

巨桉苗期矿质营养试验*

仲崇禄

关键词 巨桉、苗木、矿质营养、施肥

巨桉(*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden)营养研究国内外均有报道^[1~5],但对巨桉苗多种施肥处理的研究还未见报道。热带地区,多数林业用地的土壤是贫瘠的,但通过合理施肥来增加树木的潜力是相当大的。人工林经营中,为最大限度地促进树木生长主要应考虑下列因素:土壤肥力、肥料施用、营养元素的相互影响程度、营养元素的损失、营养元素施用在植物基因型间的差异等^[6]。林业实践中,营养经营策略的第一阶段就是确定造林地土壤的营养特征。本研究的目的是探讨某些营养元素单独施用或组合施用对巨桉苗生长和生物量生产的影响。

1 材料和方法

1.1 材料

试验在澳大利亚科学与工业组织(CSIRO)的Davies实验室的温室中进行,试验期间的温度为19.2~36.8。种子采自澳大利亚昆士兰州的Ravenshoe。土壤取自昆士兰州北部热带森林中0~30 cm的表土(表1),并过5 mm细筛。培养容器为上口直径10 cm,底部直径8 cm,高12 cm的黑色塑料杯,使用时再内衬底部密封的塑料袋。表2列出了处理用营养液组成及用量,营养液配方由澳大利亚西澳大学专家研制,1986年后澳大利亚科工组织土壤所的P。

表1 赤红壤(Ga)的主要特性

指 标	含量
pH	4.96
有机质(g·kg ⁻¹)	6.10
N(g·kg ⁻¹)	0.40
有效P(mg·kg ⁻¹)	2.0
全P(g·kg ⁻¹)	0.19
全S(g·kg ⁻¹)	0.34
游离铁(g·kg ⁻¹)	22.1
交换性物质	
Ca(cmol(1/2Ca)kg ⁻¹)	0.067
Mg(cmol(1/2Mg)kg ⁻¹)	0.150
K(cmol(K)kg ⁻¹)	0.047
阳离子交换总量(cmol(+)kg ⁻¹)	1.48

注:土壤采自澳大利亚昆士兰的热带地区。

表2 营养溶液的组成和用量

化学成分	用量 (mg/kg土)	相当元素用量 (mg/kg土)
1. NaH ₂ PO ₄	100	22.7 P
2. NH ₄ NO ₃	280	100 N
3. KCl	140	62.9 K
4. CaCl ₂ ·2H ₂ O	100	27.3 Ca; 48.3 Cl
5. MgSO ₄ ·7H ₂ O	80	8.0 Mg; 10.4 S
6. CuSO ₄ ·5H ₂ O	5	1.3 Cu; 0.7 S
7. ZnSO ₄ ·7H ₂ O	10	2.3 Zn; 1.1 S
8. MnSO ₄ ·H ₂ O	15	3.7 Mn; 2.1 S
9. H ₃ BO ₃	0.7	0.12 B
10. CoSO ₄ ·7H ₂ O	0.5	0.11 Co; 0.06 S
11. Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.4	0.16 Mo
12. FeNaEDTA	20	3.0 Fe; 1.2 Na

注:1.化学成分4~12为无N、P、K营养液,用A表示。

2.氮肥分四次施用:0周、2周、4周和8周。

1995-03-24 收稿。

仲崇禄助理研究员(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520)。

* 本研究属中澳合作项目(1987~1990年)8736内容。试验期间得到澳大利亚科工组织P. Reddell博士和热林所弓明钦副研究员的帮助,特此致谢。

Reddel 博士把它用于桉树、相思和木麻黄苗木培育, 在介质为蛭石+ 泥炭+ 沙(体积比为 1 : 1 : 1) 上效果良好。为避免营养液配方中某些化合物在施用前发生化学反应, 试验时各化合物分开配制和施用。

1.2 试验方法

种子表面消毒后播种于灭过菌的沙土中。试验土壤在 60 ℃ 烘箱中烘 3 d, 以消灭土壤中的真菌, 然后称重(0.8 kg/ 杯)。营养元素是以营养液的形式滴注到土壤表面的, 待其干燥后在塑料容器中摇动让营养元素均匀地分布在土中。滴注营养液第 3 天时, 将每培养杯中移植 1 株苗(苗高约 2.5 cm 且主根长约 7.5 cm)。移植后 125 d 收获。测量内容包括苗高 H (cm), 地径 D_0 (cm), 全部苗木都在 105 ℃ 烘 2 d 至恒重, 每株苗按叶、茎枝、根三部分称得对应的生物量, 分别用 W_l (叶生物量)、 W_s (枝生物量) 和 W_u (地下生物量) 表示, 并计算地上生物量($W_a = W_l + W_s$) 和总生物量($W_t = W_a + W_u$)。

