

文章编号: 1001-1498(2005)05-0535-06

## 柚木苗期多因素施肥试验

梁坤南<sup>1</sup>, 潘一峰<sup>2</sup>, 刘文明<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 中南大学生物医疗工程研究院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:**以 N、P、K、Mg、Z(沸石)为苗期施肥因素,采用  $L_8(4^1 \times 2^4)$  正交设计, P 为 4 个水平,其余 2 个水平,不施肥作对照,共 9 个处理,研究不同施肥处理对柚木苗生长和干物质质量的影响。方差分析结果表明:不同施肥处理间 7 个月生柚木的生长及干物质质量差异极显著,处理 5 ( $P_1 Z_2 N_1 K_1 Mg_2$ ) 的生长指标和各项干物质质量指标是 8 个施肥处理中最好的,与其余的施肥处理呈显著或极显著差异。与对照相比,7 个月生的柚木苗高、地径、总干物质质量、根干物质质量、茎干物质质量和叶干物质质量分别是对照的 3.58、2.74、11.78、11.29、10.24、17.79、8.15 倍。沸石促进了柚木苗生长和各项干物质质量的形成,添加沸石的 7 个月生的柚木苗高、地径、总干物质质量、根干物质质量、茎干物质质量和叶干物质质量分别是不添加沸石的 2.10、1.69、4.02、3.17、2.94、2.60 倍。不同 P 水平间的苗木生长和干物质质量的差异也极显著,低 P 水平对柚木苗生长和干物质质量的影响要优于高 P 水平,容器苗培育 P 肥最佳施肥量为基质质量的 0.7%。添加 Mg 也对柚木苗生长和干物质质量的形成起促进作用。

**关键词:**柚木;苗期;施肥;生长;干物质质量

**中图分类号:** S723.7 **文献标识码:** A

## Multi-factors Fertilization Trial of *Tectona grandis* in Seedling Stage

LIANG Kun-nan<sup>1</sup>, PAN Yi-feng<sup>2</sup>, LIU Wen-ming<sup>1</sup>

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

2. Academy of Biomedical Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

**Abstract:** The trial, designed by orthogonal design with a  $L_8(4^1 \times 2^4)$  of N, P, K, Mg and Zeolite (Z) for 2, 4, 2, 2, 2 levels respectively, was to research the effects of different fertilizer treatments on the growth and dry biomass of seedlings of *Tectona grandis*. The results of variance analysis of fertilizer trial of *Tectona grandis* in seedling stage showed that there were high significant difference among different fertilizer treatments on the growths and dry biomass in 7 months, treatment 5 ( $P_1 Z_2 N_1 K_1 Mg_2$ ) of which was the best treatment among 8 fertilizer treatments on growth and each dry biomass, and had high significant or significant difference with other 7 fertilizer treatments. Compared with the contrast (no fertilizer treatment), treatment 5 on seedling height, ground diameter, total dry biomass, root dry biomass, stem dry biomass and leaf dry biomass at 7 months were 3.58, 2.74, 11.78, 11.29, 10.24, 17.79 and 8.15 times that of the contrast respectively. Zeolite can promote the growth of seedling stock of *T. grandis* and the formation of biomass of each organ. Treatments with zeolite on seedling height, ground diameter, total dry biomass, root dry biomass, stem dry biomass and leaf dry biomass at 7 months were 2.10, 1.69, 4.02, 3.17, 2.94 and 2.60 times that of treatments without zeolite. There are also high significant differences on growths and dry biomass of seedlings among different P levels, the low P levels of which were superior to the high P levels on growths and dry biomasses of seedlings. The best application of P fertilizer in containerized seedling stock culture was 0.7% of weight of medium. Treatment added Mg could also promote the growth of seedling stocks.

收稿日期: 2005-03-07

基金项目: 国家“十五”攻关科技计划(2002BA515B0203)、(2004BA515B0203)子课题

作者简介: 梁坤南(1962—),男,广西北流人,研究员,主要从事柚木遗传育种与栽培技术的研究。

and increase the biomass of seedling stocks. This trial will provided scientific references for field fertilizer application in the future.

