

杉、松、桉幼林两年施肥效应研究*

李贻铨 洪顺山 周文龙 陈道东 胡炳堂 巫流民

摘要 杉木幼林 P 肥效应极显著,每公顷施 25 kg P_2O_5 效应最好,树高增 24%,地径增 30%,PK、NP 和 NPK 效应也显著;湿地松幼林 P 肥效应也极显著,PN、PK 效应更好,每公顷施 50 kg N、50 kg P_2O_5 树高增 74%,地径增 69%,施 50 kg P_2O_5 、50 kg K_2O 树高增 72%,地径增 65%;尾叶桉幼林·NPK 效应最显著,PN、PK 效应也显著,NK 增幅不大,每公顷施 100 kg N、100 kg P_2O_5 、50 kg K_2O ,树高增 245%,地径增 279%,胸径增 1156%。造林时应施足 NPK 基肥。

关键词 杉木、湿地松、尾叶桉、幼林、施肥效应

对速生用材树种幼林进行合理施肥是集约经营人工林的一个重要技术措施,这对国外引入的速生用材树种,如湿地松(*Pinus elliottii* Engelm.)、桉树(*Eucalyptus* sp.)等尤为必要,在世界银行贷款国家造林项目的施肥实践中已获得证明。幼林合理施肥不仅可使林分提早郁闭,缩短抚育期限,并对郁闭林分以后生长也有效应。杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)幼林施 P 肥有效,肥力中上等林地施 K 肥有效,N 肥效应不明显^[1,2]。美国湿地松在缺 P 立地单施 N 肥,效应很低,缺 N 立地 N、P 结合施用效果优于单施^[3],在 P 很少的立地,施 N 无效,如以 N 作基肥,则会降低松树成活率和生长量,在高剂量施 P 时,N、P 结合施用效果好于单施 P^[4]。桉树在植树当年,所吸收的 N、P、K 总量大部分来自肥料^[5],桉树品种繁多,需肥特点各异,尾叶桉(*E. urophylla* S. T. Blake)为当前重点推广的速生良种桉之一,需肥量较大,肥效明显,合理施肥配方对提高肥效、降低造林投资意义重大。

1 试验地概况

3 个树种试验地概况见表 1,土壤普遍缺 P,杉木造林地土壤有机质、N 含量较高,K 居中上水平;湿地松造林地严重缺 P,有机质、N、K 也偏低;尾叶桉造林地 P、K 严重短缺,有机质与 N 也低。

2 试验方法与材料

2.1 杉木施肥试验林

12 个处理,内含 1 个对照,重复 3 次,处理小区随机排列,1991 年 2 月造林,每公顷 3 600 株,每小区 40 株。2 a 内肥料各水平施用量见表 2,12 个处理顺序如下:1. P_1 ,2. P_2 ,3. P_3 ,4. N_1 ,5. K_1 ,6. K_2 ,7. N_1P_1 ,8. N_1P_2 ,9. P_1K_2 ,10. P_2K_1 ,11. $N_1P_2K_1$,12. CK。除处理 4、5、6 于造林第二年 4 月施肥外,其余均于造林时作基肥。

1994—04—05 收稿。

李贻铨研究员,陈道东(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);洪顺山、胡炳堂(中国林业科学研究院亚热带林业研究所);周文龙(中国林业科学研究院热带林业研究所);巫流民(中国林业科学研究院亚热带林业实验中心)。参加人还有纪建书、何其轩、陈竣竣、梁坤南。