1.3 试验设计

试验采用完全随机区组设计, 每个处理 10 杯, 重复 3 次。每个区组内, 所有苗杯都是随机排列于温室中的铁丝床上, 杯间相距 10 cm 左右, 每隔两周移动一次铁床, 以便受光均匀。16 个营养施用处理如下: 对照(CK) (未施任何营养元素)、P(施 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、N(施 NH_4NO_3)、K(施 KCl)、NP(施 $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、PK(施 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{KCl}$)、NK(施 $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCl}$)、NPK(施 $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{KCl}$)、A(施无 N、P、K 营养液)、PA(施 P+ A)、NA(施 N+ A)、KA(施 K+ A)、NPA(施 NP+ A)、PKA(施 PK+ A)、NKA(施 NK+ A) 和 NPKA(施 NPK+ A, 全营养液)。

2 结果与分析

2.1 方差分析

方差分析结果表明巨桉苗高、地径、地上生物量、茎枝生物量、叶生物量、根生物量和总生物量在营养处理间均有极显著差异, 而重复间无显著差异(表 3)。

表 3 7 个指标方差分析 F 值及显著水平

变 源	自由度	H	D_0	W_a	W_s	W_l	W_u	W_t
处 理	15	433.4***	603.0***	1 000.0***	530.4***	853.7***	610.4***	1 000.0***
重 复	2	1.75 ^{NS}	0.04 ^{NS}	0.49 ^{NS}	0.76 ^{NS}	0.76 ^{NS}	0.32 ^{NS}	0.22 ^{NS}

注: *** 为显著水平 $P = 0.01$; NS 为无显著差异。

2.2 7 个指标的平均值和多重比较

表 4 反映 16 个处理巨桉苗 7 个指标平均值的变化及多重比较的结果。总的来看, 除单施 P 处理的苗高外, 含 P 处理的所有指标都大于不含 P 的处理, 含 P 处理的 7 个指标与对照有显著差异。说明该赤红壤施 P 对巨桉苗生长是非常必要的。

15 个施肥处理的苗高与对照存在显著差异。经 NPKA 处理的苗木除苗高外其它指标都是最大的, 并与其它施肥处理有显著差异, 说明全营养液施肥效果好。除枝生物量 W_s 和根系生物量 W_u 外, 经 N 处理的苗木其它指标与对照有显著差异; 除地径、枝生物量和根系生物量外, 经 K 处理的苗木其它指标与对照有显著差异; 经 A 处理后, 仅苗高与对照的苗高有显著差

异;经NA处理后,苗高、地径、叶生物量和总生物量与对照间有显著差异;经P、NP、PK、NK、NPK、PA、KA、NPA、PKA、NKA和NPKA处理,所有苗木指标均与对照间有显著差异。与对照处理有显著差异的各种处理,其各种指标占对照处理的比值变化范围,以叶生物量 Wl 最大,苗高 H 最小。

依据 H 、 D_0 、 Wa 、 Wu 和 Wt 5个指标,用“多目标决策分析中一维选优法”计算综合评价值^[7],计算时定义各指标权重系数均为0.20(表4)。综合评价值大,施肥效果好。16个施肥处理优劣顺序为 $NPKA > PKA > PA > NPA > NPK > PK > NP > P > KA, NKA > NK > K > NA > N > A$ 。

表4 7个指标的平均值及多重比较(Duncan法, $P = 0.05$)