**Key word:** *Tectona grandis*; seedling stage; fertilization; growth; dry biomass

柚木 (*Tectona grandis* L. f) 是世界上最名贵的用材树种之一, 天然分布于印度、缅甸、泰国和老挝, 位于  $9^{\circ} \sim 26^{\circ} \text{N}$ ,  $73^{\circ} \sim 104^{\circ} \text{E}$ <sup>[1]</sup>。我国引种柚木已有 170 多年历史, 20 世纪 70 年代前, 在台湾、海南和云南有较大规模的发展, 目前在福建、广东、广西等省区也有一定的发展面积<sup>[2]</sup>。国外对柚木壮苗培育技术早有研究, 苗期柚木施肥已成为国外壮苗培育的一项技术措施<sup>[3-7]</sup>。我国研究较迟, 尤其是营养袋育苗技术, 柚木苗期施肥尚未有报道。本文是在柚木苗前期进行的 pH、钙、镁、磷水培或砂培试验的基础上, 确定了多因素苗期施肥试验, 尤其是以强酸性土壤为培育基质, 探讨柚木苗期施肥的最佳施肥配比, 为柚木的壮苗培育提供技术依据, 也为酸性土壤的柚木施肥提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

柚木苗期前期的 pH、钙、镁、磷水培或砂培预备试验结果 (未发表) 表明: pH 大于 4, 柚木生长正常, 说明了柚木在 pH 值 4~5 的酸性土壤上生长不良的原因, 不仅仅是土壤酸性本身, 缺 Mg 影响柚木正常生长, 而缺 P 则严重抑制柚木的生长, 但 Ca 对苗木生长影响不显著。因此, 根据这些试验结果, 确定 N、P、K、Mg、Z (Zeolite 沸石) 作为苗木施肥试验的因素。以 P 为主要因素, 设 4 个水平, 其余均为 2 个水平 (表 1), 沸石作为土壤改良剂。采用  $L_8 (4^1 \times 2^4)$  正交设计, 不施肥为对照, 共 9 个处理 (表 2)。N 为尿素 (含有效 N 46%), P 为过磷酸钙 (含  $\text{P}_2\text{O}_5$  14%), K 为氯化钾 (含  $\text{K}_2\text{O}$  60%), Mg 为  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (含 Mg 10%), 重复 4 次, 小区苗数 10 株。本试验在热带林业研究所苗圃进行。

表 1 施肥各因素的水平 (按肥料有效量计)  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$

水平	$\text{P}_2\text{O}_5$	Z(沸石)	N	$\text{K}_2\text{O}$	Mg( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )
1	1.05	0	1.8	0	0
2	2.1	20	3.6	1.8	0.2
3	4.2				
4	8.4				

表 2 各处理肥料施用量  $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$

处理号	处理组合	过磷酸钙 (P)	沸石 (Z)	尿素 (N)	氯化钾 (K)	硫酸镁 (Mg)
1	$\text{P}_1\text{Z}_1\text{N}_2\text{K}_2\text{Mg}_1$	7.5	0	8	3	0
2	$\text{P}_2\text{Z}_2\text{N}_2\text{K}_1\text{Mg}_1$	15	20	8	0	0
3	$\text{P}_3\text{Z}_2\text{N}_2\text{K}_2\text{Mg}_2$	30	20	8	3	2
4	$\text{P}_4\text{Z}_1\text{N}_2\text{K}_1\text{Mg}_2$	60	0	8	0	2
5	$\text{P}_1\text{Z}_2\text{N}_1\text{K}_1\text{Mg}_2$	7.5	20	4	0	2
6	$\text{P}_2\text{Z}_1\text{N}_1\text{K}_2\text{Mg}_2$	15	0	4	3	2
7	$\text{P}_3\text{Z}_1\text{N}_1\text{K}_1\text{Mg}_1$	30	0	4	0	0
8	$\text{P}_4\text{Z}_2\text{N}_1\text{K}_2\text{Mg}_1$	60	20	4	3	0
9	$\text{P}_0\text{Z}_0\text{N}_0\text{K}_0\text{Mg}_0$ (对照)	0	0	0	0	0

### 1.2 试验材料与施肥方法

培养基质是取自南方普遍存在的酸性砖红壤 1 m 以下的黄心土, pH 4.7。培养容器用塑料花盆, 容积 1.5 L, 基质质量为  $2100 \text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 。施肥方法: 过磷酸钙、沸石、氯化钾、硫酸镁作为基肥一次施入, 尿素一半作为基肥施入; 另一半尿素作为追肥, 在移苗后 1 个月开始, 平分 5 次配水浇施, 每月 1 次, 肥液不接触叶片。

### 1.3 试验观测与统计分析

试验周期 7 个月 (5 月份至 12 月份), 每个月观测苗高、地径。试验结束时测定苗高、地径、干物质质量。采用 GENSTAT 5<sup>[8]</sup> 统计软件进行方差分析及多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对柚木苗生长的影响

