3.2.1 不同施肥处理各组分的生物量 不同施肥尾叶桉单株生物量大小、方差分析及多重比较结果见表 9。5 个处理的 6 年生生长量和生物量间差异显著, 尤其施肥处理的胸径生长、材积

3.2.3 施肥处理各组分生物量估算模型 以尾叶桉施肥不同处理的各组分生物量与 D 和 D^2H 进行非线性回归, 经采用多种回归模型, 发现以幂函数建立的回归模型效果最好(表 11), 尤其是地上部分生物量、树干生物量和树皮生物量与 D 和 D^2H 的回归, 相关系数和 F 值均达极显著。而对树枝和树叶生物量与 D 和 D^2H 的非线性回归效果略差些, 但其相关系数和 F 值也均达极显著。因此, 可通过以下回归方程, 以胸径或树高预测各组分生物量, 尤其是地上部分生物量、树干生物量和树皮生物量。

表 11 尾叶桉各组分生物量估算模型

组分	相关模型	相关系数	标准差 S	方差比 F	F 值显著水平
D	地上部分 $W_{地上} = 0.063\ 316\ D^{2.645\ 868}$	0.989 8	0.107 9	628.5	0.000 0 ^{***}
	树干 $W_{树干} = 0.031\ 151\ D^{2.828\ 922}$	0.987 4	0.128 7	504.9	0.000 0 ^{***}
	树皮 $W_{树皮} = 0.023\ 499\ D^{2.206\ 773}$	0.981 2	0.123 1	335.6	0.000 0 ^{***}
	树枝 $W_{树枝} = 0.006\ 755\ D^{2.403\ 353}$	0.870 8	0.384 6	40.80	0.000 0 ^{***}
	树叶 $W_{树叶} = 0.065\ 222\ D^{1.245\ 410}$	0.778 5	0.284 6	20.00	0.000 6 ^{***}
D^2H	地上部分 $W_{地上} = 210.466\ 301\ (D^2H)^{0.963\ 651}$	0.989 0	0.112 2	579.9	0.000 0 ^{***}
	树干 $W_{树干} = 183.232\ 565\ (D^2H)^{1.035\ 648}$	0.991 6	0.104 8	767.2	0.000 0 ^{***}
	树皮 $W_{树皮} = 20.100\ 011\ (D^2H)^{0.797\ 299}$	0.972 5	0.148 5	226.7	0.000 0 ^{***}
	树枝 $W_{树枝} = 9.906\ 631\ (D^2H)^{0.834\ 081}$	0.829 1	0.437 4	28.6	0.000 1 ^{***}
	树叶 $W_{树叶} = 2.799\ 169\ (D^2H)^{0.421\ 935}$	0.723 6	0.313 0	14.28	0.002 3 ^{***}

3.3 施肥对尾叶桉各组分营养元素含量的影响

从表 12 可看出, N、P、K 营养元素在各组分中树叶的含量最高, 分别为 13.85、14.94、0.795、1.042 和 3.955、6.858 $g \cdot kg^{-1}$, 而在树干的含量最低, 仅为 0.976、1.545、0.042、0.071 和 0.386、0.819 $g \cdot kg^{-1}$ 。同样 Mg 也是在树叶的含量最高, 在树干的含量最低。但 Ca 则在树皮中的含量最高, 树干含量最低。树干是 5 种测定元素含量最低的部位。因此, 通过叶片的养分测定, 可了解施肥对养分的影响。N、P、K、Ca、Mg 5 个营养元素在 5 个处理中的树皮、树枝和树叶的含量均高于树干中的含量, 因此, 这些采伐剩余物归还林地对长期保持立地土壤肥力是十分重要的。