代号	处理	H (cm)	D_0 (cm)	Wa	Ws	Wl	Wu	Wt	综合评定值	评价序号
1	CK	12.0 h (1.0)	0.11 g (1.0)	0.084 j (1.0)	0.035 h (1.0)	0.049 j (1.0)	0.033 f (1.0)	0.117 k (1.0)	0.100	15
2	P	23.5 e (2.0)	0.27 d (2.5)	3.348 d (39.9)	0.890 e (25.4)	2.458 cd (50.2)	1.307 c (39.6)	4.655 d (39.8)	0.582	8
3	N	16.2 g (1.4)	0.14 f (1.3)	0.381 i (4.5)	0.066 h (1.9)	0.315 hi (6.4)	0.105 f (3.2)	0.486 ij (4.2)	0.176	13
4	K	19.2 f (1.6)	0.12 hg (1.1)	0.386 i (4.6)	0.119 h (3.4)	0.267 hi (5.5)	0.133 f (4.03)	0.519 i (4.4)	0.188	11
5	NP	28.8 c (2.4)	0.28 d (2.5)	2.782 f (33.1)	0.912 e (26.1)	1.870 f (38.2)	0.994 d (30.1)	3.776 f (32.3)	0.584	7
6	PK	28.0 c (2.3)	0.29 cd (2.6)	3.055 e (36.4)	0.918 e (26.2)	2.137 e (43.6)	1.081 d (32.8)	4.136 e (35.4)	0.608	6
7	NK	25.4 d (2.1)	0.21 e (1.9)	0.797 h (9.5)	0.340 g (9.7)	0.457 h (9.3)	0.395 e (12.0)	1.192 h (10.2)	0.345	10
8	NPK	31.4 b (2.6)	0.30 b (2.7)	3.364 d (40.0)	1.171 d (33.5)	2.193 e (44.8)	1.090 d (33.0)	4.454 de (38.1)	0.659	5
9	A	16.1 g (1.3)	0.11 g (1.0)	0.219 ij (2.6)	0.058 h (1.7)	0.161 ij (3.29)	0.086 f (2.6)	0.305 jk (2.6)	0.143	14
10	PA	32.0 b (2.7)	0.30 bc (2.7)	4.868 b (58.0)	1.558 b (44.5)	3.310 b (67.6)	1.486 b (45.0)	6.354 b (54.3)	0.783	3
11	NA	18.5 f (1.5)	0.15 f (1.4)	0.309 ij (3.7)	0.106 h (3.0)	0.203 i (4.1)	0.124 f (3.8)	0.433 ij (3.7)	0.177	12
12	KA	23.3 e (1.9)	0.21 e (1.9)	1.530 g (18.2)	0.547 f (15.6)	0.983 g (20.1)	0.494 e (15.0)	2.024 g (17.3)	0.378	9
13	NPA	33.4 a (2.7)	0.31 b (2.8)	3.826 c (45.5)	1.345 c (38.4)	2.481 c (50.6)	1.417 bc (42.9)	5.243 c (44.8)	0.738	4
14	PKA	35.5 a (3.0)	0.35 a (3.2)	3.872 c (46.1)	1.572 b (44.9)	2.300 de (46.9)	1.515 b (45.9)	5.387 c (46.0)	0.794	2
15	NKA	25.1 d (2.1)	0.20 e (1.8)	1.461 g (17.4)	0.376 g (10.7)	1.085 g (22.1)	0.464 e (14.1)	1.925 g (16.5)	0.378	9
16	NPKA	31.4 b (2.6)	0.37 a (3.4)	5.905 a (70.3)	2.029 a (58.0)	3.876 a (79.1)	2.369 a (71.8)	8.274 a (70.7)	0.969	1

注:(1)同一列中,字母相同者为无显著差异,而字母不同者有显著差异($P < 0.05$);(2)括号中数字是各处理某一指标与相应对照处理指标的比值。

2.3 高径比和生物量分配(表 5, 图 1)

2.3.1 高径比 高径比是衡量苗木质量的重要指标之一。一般认为高径比小, 有利于造林成活。含 P 的施肥处理对应的高径比都小于对照, 相反, 单施 N、K、A 或其组合处理的高径比都大于对照。可见, 高径比可作衡量施肥处理的指标之一。

2.3.2 生物量分配 根系生物量占地上生物量比值 (W_u/W_a): 从苗木质量角度看, W_u/W_a 越大越好, 说明苗木根系发达。15 个施肥处理中, 只 NK、A、NA 和 NPKA 处理的 W_u/W_a 比对照大 40% ~ 50%, N 处理的 W_u/W_a 最小, 仅 27.6%, 其它处理的比值都小于对照。