对柚木苗期施肥试验 7 个月的苗高与地径生长进行方差分析, 结果 (表 3) 表明: 8 个施肥处理间除施肥后 1 个月柚木苗地径生长的差异不显著外, 其余苗龄的处理间苗高和地径生长差异极显著。地径生长方差分析  $F$  值也表明: 施肥对柚木地径的影响在 1 个月后开始显示出来, 到 4 个月时施肥效果达到最大, 处理间的差异也达到最大, 此后处理间的差异趋于稳定。施肥对苗高生长的影响与地径生长基本上一致, 但施肥后 7 个月时处理间的苗高生长差异增大, 是苗木营养空间竞争造成的结果。

表 3 不同施肥处理间苗高与地径生长的方差分析

苗龄 / 月	变异来源	自由度	苗高				地径			
			平方和	均方	F值	F检验	平方和	均方	F值	F检验
1	重复	3	33.053	11.018	2.53		0.3639	0.1213	0.51	
	处理	8	125.322	15.665	3.60**	<0.001	1.4000	0.1750	0.74ns	0.659
2	重复	3	7.423	2.474	0.36		4.5738	1.5246	1.84	
	处理	8	875.228	109.403	16.00**	<0.001	150.8675	18.8584	22.74**	<0.001
3	重复	3	49.52	16.51	0.87		3.642	1.214	0.84	
	处理	8	9073.02	1134.13	59.67**	<0.001	763.529	95.441	66.19**	<0.001
4	重复	3	649.70	216.57	3.86		18.318	6.106	1.93	
	处理	8	40041.53	5005.19	89.27**	<0.001	1830.426	228.803	72.22**	<0.001
5	重复	3	2311.7	770.6	5.70		58.629	19.543	2.71	
	处理	8	87746.9	10968.4	81.08**	<0.001	3261.114	407.639	56.43**	<0.001
6	重复	3	2599.5	866.5	5.13		37.01	12.34	1.08	
	处理	8	113716.8	14214.6	84.16**	<0.001	4750.57	593.82	51.85**	<0.001
7	重复	3	2052.0	684.0	4.69		7.46	2.49	0.17	
	处理	8	131157.8	16394.7	112.36**	<0.001	6190.99	773.87	53.67**	<0.001

注:表中 ns表示差异不显著; \*表示在 0.01 水平上差异极显著(下同)。

从表 4 可以看出, 8 个施肥处理中, 处理 5 的苗高和地径生长与其它处理呈显著或极显著的差异, 处理 4 的苗高和地径生长最差, 甚至与对照的差异也不显著, 主要原因是磷肥过量造成肥害, 但与处理 8 相比, 同样每株施用 60 g 磷肥, 而后者未造成严重的肥害, 主要原因是后者添加了沸石。沸石是一种含水的碱金属和碱土金属的架状铝硅酸盐矿物, 具交换吸附特性<sup>[9]</sup>, 可以增加土壤对铵离子、磷酸根离子和钾离子等的吸附能力<sup>[10-12]</sup>, 因此, 添加沸石后, 过量的 P 被吸附并逐步释放, 使苗木免于严重肥害。从 8 个施肥处理对苗木生长影响的效果来看, 添加沸石的处理(除处理 8 外)与其它未添加沸石的处理相比呈极显著的差异, 因此, 沸石对苗木生长起到促进作用是极显著的。最佳处理 5 的苗高、地径生长分别是对照的 3.58、2.74 倍。本试验采用强酸性土壤作为基质, 强酸性土壤一方面阳离子有效性低及磷、钼溶解性降低, 造成镁、钙、钾、磷和钼的缺乏; 另一方面 H<sup>+</sup> 浓度、活性铝浓度和活性锰浓度均比较高, 也产生了 H<sup>+</sup>、铝和锰的毒害<sup>[13]</sup>。因此, 除施肥过量产生肥害的处理外, 不施肥的柚木苗生长明显低于其它施肥的苗木。

由图 1、2 可以看出, 与对照相比, 除处理 4 外, 其它处理 2 个月就开始产生施肥效应, 尤其是添加沸石的处理施肥效应更明显; 3 个月后 4 个添加沸石的处理除处理 8 因磷肥过量其生长受影响外, 其余 3 个处理的苗高、地径生长已显著高于其它处理, 说明沸石的作用是显著的, 并从施肥开始就影响了柚木苗的生长, 尤其是对苗高生长的影响极显著; 4