不同施肥处理与对照比较, 叶片养分含量除 Ca 的含量低于对照和 N 含量互有高低外, P、K 和 Mg 元素在叶片的含量, 施肥处理比不施肥处理高。

表 12 尾叶桉施肥 6 年生养分测定结果

处理	树干					树皮					树枝					树叶				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
2	1.375	0.071	0.819	0.784	0.070	2.855	0.307	2.211	20.133	0.947	2.688	0.234	1.487	4.528	0.346	13.852	0.816	4.468	8.022	1.408
4	1.217	0.042	0.386	0.607	0.092	3.054	0.188	2.165	22.135	0.771	3.175	0.159	1.265	4.195	0.647	14.616	0.877	5.435	8.645	2.253
6	1.545	0.052	0.476	0.512	0.057	2.287	0.149	1.375	7.327	0.407	3.356	0.188	1.154	3.721	0.236	14.944	0.840	4.167	8.554	1.722
9	1.084	0.045	0.769	0.718	0.068	3.283	0.273	3.688	35.808	1.598	2.849	0.176	1.446	4.482	0.412	14.423	1.042	6.838	6.829	1.158
10	0.976	0.049	0.728	1.279	0.085	3.626	0.028	2.163	9.405	0.723	3.221	0.278	3.308	5.790	0.493	14.457	0.795	3.955	10.216	1.089

不同施肥对树体养分的积累量也不同, 最佳施肥处理的 N、P、K、Ca、Mg 养分积累量最多, 对照处理的养分积累量最少(表 13)。因此, 最佳施肥配比促进了尾叶桉对各种养分的吸收和利用, 从而促进了尾叶桉形态和生物量的生长。

表 13 不同施肥处理树体养分含量

g·株⁻¹

处理	N	P	K	Ca	Mg
2	79.56	5.24	44.96	142.51	9.31
4	89.91	4.07	36.49	165.02	11.79
6	120.94	5.46	41.49	101.01	9.22
9	125.36	7.54	89.80	361.37	20.80
10	28.96	1.33	16.10	40.96	3.28
平均	88.95	4.73	45.77	162.17	10.88

表 14 尾叶桉不同组分的养分积累量

g·株⁻¹

处理	树干					树皮					树枝					树叶				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
2	42.17	2.18	25.12	24.05	2.15	13.82	1.49	10.70	97.44	4.58	6.67	0.58	3.69	11.23	0.86	16.90	1.00	5.45	9.79	1.72
4	50.93	1.76	16.15	25.40	3.85	16.92	1.04	11.99	122.63	4.27	5.40	0.27	2.15	7.13	1.10	16.66	1.00	6.20	9.86	2.57
6	66.03	2.22	20.34	21.88	2.44	15.71	1.02	9.45	50.34	2.80	11.85	0.66	4.07	13.14	0.83	27.35	1.55	7.63	15.65	3.15
9	53.85	2.24	38.20	35.67	3.38	26.43	2.20	29.69	288.25	12.86	14.64	0.90	7.43	23.04	2.12	30.43	2.20	14.47	14.41	2.44
10	8.26	0.41	6.16	10.82	0.72	6.56	0.05	3.92	17.02	1.31	2.87	0.25	2.94	5.15	0.44	11.28	0.62	3.08	7.97	0.81
平均	44.25	1.76	21.19	23.56	2.51	15.89	1.16	13.15	115.14	5.16	8.29	0.53	4.06	11.94	1.07	20.52	1.27	7.37	11.54	2.14

表 15 尾叶桉树干养分积累与树皮、树枝和树叶积累总量比较

g·株⁻¹

处理	树干					树皮、树枝和树叶积累总量				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
2	42.17	2.18	25.12	24.05	2.15	37.4	3.07	19.80	118.0	7.16
4	50.93	1.76	16.15	25.40	3.85	39.0	2.31	20.30	140.0	7.94
6	66.03	2.22	20.34	21.88	2.44	54.9	3.23	21.20	79.1	6.78
9	53.85	2.24	38.20	35.67	3.38	71.5	5.30	51.60	326.0	17.40
10	8.26	0.41	6.16	10.82	0.72	20.7	0.92	9.94	30.1	2.56
平均	44.25	1.76	21.19	23.56	2.51	44.70	2.97	24.57	138.64	8.37