茎枝生物量占总生物量比值 (W_s/W_t): 各施肥处理的 W_s/W_t 都小于对照的比值, 其中以 N 处理的比值最小, 为 13.6%。

表 5 各生物量间百分比 (%) 及高径比平均值

序号	处理	W_u/W_a	W_s/W_t	W_l/W_t	W_u/W_t	H/D_0
1	CK	39.3	29.9	41.9	28.2	1.09
2	P	39.0	19.1	52.8	28.1	0.87
3	N	27.6	13.6	64.8	21.6	1.16
4	K	32.3	22.9	51.4	25.6	1.60
5	NP	35.7	24.2	49.5	26.3	1.02
6	PK	35.4	22.2	51.7	26.1	0.97
7	NK	49.6	28.6	38.3	33.1	1.21
8	NPK	32.4	26.3	49.2	24.5	1.05
9	A	40.0	19.0	52.8	28.2	1.46
10	PA	30.5	24.5	52.1	23.4	1.07
11	NA	40.1	24.5	46.9	28.6	1.23
12	KA	32.2	27.0	48.6	24.4	1.11
13	NPA	37.0	25.7	47.3	27.0	1.08
14	PKA	39.1	29.2	42.7	28.1	1.01
15	NKA	31.8	19.5	56.4	24.1	1.25
16	NPKA	40.1	24.5	46.9	28.6	0.85
变化范围		27.6 ~ 49.6	13.6 ~ 29.9	38.3 ~ 64.8	21.6 ~ 33.1	0.85 ~ 1.60

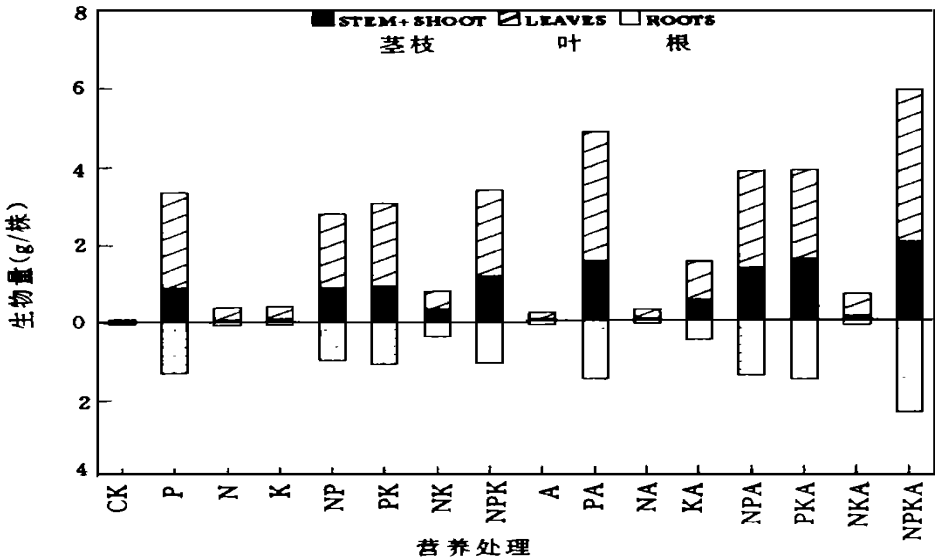


图 1 16 种营养处理的巨桉苗茎枝、叶和根系生物量分配

叶生物量占总生物量比值 (W_l/W_t): 除 NK 处理的比值 (38.3%) 稍低于其对照 (41.7%) 外, 其它处理的比值都大于对照的比值, 其中 N 处理的比值最大, 为 64.8%, 其余处理的比值为 42.7% ~ 56.4%。

根系生物量占总生物量比值 (W_u/W_t): 除 NK、NA 和 NPKA 处理的比值 (分别为 33.1%、28.6% 和 28.6%) 稍高于对照 (28.2%) 的比值外, 其余处理的比值都稍低于对照。

4 讨论与结语

(1) 在昆士兰赤红壤上, 缺 P 会使巨桉苗的生物量生产明显降低^[5]。本试验从施肥角度证实实施 P 可明显促进苗木生长及其生物量生产, 说明 P 是该土壤的限制因子。由表 4 综合评定结果看, P 与 N 或 K 组合施用(即 NP、PK 和 NPK 处理), 或 P 与某些大量、微量元素组合施用(即 NPA、PKA 和 NPKA 处理)的效果都好于单施 P 处理, 说明用该赤红壤育巨桉苗时除施 P 外最好还施其它元素。该试验以全素 NPKA 处理的效果为最佳, 表明该营养液配方适合于赤红壤上培育巨桉苗。