个月时差异增大, 其中处理 5 的高生长在 5 个月后远远高于其它处理, 呈极显著差异。处理 4 由于磷肥过量, 且未添加沸石, 因而造成了肥害, 严重影响了柚木的生长, 且从一开始就低于对照。

表 4 施肥处理间柚木生长邓肯多重比较 (LSR)

处理	施肥处理	苗高 / cm	处理		地径 / mm	处理	
			0.01	0.05		0.01	0.05
5	P <sub>1</sub> Z <sub>2</sub> N <sub>1</sub> K <sub>1</sub> M <sub>2</sub> G <sub>2</sub>	71.22	a	5	18.44	a	a
3	P <sub>3</sub> Z <sub>2</sub> N <sub>2</sub> K <sub>2</sub> M <sub>2</sub> G <sub>2</sub>	62.72	b	2	16.38	b	ab
2	P <sub>2</sub> Z <sub>2</sub> N <sub>2</sub> K <sub>1</sub> M <sub>2</sub> G <sub>1</sub>	61.71	b	3	15.59	b	b
6	P <sub>2</sub> Z <sub>1</sub> N <sub>1</sub> K <sub>2</sub> M <sub>2</sub> G <sub>2</sub>	40.75	c	6	12.87	c	c
8	P <sub>4</sub> Z <sub>2</sub> N <sub>1</sub> K <sub>2</sub> M <sub>2</sub> G <sub>1</sub>	37.04	c	8	12.75	c	c
1	P <sub>1</sub> Z <sub>1</sub> N <sub>2</sub> K <sub>2</sub> M <sub>2</sub> G <sub>1</sub>	29.91	d	1	10.34	d	d
7	P <sub>3</sub> Z <sub>1</sub> N <sub>1</sub> K <sub>1</sub> M <sub>2</sub> G <sub>1</sub>	21.78	e	7	8.09	e	e
9	P <sub>0</sub> Z <sub>0</sub> N <sub>0</sub> K <sub>0</sub> M <sub>0</sub> G <sub>0</sub>	19.88	e	9	6.72	ef	e
4	P <sub>4</sub> Z <sub>1</sub> N <sub>2</sub> K <sub>1</sub> M <sub>2</sub> G <sub>2</sub>	18.32	e	4	6.17	f	e