* 本研究系世界银行贷款 1991~1995 年国家造林项目“主要树种丰产林施肥技术科研与推广”部分内容。

表1 杉、松、桉试验林地土壤本底理化性质

地点和 立地概况	区组或 层次 (cm)	pH		有机质 (g/kg)	全量(g/kg)			速效(mg/kg)			代换性盐基(cmol/kg)				水解 性酸 (cmol /kg)	<0.001 mm (%)
		H ₂ O	KCl		N	P ₂ O	K ₂ O	N	P	K	Ca	Mg	K	Na		
江西分宜,丘陵,海 拔 240 m,花岗岩 上黄红壤,杉木幼 林,0~20 cm 采样	I	4.5	4.0	46.53	1.74	0.99	16.29	223	2.25	64.4	2.50	0.74	0.16	0.28	12.4	29.45
	II	4.6	4.0	43.73	1.80	0.64	14.11	230	1.61	77.2	5.48	0.99	0.16	0.84	12.4	28.41
	III	4.5	4.0	43.91	1.91	0.84	16.05	323	1.74	113.6	5.26	1.15	0.33	0.56	12.6	28.50
江西永丰,低丘台 地,海拔 85 m,第 四纪红土上红壤, 湿地松幼林,0~20 cm 采样	I	4.8	3.8	5.90	1.11	0.69	9.76	80.8	0.63	23.9	0.44	0.18	0.13	0.27	5.50	29.6
	II	4.8	3.8	9.88	0.86	1.17	9.64	86.9	0.58	27.6	0.55	0.29	0.17	0.22	5.20	28.6
	III	4.9	3.9	8.30	0.92	0.69	9.28	93.2	0.63	25.1	0.48	0.21	0.13	0.17	5.50	29.0
	IV	4.9	3.9	7.58	0.93	0.60	9.15	74.4	0.50	21.4	0.42	0.18	0.14	0.27	5.50	30.1
广东阳西,低丘,海 拔 30 m,花岗岩上 赤红壤,尾叶桉幼 林	0~20	4.5	4.1	26.96	1.03	0.24	1.11		0.68	16.96	0.10	0.01	1.89	1.67	6.74	41.52
	20~40	4.5	4.2	10.81	0.65	0.20	1.61		0.88	8.96	0.03	0.11	0.82	1.57	4.38	47.58
	40~60	4.5	4.1	10.17	0.55	0.20	1.65		0.75	8.00	0.02	0.11	0.74	1.03	4.65	43.93
	60~80	4.4	4.1	8.07	0.50	0.20	1.76		0.86	6.19	0.03	0.06	0.52	1.34	4.35	49.30

2.2 湿地松施肥试验林

11 个处理,内含 1 个对照,重复 4 次,处理小区随机排列,1991 年 1 月造林,每公顷 2 500 株,每小区 36 株。2 a 内肥料各水平施用量见表 2。11 个处理顺序如下:1. P₁, 2. P₂, 3. P₃, 4. N₁, 5. K₁, 6. K₂, 7. N₁P₂, 8. P₁K₁, 9. P₂K₁, 10. N₁P₂K₁, 11. CK。除 4、5、6 于造林第二年(1992)4 月施肥外,其余施肥处理均于造林时作基肥施入。

2.3 尾叶桉施肥试验林

N、P、K 3 个因子各 3 个施肥水平,用 L₉(3⁴) 正交表设计,产生 9 个处理,3 次重复,处理小区随机排列,每小区 36 株。1991 年 4 月造林,每公顷 1 666 株。2 a 内肥料各水平施用量见表 3。9 个处理顺序如下:1. N₁P₁K₁(无肥), 2. N₁P₂K₂, 3. N₁P₃K₃, 4. N₂P₁K₂, 5. N₂P₂K₃, 6. N₂P₃K₁, 7. N₃P₁K₃, 8. N₃P₂K₁, 9. N₃P₃K₂。其中, P 肥作基肥一次性施入; N 与 K 肥均分两次于 1991 年 7 月和 1992 年 4 月追入,每次追肥量为表 3 用量的 1/2。

试验肥料统一用尿素,钙镁磷肥和氯化钾,按相应有效成分折算施肥量。

3 施肥效应

3.1 杉木施肥效应

3.1.1 造林当年施肥效应 各处理第一年底生长量与对照(CK)多重比较结果(表 4)表明,当年肥效 P₂₅处理效应极显著,树高、地径分别较对照增加 18.8% 和 21.5%。P 与 N 或 K 结合有显著效应,但 P₅₀与 N、K 结合,效应好于 P₂₅与 N、K 结合,似乎在与 N、K 的交互作用中, P

表2 杉、松林施肥水平

(单位:kg/hm ²)			
水 平	N 肥	P 肥(P ₂ O ₅)	K 肥(K ₂ O)
1	50	25	50
2		50	100
3		100	

表3 尾叶桉林施肥水平

(单位:kg/hm ²)			
水 平	N 肥	P 肥(P ₂ O ₅)	K 肥(K ₂ O)
1	0	0	0
2	50	50	50
3	100	100	100

表 4 杉木造林当年施肥生长量与对照多重比较

处 理 (kg/hm ²)	树高(m、%)		地径(cm、%)	
	生长量	百分率	生长量	百分率
1. P ₂₅	0.82*	118.8	1.64*	121.5
10. P ₅₀ K ₅₀	0.81*	117.4	1.54	114.1
8. N ₅₀ P ₅₀	0.80*	115.9	1.62*	120.0
9. P ₂₅ K ₅₀	0.79*	114.5	1.57*	116.3
7. N ₅₀ P ₂₅	0.78	113.0	1.52	112.6
11. N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀	0.76	110.1	1.52	112.6
2. P ₅₀	0.75	108.7	1.50	111.1
3. P ₁₀₀	0.75	108.7	1.47	108.9
12. CK	0.69	100	1.35	100