养分在不同组分的积累量各不相同。尽管 N 在树干的含量最低,但在树干积累量最多,而 Ca 则在树皮积累量最多,含量也最高(表 14)。从表 15 也可以看出,尽管树皮、树枝和树叶的生物量之和与树干比仅占地上生物量的 16.63%~29.15%,但 P、K(个别处理除外)、Ca 和 Mg 营养元素在树皮、树枝和树叶的积累总量要高于在树干的积累量,而 N 营养元素在不同处理则互有高低。因此,如采伐后取走树皮、树枝和树叶,会影响下一代土壤的肥力,是造成人工林地力下降的主要因素之一^[10]。

3.4 尾叶桉实生幼林施肥效益分析

从表 16 可以看出,所有施肥处理在 6 a 时所获纯利均高于不施肥处理,是不施肥的 5.93~9.58 倍,尤其是施肥处理 9,6 a 获纯利达 9 946.84 元·hm⁻²。尽管不施肥处理在 6 a 也可获取纯利,但相对极少,仅为 1 038.8 元·hm⁻²。施肥处理较好的 3 个处理:9、4、2 的投入产出比均超过 2.7,内部收益率超过 31%。因此,尾叶桉通过施肥,能达到高投入、高产出的效果。

4 结 语

(1) 尾叶桉施肥具有极明显的增产效应,6 年生施肥处理与不施肥处理间的树高生长、胸

表 16 6 年生尾叶桉施肥试验经济效益分析

处理	蓄积量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	商品材/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	比对照 多/%	投入成本 / ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$)			税收/ ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$)	产出/ ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$)	施肥纯利/ ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$)	投入与 产出比	内部收 益率/%
				造林投入 (不计息)	造林投入 (计息)	采伐 运输费					
1. $N_{25}P_{50}K_{25}$	102.1	71.47	182.83	1 986.09	2 881.70	5 145.84	6 432.30	21 441.00	6 981.16	2.67	30.62
2. $N_{25}P_{100}K_{50}$	115.5	80.85	219.94	2 152.77	3 123.54	5 821.20	7 276.50	24 255.00	8 033.76	2.71	31.55
3. $N_{25}P_{150}K_{100}$	100.1	70.07	177.29	2 360.78	3 425.35	5 045.04	6 306.30	21 021.00	6 244.31	2.48	26.49
4. $N_{50}P_{50}K_{50}$	117.7	82.39	226.04	2 114.83	3 068.49	5 932.08	7 415.10	24 717.00	8 301.33	2.75	32.36
5. $N_{50}P_{100}K_{100}$	98.7	69.09	173.41	2 323.11	3 370.70	4 974.48	6 218.10	20 727.00	6 163.72	2.48	26.53
6. $N_{50}P_{150}K_{25}$	114.7	80.29	217.73	2 323.12	3 370.71	5 780.88	7 226.10	24 087.00	7 709.31	2.63	29.74
7. $N_{100}P_{50}K_{100}$	100.1	70.07	177.29	2 372.05	3 441.70	5 045.04	6 306.30	21 021.00	6 227.96	2.48	26.39
8. $N_{100}P_{100}K_{25}$	106.1	74.27	193.91	2 370.03	3 438.77	5 347.44	6 684.30	22 281.00	6 810.49	2.54	27.64
9. $N_{100}P_{150}K_{50}$	141.1	98.77	290.86	2 538.64	3 683.42	7 111.44	8 889.30	29 631.00	9 946.84	2.74	32.33
10. $N_0P_0K_0$	36.1	25.27	0.00	1 687.50	2 448.46	1 819.44	2 274.30	7 581.00	1 038.80	1.78	12.86