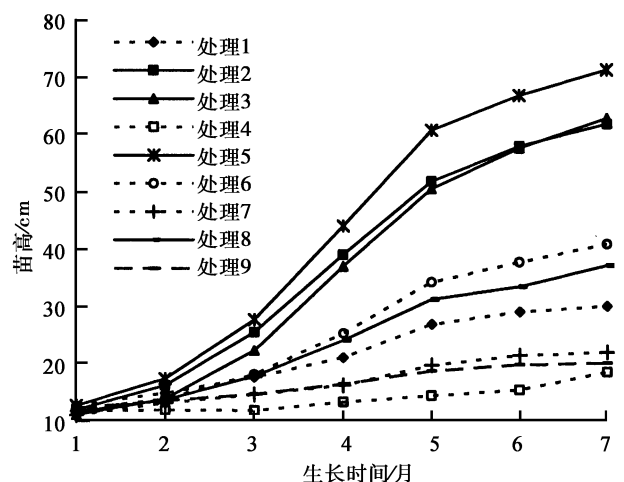


图 1 不同施肥处理柚木苗高生长曲线

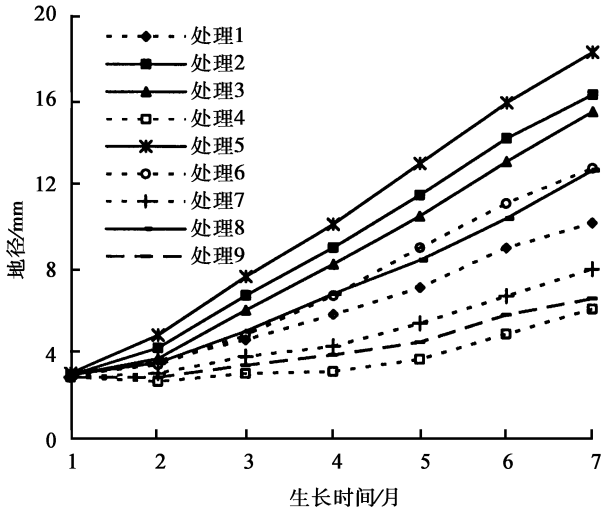


图 2 不同施肥处理柚木地径生长曲线

### 2.2 不同施肥水平对柚木苗生长的影响

对不同施肥水平的苗木生长逐月进行正交方差分析,结果(表 5)表明:不同的 N 水平对苗高生长一直无影响,但对地径生长的影响在 4 个月生时才体现出来,差异显著,低水平的 N 显著好于略高水平的 N。不同的 P 水平则影响不同,施肥后 1 个月时苗高生长达极显著差异,这种差异一直延续到试验结束,低 P 水平的苗高生长要好于高 P 水平,尤其是每株施 15 g 过磷酸钙的处理苗高生长最好(表 6);而对地径生长的影响在 2 个月时才体现出来,不同 P 水平间的地径生长在 2 个月时才呈极显著差异,并一直延续到试验结束;同样低 P 水平柚木的地径生长好于高 P 水平,与苗高生长相一致。高 P 水平因产生肥害,抑制了柚木的生长,这种情况也与其它树种

表 5 不同施肥水平对苗木生长的正交试验方差分析 F 值检验

项 变 异	1 个月		2 个月		3 个月		4 个月		5 个月		6 个月		7 个月	
	F 值	F 检验	F 值	F 检验	F 值	F 检验	F 值	F 检验	F 值	F 检验	F 值	F 检验	F 值	F 检验
重 复	2.94		0.79		0.37		2.85		4.55		4.34		4.30	
苗 高														
N	0.03ns	0.872	1.16ns	0.282	0.21ns	0.649	0.04ns	0.832	0.18ns	0.671	0.01ns	0.932	0.11ns	0.744
P	9.10**	<0.001	25.48**	<0.001	51.64**	<0.001	55.81**	<0.001	53.07**	<0.001	53.33**	<0.001	58.51**	<0.001
K	0.01ns	0.915	3.94*	0.048	3.76ns	0.053	2.11ns	0.147	0.42ns	0.515	0.35ns	0.553	0.21ns	0.648
Mg	0.01ns	0.915	0.64ns	0.424	4.87*	0.028	30.66**	<0.001	31.19**	<0.001	34.39**	<0.001	55.09**	<0.001
Z	0.03ns	0.872	39.13**	<0.001	244.94**	<0.001	390.79**	<0.001	335.44**	<0.001	343.30**	<0.001	452.66**	<0.001
地 径														
N	0.81ns	0.368	1.43ns	0.233	2.87ns	0.091	4.46*	0.036	5.19*	0.023	3.62ns	0.058	4.33*	0.038
P	0.41ns	0.748	22.38**	<0.001	45.05**	<0.001	48.21**	<0.001	40.24**	<0.001	36.94**	<0.001	30.00**	<0.001
K	0.00ns	1.00	1.29ns	0.257	1.31ns	0.254	1.54ns	0.215	1.19ns	0.276	1.19ns	0.276	1.96ns	0.163
Mg	0.20ns	0.652	0.11ns	0.744	4.53*	0.034	6.74**	0.010	9.11**	0.003	9.31**	0.003	9.54**	0.002
Z	3.26ns	0.072	72.97**	<0.001	273.81**	<0.001	301.27**	<0.001	210.80**	<0.001	196.33**	<0.001	209.13**	<0.001

的苗期施肥试验结果一致<sup>[14,15]</sup>。柚木苗施与不施 K 肥,从 1~7 个月生长均没显著差异;对 Mg 则不同,从 3 个月开始施与不施 Mg 苗高和地径生长呈显著差异,到 4 个月时则达极显著差异,且一直延续到试验结束,这种差异在苗高生长上更显著,因此,施 Mg 对柚木苗生长有很好的促进作用。本试验施肥水平对苗木生长的最大差异体现在是否添加沸石上,从表 5 可以看出:从 2 个月时开始添加与不添加沸石对苗木生长的影响存在极显著的差异,这种差异一直延续到试验结束,而且苗高生长的差异更显著。7 个月生添加沸石的苗高、地径生长分别是不添加沸石的 2.10、1.69 倍。根据 7 个月苗木生长的最后结果, N 和 K 的不同水平均在苗高和地径生长上反应不一致,但水平间的差异不显著;此外,4 个 P 水平中,2 个低 P 水平间对苗木生长影响的差异不显著(表 6),因此,

表 6 各施肥因子水平间 7 个月生长比较 (LSR<sub>0.01</sub>)