注:P≈P₂O₅,K=K₂O。树高、地径 LSR_(0.05)=0.096、0.20。

的高剂量优于低剂量。

3.1.2 造林两年施肥效应 表 5 表明,施肥第二年肥效更趋明显,其特点如下:(1)P 肥

效应明显上升,P₂₅高、径与 CK 差距均达极显著水平,增幅分别上升到 24%和 30%,P₅₀与 P₁₀₀也上升到显著水平。(2)P 与 N、K 交互作用也明显上升,P₅₀与 N、K 结合处理,高、径与 CK 差距均达极显著水平,P₂₅与 N、K 结合处理,高、径也达到显著水平,其增幅均较头年有所提高。(3)第二年施用 K 肥后当年见效,K₅₀对树高影响达显著水平,与 CK 相比,树高增加 15%,但对地径影响未达显著水平,K₅₀效应大于 K₁₀₀,后者与 CK 差距未达显著水平。(4)N 肥单施效应不明显。

3.2 湿地松施肥效应

3.2.1 湿地松施肥效应明显 2 a 试验表明,施肥对湿地松第一、二年的总生长量和连年生长量以及 2 a 净生长量效应极显著,处理间方差分析 F 值见表 6,各处理与 CK 差异比较 LSR 值见表 7。

表 6 湿地松林施肥处理间方差分析 F 值

项 目	地 径	树 高	冠 幅
苗木本底值	1.19**	1.61**	
总 生 长	第一年	14.57**	7.46**
	第二年	25.92**	20.04**
连年生长	第一年	17.91**	7.83**
	第二年	19.60**	24.15**
2 a 净生长量	16.23**	8.88**	

注:F_{0.01}(10,30)=2.98。

3.2.2 湿地松肥效特点 湿地松肥效特点如下:(1)第二年肥效较第一年明显,地径、树高的总生长量和连年生长量 F 值均反映这个趋势。(2)施肥对各生长指标影响,总趋势顺序是地径、树高、冠幅,只有第二年连年生长量 F 值是例外,树高(24.15)大于地径(19.60), (3)造林

表 5 杉木造林施肥两年生长量与对照比较

处 理 (kg/hm ²)	树高(m、%)			地径(cm、%)		
	生长量	百分率	对照 (CK)	生长量	百分率	对照 (CK)
1. P ₂₅	2.14	124	0.42**	4.79	130	1.11**
10. P ₅₀ K ₅₀	2.12	123	0.40**	4.56	124	0.88**
11. N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀	2.07	120	0.35**	4.68	127	1.00**
8. N ₅₀ P ₅₀	2.07	120	0.35**	4.58	124	0.90**
9. P ₂₅ K ₅₀	2.04	119	0.32**	4.41	120	0.73*
2. P ₅₀	2.02	117	0.30**	4.33	118	0.65*
3. P ₁₀₀	2.00	116	0.28**	4.32	117	0.64*
7. N ₅₀ P ₂₅	1.99	116	0.27**	4.36	118	0.68*
5. K ₅₀	1.98	115	0.26**	4.13	112	0.45
4. N ₅₀	1.89	110	0.17	4.18	114	0.50
6. K ₁₀₀	1.85	108	0.13	3.90	106	0.22
12. CK	1.72	100		3.68	100	