(2) 单施 A 时, 其效果只是稍好于对照, 而构成 NA、PA、KA、NPA、NKA、PKA 和 NPKA 处理的效果都好于对应的 N、P、K、NP、NK、PK 和 NPK 处理, 说明 A 处理中某些元素对赤红壤上巨桉苗生长也是有用的。另外, 单施 P 时苗高或综合评价结果都不如 NP 或 PK 处理, 但单施 P 的总生物量都大于这 2 种处理, 表明 NP 或 PK 处理只有利于苗高增加而不利于苗木总生物量积累, 而与单施 P 处理相比, NPA 或 PKA 处理既有利于苗高生长又有利于苗木生物量的增加, 进一步说明 A 处理对巨桉苗生长是非常必要的。这种现象可能是由于 A 处理为巨桉苗木器官生长提供某种或某些必要的元素, 调节土壤 pH 值, 使土壤营养达到平衡或刺激苗木对 P、N 或 K 的吸收之故, 对此有待于进一步研究。试验用赤红壤似于华南地区的赤红壤, 故该试验结果可在华南赤红壤上育苗或造林施肥时参考。

(3) 赤红壤上 16 个营养处理后, 巨桉苗高、地径和生物量在营养处理间都有显著差异。

(4) 除单施 P 处理的苗高外, 7 种含 P 的施肥处理的苗高、地径和生物量都大于不含 P 的处理, 并且含 P 处理的 7 个指标与对照的指标相比都有显著差异。该赤红壤上施 P 对巨桉苗生长是非常必要的。

(5) 含 P 的施肥处理的高径比都小于对照的高径比, 相反, 单施 N、K、A 或其组合处理的高径比都大于对照。高径比可作为衡量施肥处理的指标之一。

(6) 施肥处理会影响巨桉苗木茎枝、叶和根系生物量的分配。

(7) 以苗高、地径、地上生物量、根系生物量和总生物量为基础, 得出的 16 个施肥处理优劣顺序为: NPKA > PKA > PA > NPA > NPK > PK > NP > P > KA、NKA > NK > K > NA > N > A, 以全营养施为最佳。

参 考 文 献

- 1 Noble A D, Herbert M A. Influence of soil organic matter content on the responsiveness of 24 *Eucalyptus grandis* to nitrogen fertilizer. 19 th IU FRO World Congress, Montreal, Canada, IU FRO, 1990.
- 2 Sch ö nau A P G. The effects of fertilizing on the foliar nutrient concentration in *Eucalyptus grandis*. Fertil. Res., 1981, 2: 73 ~ 87.
- 3 Sch ö nau A P G. Additional effects of fertilizing on several foliar nutrient concentration and ratio in *Eucalyptus grandis*. Fertil. Res., 1982, 3: 385 ~ 397.
- 4 Sch ö nau A P G, Herbert M A. Relationship between rate, fertilising and foliar nutrient concentration for *Eucalyptus grandis*: preliminary investigations. Fertil. Res., 1983, 4: 369 ~ 380.
- 5 仲崇祿, Paul Reddell. 巨桉营养研究 I. 六种土壤类型上巨桉苗缺素反应. 林业科学研究, 1994, 6(6): 704 ~ 708.
- 6 Evans J. Plantation Forestry in the tropics. Clarendon Press, Oxford(2nd ed.), 1992.
- 7 洪伟. 多目标决策在林业中的应用. 林业勘察设计, 1987, 14(2): 40 ~ 46.

Mineral Nutrient Experiment of *Eucalyptus grandis* Seedlings on Latored Soil

Zhong Chonglu

Abstract In greenhouse, 16 nutrient treatments were conducted in latored soil, with *Eucalyptus grandis* Hillex Maiden. The 16 treatments were CK(no nutrients, control), P, N, K, NP, PK, NK, NPK, A(- NPK modified UWA stock solution), NA, PA, KA, NPA, PKA, NKA and NPKA. The results showed that there were significant differences in seedling height, diameter and biomass production between 15 nutrient treatments and control(CK); Except the height of single P treatment, all indexes(height, diameter and biomass) of the treatments with P nutrient were more than those of the treatments without P nutrient, and there were significant difference in height, diameter and biomass between the treatments with P nutrient and the treatments without P nutrient; The rates of height/diameter of treatments with P nutrient were all less than that of the control treatment, on the contrary, the rates at single N, K, A and their combined treatments were all more than that of control treatment; Based on height, diameter, biomass above ground, root biomass and total biomass, by the Multiple Objective Strategic Decision Analysis methods, 16 nutrient treatments were optimized and arranged from the excellent to the poor: NPKA > PKA > PA > NPA > NPK > PK > NP > P > KA, NKA > NK > K > NA > N > A > CK. Meanwhile, their distribution relationships among different parts of biomass were described.

Key words *Eucalyptus grandis*, seedling, mineral nutrition, fertilization