因子	水平	苗高/cm	水平	地径/mm
N	1	42.70 a	2	12.11 a
	2	43.17 a	1	13.04 a
P	4	27.68 c	4	9.45 c
	3	42.25 b	3	11.84 b
K	1	50.55 a	1	14.40 a
	2	51.25 a	2	14.61 a
Z	2	42.61 a	1	12.26 a
	1	43.26 a	2	12.89 a
Mg	1	27.69 b	1	9.36 b
	2	58.18 a	2	15.79 a
Mg	1	37.62 b	1	11.89 b
	2	48.25 a	2	13.26 a

本着经济施肥的原则,柚木苗最佳施肥方案确定为: P<sub>1</sub>Z<sub>2</sub>N<sub>1</sub>K<sub>1</sub>Mg<sub>5</sub>,即处理 5 的施肥水平。从表 6 还可算出 N、P、K、Z、Mg 的苗高与地径极差值,其中苗高的极差值分别为: 0.47、23.57、0.65、30.49、10.63 cm,

而地径的极差值分别为:0.93、5.16、0.63、6.43、1.73 mm。苗高极差的大小顺序为:Z>P>Mg>K>N,地径极差的大小顺序为:Z>P>Mg>N>K,由此说明 Z(沸石)对苗高和地径生长的影响最大,其次是 P、Mg 居第 3,N 和 K 的影响作用不大。

2.3 不同施肥处理对柚木苗干物质质量的影响

不同施肥处理间单株平均干物质质量经方差分

析结果(表 7)表明:处理间总干物质质量、根、茎、叶的干物质质量的差异极显著,生长最好的处理 5,其总干物质质量及各组分的干物质质量也是最大的,在总干物质质量、根、茎的干物质质量上与其它处理呈显著或极显著的差异,其总干物质质量、根、茎、叶的干物质质量是对照的 11.78、11.29、10.24、17.79、8.15 倍,因此施肥效果极显著。

表 7 柚木施肥处理间单株平均干物质质量的邓肯多重比较

处 理	施肥处 理组合	总干物质质量 / (g·株 <sup>-1</sup> )		根 / (g·株 <sup>-1</sup> )		茎 / (g·株 <sup>-1</sup> )		叶 / (g·株 <sup>-1</sup> )		LSR			
		0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01		
5	P <sub>1</sub> Z <sub>2</sub> N <sub>1</sub> K <sub>1</sub> Mg <sub>2</sub>	66.23	a	a	21.90	a	a	26.50	a	a	17.84	a	a
2	P <sub>2</sub> Z <sub>2</sub> N <sub>2</sub> K <sub>1</sub> Mg <sub>1</sub>	53.08	b	ab	14.70	b	b	22.19	b	ab	12.16	bc	abc
3	P <sub>3</sub> Z <sub>2</sub> N <sub>2</sub> K <sub>2</sub> Mg <sub>2</sub>	39.05	c	bc	9.16	c	bc	17.73	c	b	16.18	ab	ab
6	P <sub>2</sub> Z <sub>1</sub> N <sub>1</sub> K <sub>2</sub> Mg <sub>2</sub>	28.33	cd	cd	9.05	c	bc	9.63	d	c	9.66	c	bcd
8	P <sub>4</sub> Z <sub>2</sub> N <sub>1</sub> K <sub>2</sub> Mg <sub>1</sub>	23.28	d	cde	7.82	c	cd	8.78	de	c	6.93	cd	cde
1	P <sub>1</sub> Z <sub>1</sub> N <sub>2</sub> K <sub>2</sub> Mg <sub>1</sub>	19.00	de	def	6.53	c	cde	5.53	ef	cd	6.67	cd	cde
7	P <sub>3</sub> Z <sub>1</sub> N <sub>1</sub> K <sub>1</sub> Mg <sub>1</sub>	7.53	ef	ef	2.00	e	de	2.49	fg	d	3.03	de	de
9	P <sub>0</sub> Z <sub>0</sub> N <sub>0</sub> K <sub>0</sub> Mg <sub>0</sub>	5.62	f	f	1.94	e	de	1.49	g	d	2.19	de	de
4	P <sub>4</sub> Z <sub>1</sub> N <sub>2</sub> K <sub>1</sub> Mg <sub>2</sub>	2.47	f	f	0.66	e	e	1.08	g	d	0.74	e	e
F 值		31.08**		21.56**		51.73**		12.07**					
F 检验		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001					