注: 1. 造林投入包括: 苗木、整地、肥料与施肥、造林定植、抚育等费用; 计息按 6.4% 年利息计算。2. 切片厂收购价折合为 $300 \text{元} \cdot \text{m}^{-3}$, 采运费折合 $72 \text{元} \cdot \text{m}^{-3}$ (按恩平市东安镇尾叶桉价格), 税率为 30%。3. 商品材按 70% 的出材率计, 内部收益率为扣除了采伐运输费和税收后的结果。4. 投入与产出比 = 产出 / (造林投入本息 + 采运成本)。

径生长和每公顷材积生长的差异达极显著。施肥处理比不施肥处理树高、胸径和每公顷材积分别提高了 34.76%、56.80% 和 206.59%, 尤其是最佳施肥处理 9 分别提高了 41.77%、78.54% 和 290.86%。施肥处理间的生长也达显著至极显著差异, 施肥处理 9 的 6 a 树高生长、胸径生长和每公顷材积生长均是 9 个施肥处理中最好的处理, 分别达 13.17 m、13.73 cm 和 $141.1 \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

(2) 正交分析表明, 尾叶桉树高、胸径和材积生长均对 K 素比较敏感, 与土壤缺 K 密切相关。各生长指标对 NPK 的敏感大小次序归纳为: 树高 K、N、P, 胸径 K、P、N, 材积 K、P、N, 与 3 a 结果一致。N、P、K 3 因素最优施肥水平为 N_3 、 P_3 、 K_2 , 也即是施肥处理 9, 每公顷施 N 100 kg、 P_2O_5 150 kg、 K_2O 50 kg。因此, N、P、K 最佳施肥配比为 2:3:1。该施肥结果与建立在广西花岗岩为成土母质的赤红壤上的巨尾桉施肥试验结果是一致的^[11]。从土壤养分分析可知, 土壤除缺 K 外, 还严重缺 P, 含量仅有 $0.620 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 土壤供 P 严重不足。因此, 在 N、K 配施的情况下, 高 P 水平明显促进尾叶桉的生长。

(3) 对施肥处理的肥效分析表明, 6 年生时各施肥处理的连年生长量和平均生长量仍高于不施肥处理的连年生长量和平均生长量, 差异达极显著, 说明了幼龄施肥一直影响到 6 年生生长, 施肥效应尚未消失。

(4) 施肥对尾叶桉生长的影响, 也同样影响其生物量大小。最佳施肥处理的地上生物量和各组分生物量也是所有处理中最大的, 其地上、干材、树皮和枝叶的生物量分别是不施肥处理的 5.44、5.87、4.45、5.77 和 2.71 倍。各组分在地上生物量的分配为: 树干 > 树皮 > 树枝 > 树叶。尾叶桉施肥处理的生长指标和生物量指标对肥效的敏感程度, 以树干干质量最为敏感, 其次为材积和地上生物量, 而树高对肥效最不敏感。通过非线性回归模型, 以 D 和 D^2H 的大小, 可预测单株或林分地上生物量、树干生物量和树皮生物量等的大小, 回归效果达到极显著。

(5) 施肥促进了尾叶桉对各种营养元素的吸收和利用,从而促进了尾叶桉形态和生物量的生长。最佳施肥处理的N、P、K、Ca、Mg养分积累量最多,而不施肥处理的养分积累量最少。主要营养元素在叶片的含量最高,可通过叶片的养分测定,了解施肥对养分的影响。尽管树皮、树枝和树叶生物量之和与树干相比,占地上生物量不到1/3,但主要营养元素在树皮、树枝和树叶的积累总量要高于树干的积累量,因此,这些采伐剩余物归还林地,对长期保持立地土壤肥力是十分重要的。

(6) 施肥除促进林木生长,提高单位面积产量外,合理施肥还可获得可观的经济效益。所有施肥处理在6a时所获纯利均高于不施肥处理,是不施肥的5.93~9.58倍,尤其是施肥处理9,6a获纯利达9946.84元·hm⁻²,投入产出比达2.74,内部收益率为32.33%。