2.4 不同施肥水平对柚木苗干物质质量的影响

对不同施肥因素的不同水平进行方差分析的结果(表 8)表明:P 和沸石的不同水平间在总干物质质量、根、茎、叶的干物质质量的差异极显著,尤其是施与不施沸石的差异极显著。沸石对各组分干物质质量影响程度为:茎干物质质量>总干物质质量>根干物质质量>叶干物质质量,施沸石的干物质质量分别是不施沸石的 4.02、3.17、2.94、2.60 倍。P 对各组分干物质质量的影响程度与沸石的一致;N 不同水平对干物质质量的影响均不显著;K 不同水平对干物质质量的影响体现在茎干物质质量上,差异显著,其它干物质质量在水平间差异不显著;Mg 不同水平间对总

干物质质量、根和茎的干物质质量的影响呈显著或极显著,施 Mg 促进苗木总干物质质量、根和茎的干物质质量的增加,但对叶干物质质量的增加不显著(表 9)。从表 9 还可算出 N、P、K、Z、Mg 的各干物质质量的极差值,其中总干物质质量和茎干物质质量极差的排序为:Z>P>Mg>K>N,而根干物质质量极差的排序为:P>Z>Mg=N>K,叶干物质质量极差的排序为:P>Z>Mg>K>N,由此说明 Z(沸石)对苗木总干物质质量和茎干物质质量影响最大,P 对根和叶的干物质质量影响最大,但 P 的影响差异是由于施肥过量而造成生长量下降,从而干物质质量降低,而沸石的作用是促进了柚木生长,增加了干物质质量。

表 8 不同施肥水平对柚木苗干物质质量影响的正交分析 F 值检验

变异 来源	总干物质质量		根干物质质量		茎干物质质量		叶干物质质量	
	F 值	F 检验	F 值	F 检验	F 值	F 检验	F 值	F 检验
重复	1.28		1.49		1.47		0.93	
N	0.99ns	0.332	4.88*	0.038	0.05ns	0.091	0.05ns	0.824
P	23.26**	<0.001	19.26**	<0.001	29.76**	<0.001	10.94**	<0.001
K	2.75ns	0.112	2.32ns	0.143	7.35*	0.013	0.20ns	0.656
Mg	7.86*	0.011	4.86*	0.039	16.68**	<0.001	2.07ns	0.165
Z	110.11**	<0.001	64.59**	<0.001	209.35**	<0.001	38.17**	<0.001

3 结语

(1)不同施肥处理对柚木苗高与地径生长的影响差异极显著,尤其是添加沸石的处理与未添

加沸石的处理呈显著或极显著差异,表明沸石对苗木生长起到明显的促进作用,沸石同时又起到缓冲肥害危险的作用。处理 5(P<sub>1</sub>Z<sub>2</sub>N<sub>1</sub>K<sub>1</sub>Mg<sub>2</sub>)是 8 个施肥处理中最好的,苗高、地径生长分别是不

表 9 各施肥因子水平间 7 个月干物质质量多重比较 (LSR<sub>0.05</sub>)g · 株<sup>-1</sup>

因子	水平	总干物质质量	极差	根干物质质量	极差	茎干物质质量	极差	叶干物质质量	极差
N	1	31.3 a	2.9	10.19 a	2.43	11.85 a	0.22	9.30 a	0.30
	2	28.4 a		7.76 b		11.63 a		9.00 a	
P	1	42.6 a	29.7	14.21 a	9.97	16.02 a	11.09	12.38 a	9.21
	2	40.7 a		11.87 a		15.21 a		12.92 a	
	3	23.3 b		5.58 b		10.11 b		7.60 b	
	4	12.9 c		4.24 b		4.93 c		3.71 c	
K	1	32.3 a	4.9	9.81 a	1.67	13.06 a	2.64	9.45 a	0.59
	2	27.4 a		8.14 a		10.42 b		8.86 a	
Z	2	45.4 a	31.1	13.39 a	8.83	18.80 a	14.12	13.21 a	8.12
	1	14.3 b		4.56 b		4.68 b		5.09 b	
Mg	2	34.0 a	8.3	10.19 a	2.43	13.73 a	3.98	10.10 a	1.89
	1	25.7 a		7.76 b		9.75 b		8.21 a	

施肥处理的 3.58、2.74 倍。鉴于 P、Mg 在本施肥试验中的作用,在 P、Mg 缺乏的酸性土壤中施入中性至碱性的钙镁磷肥,比施酸性的过磷酸钙效果好,一方面可提高土壤的 pH 值,另一方面,可以同时增加酸性土壤中的 P、Mg、Ca 的有效量,更有利于柚木的生长。

(2) 不同施肥因子的水平间对苗木生长的影响也不同,主要体现在 P、Mg 和沸石水平间的差异极显著,尤其是沸石添加与否,添加沸石后 7 个月柚木苗高、地径生长分别是不添加沸石的 2.10、1.69 倍。低水平 P 对苗木生长的影响优于高水平 P,本试验确定了柚木苗施 P 肥量的临界值,即柚木苗营养袋育苗施 P 肥量不宜超过基质质量的 1.4%,最佳施 P 肥量为基质质量的 0.7%。试验结果也表明,Mg 对柚木苗生长也起到促进作用。各施肥因素对柚木苗生长影响的大小排列是: Z(沸石) > P > Mg > N 或 K。

(3) 不同施肥处理对柚木苗干物质质量的影响同样达到极显著差异,生长最好的施肥处理 5,其总干物质质量和各组分干物质质量也最大,与其它施肥处理间的差异达显著或极显著,其总干物质质量、根、茎、叶的干物质质量是对照的 11.78、11.29、10.24、17.79、8.15 倍,由此可见,施肥效果极显著。

(4) P 和沸石的不同水平间在总干物质质量、根、茎、叶的干物质质量的差异极显著,尤其是施沸石与不施沸石的差异极显著,沸石对各组分干物质质量影响的大小程度为:茎干物质质量 > 总干物质质量 > 根干物质质量 > 叶干物质质量,施沸石的干物质质量分别是不施沸石的 4.02、3.17、2.94、2.60 倍;而 P 对各组分干物质质量的影响程度与沸石的一致;施 Mg 能促进苗木总干物质质量、根、茎的干物质质量呈显著或极显著的增加,但对叶干物质质量的增加不显著。

### 参考文献:

- [1] White K J. Teak: some aspects of research and development[A]. Publication 1991/17. FAO Regional Office for Asia and the Pacific (RAPA) [C]. Bangkok, 1991
- [2] 潘志刚,游应天. 中国主要外来树种引种栽培 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 672 ~ 679
- [3] Nwoboshi L C. The effects of potassium supply on growth and nutrient composition of teak (*Tectona grandis*) seedlings [C]. Potassium in tropical crops and soils: Proceedings, 10th Colloquium, International Potash Institute, Abidjan 1973: 513
- [4] Totey N G, Bhowmik A K, Khatri P K, et al. Growth of teak seedlings in nursery [J]. Indian Forester, 1986, 112 (9): 792 ~ 800
- [5] Rangaswamy C R, Jain S H, Sama C R. Effect of inorganic fertilizers on seedlings of casuarina, sandal and teak [J]. Myforest, 1990, 26 (4): 323 ~ 326
- [6] Mishra K. Enhancement of seedling growth by the application of potassium on *Tectona grandis* Linn. and *Dendro calamus strictus* Nees [J]. Indian Journal of Forestry, 1995, 18 (4): 325 ~ 327
- [7] Arthur M B. The effect of compost and NPK fertilizer on growth performance of *Tectona grandis* Linn. F. seedlings in the nursery [J]. Ghana Journal of Forestry, 1999, 8: 31 ~ 35
- [8] Payne R W, Lane P W, Ainsley A E, et al. The Genstat 5 Reference manual [M]. Oxford University Press, 1989
- [9] 魏静, 周恩湘, 姜淳, 等. 石灰性土壤上利用天然沸石活化磷矿粉的初步研究探讨 [J]. 河北农业大学学报, 1999, 22 (3): 25 ~ 27
- [10] 李华兴, 李长洪, 张新明, 等. 天然沸石对土壤保肥性能的影响研究 [J]. 应用生态学报, 2001, 12 (5): 743 ~ 745
- [11] 成若林. 利用沸石载体减少氮肥在土壤中损耗的研究 [J]. 草业科学, 1998, 15 (10): 70 ~ 73
- [12] 韩成. 斜发沸石保磷供磷功能的研究 [J]. 华北农学报, 2001, 16 (3): 114 ~ 118
- [13] 严小龙, 张福锁. 植物营养遗传学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997
- [14] 刘水娥, 张方秋, 陈祖旭, 等. N、P、K 营养元素不同配比对马占相思苗期生长的影响 [J]. 林业科学研究, 2002, 15 (2): 163 ~ 168
- [15] 吴家胜, 曹福亮, 应叶青, 等. 银杏苗期施 P 效应研究 [J]. 林业科学研究, 2003, 16 (2): 171 ~ 176