参考文献:

- [1] 潘志刚、游应天. 中国主要外来树种引种栽培[M]. 北京:北京科学技术出版社,1994. 606~610
- [2] 周文龙,杨曾奖,梁坤南,等. 桉树施肥效应的初步分析[A]. 见:澳大利亚树种在中国的栽培和利用国际研讨会论文集[C],1988. 25~31
- [3] 莫启平. 桉树树种(种源)与施肥试验[A]. 见:澳大利亚树种在中国的栽培和利用国际研讨会论文集[C],1988. 96~105
- [4] 李贻铨,梁坤南. 桉树施肥[M]. 北京:科学普及出版社,1999. 8
- [5] 黄益宗,冯宗炜,黎向东,等. 应用“416A”最优混合设计研究尾叶桉肥效与营养诊断[J]. 林业科学,1999,35(6):10~18
- [6] 周文龙,梁坤南. 尾叶桉幼林前三年施肥效应的研究[J]. 林业科学研究,1996,9(增刊):146~150
- [7] Payne R W, Lane P W, Ainsley A E, et al. The Genstat 5 Reference manual[M]. Oxford University Press, 1989.
- [8] McKenney D W, Davis J, Turnbull J W, et al. The Impact of Australian Tree Species Research in China[A]. Canberra: ACIAR Economic Assessment Series, 1991. 12
- [9] 张建国,李贻铨,纪建书,等. 杉木幼林施肥对生物量影响的研究[J]. 林业科学研究,1996,9(Mem.):41~47
- [10] 徐化成. 森林地力的动态特征和人工林的地力下降问题[A]. 见:中国林学会森林生态学会,杉木人工林集约栽培研究专题组. 人工林地力衰退研究[C]. 北京:中国科学技术出版社,1992. 3~10
- [11] 杨瑶青,陈建波,吴世明,等. 巨尾桉纸浆材三年生(轮伐中期)林分施肥试验效益研究[J]. 广西林业科学,1995,24(4):161~167

Research on Young Seedling Plantation of Fertilizer Trial for *Eucalyptus urqphylla* at 6 Year-old

LIANG Kun-nan¹, ZHOU Wen-long¹, LI Yi-quan²

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: The results on growths, biomass, nutrient contents and economic benefit of young seedling plantation for *Eucalyptus urqphylla* at 6 year old by applying fertilizer were comprehensively summed up. The results showed that there was high significant increasing effect for young seedling plantation of *E. urqphylla*. There were also high significant differences on growths of height, DBH and per hectare volume at year old between fertilizer treatment and no fertilizer treatment. Compared with no fertilizer treatment, fertilizer treatment on growths of height, DBH and per hectare volume increased by 34.76%, 56.80%

and 206.59% respectively. Especially in No. 9 treatment (N₁₀₀P₁₅₀K₅₀) with the mean height of 13.17 m, mean DBH of 13.73 cm and mean volume of 141.1 m³·hm⁻², it increased by 41.77%, 78.54% and 290.86% respectively. The best fertilizer combined ratio for N, P and K is 2:3:1. Fertilizer application can increase both the growths and biomass of each part for *E. urophylla* plantation. Fertilizer application also promoted absorb and utilization of each nutrient element for *E. urophylla*. In addition, reasonable fertilizer application also attained the considerable economic benefit. The net profit of No. 9 treatment with a total of 9 946.84 RMB·hm⁻² at 6 year-old was 9.58 times than that of no fertilizer treatment. A ratio of input and output and a IRR for No. 9 treatment (N₁₀₀P₁₅₀K₅₀) are 1 to 2.74 and 32.33% respectively

Key words: *Eucalyptus urophylla*; fertilizer effect; biomass; nutrient contents; economic benefit