注:P≈P₂O₅,K=K₂O;树高、地径 LSR_(0.05)=0.23、0.63,LSR_(0.01)=0.32、0.85。

表 7 湿地松林施肥 2 a 净生长量与对照(CK)比较

处 理 (kg/hm ²)	地径(cm、%)		树高(m、%)	
	生长量	百分率	生长量	百分率
N ₅₀ P ₅₀ K ₅₀	4.63**	184	1.51**	172
N ₅₀ P ₅₀	4.25**	169	1.53**	174
P ₅₀ K ₅₀	4.13**	165	1.51**	172
P ₂₅ K ₅₀	4.12**	164	1.42**	161
P ₂₅	4.01**	160	1.45**	165
P ₅₀	3.93**	157	1.43**	163
P ₁₀₀	3.76**	150	1.38**	157
#K ₅₀	2.77	110	0.98	111
#K ₁₀₀	2.63	105	0.98	111
CK	2.51	100	0.88	100
#N ₅₀	2.49	99	0.82	93
LSR _(0.05)		0.43		0.23
LSR _(0.01)		0.67		0.30

注:P≈P₂O₅,K=K₂O;#为第二年追肥处理。

当年施基肥的7个处理,肥效明显优于次年追肥的3个处理,与CK的差异均达极显著水平,而第二年追施K或N肥的2a净生长量几乎接近CK,其差异未达显著水平,N₅₀处理的2a净生长量,地径与树高均低于对照区。(4)P肥对湿地松效应明显,单施K、N肥效应不明显,N肥还出现负效应,降低造林成活率,但PN、PK和NPK结合处理有明显交互作用,均优于单施P处理。(5)P肥作基肥效应明显高于追肥,表8材料显示,虽然均较各自CK有极显著或显著差异,但增幅不同,地径增长量施基肥62%~67%,追肥22%~28%,树高增长量施基肥46%~48%,追肥18%~33%;经t检验,基肥与追肥效应之间差异达到t_{0.05}水平。(6)P₂₅效应优于P₅₀和P₁₀₀,表明每公顷施25kg P₂O₅对于湿地松2a生长量已经足够,对今后生长量影响有待继续研究。

表8 P肥作基肥与追肥对湿地松当年生长量的影响

处 理 (kg/hm ²)	基 肥 (1991-01)				追 肥 (1992-04)			
	地径(cm)	百分率(%)	树高(m)	百分率(%)	地径(cm)	百分率(%)	树高(m)	百分率(%)
P ₅₀	2.046**	167	0.484**	148	1.881**	128	0.777**	133
P ₁₀₀	1.980**	162	0.478**	146	1.797*	122	0.690*	118
CK	1.224	100	0.328	100	1.467	100	0.585	100
LSR _(0.05)	0.218		0.062		0.239		0.103	
LSR _(0.01)	0.338		0.096		0.371		0.137	

3.2.3 湿地松施肥增幅 施肥与对照差异极显著的处理,湿地松2a净生长量增加幅度如下:NPK处理地径增84%,树高增72%;PN或PK处理,地径增64%~69%,树高增61%~74%,单P处理地径增50%~60%,树高增57%~65%。与单施P处理相比,NPK处理地径高34~24个百分点,树高大15~7个百分点;PN或PK结合处理,地径高14~9个百分点,树高多4~9个百分点。

3.3 桉树施肥效应

3.3.1 尾叶桉肥效快而明显 定植时施肥6个月后,对幼林生长已有明显增长作用(表9),无P与无肥小区近似,表明P肥

表9 桉树林施肥极差值R与正交方差F值

项 目	R _N	R _P	R _K	F _P 值
树 高	0.83	9.1	0.5	129.19**
胸 径	1.57	12.3	1.3	94.69**

效应异常显著,到第二年效应更趋明显。正交直观分析极差值(R)表明,三个肥料因子主次排列顺序为P、N、K;正交方差分析F值表明,P肥对高与径均有极显著影响,而N、K均未达到显著水平。

3.3.2 施肥处理间差异极显著 近2a(19个月)试验表明,处理间差异极显著(表10),方差分析F值达到0.01水平。9个处理平均高与胸径多重比较检验表明,6个有P肥的N、K结合处理9、6、2、8、5、3与3个无P的处理7、4、1(CK)差异达到极显著水平。

表10 尾叶桉林施肥2a多重比较与处理间F值

处理	9	6	2	8	5	3	7	4	1	F值
树高(m)	4.83	4.83	4.46	4.47	4.40	4.36	1.77	1.74	1.40	26.21**
处理	9	5	6	2	8	3	4	7	1	F值
胸径(cm)	5.40	5.07	4.97	4.77	4.57	4.40	1.13	0.87	0.43	21.39**

3.3.3 尾叶桉施肥增幅 19个月尾叶桉施肥结果(表11)表明,树高与地径增幅近似,而胸径增幅要大得多,总趋势,径增长大于高增长的幅度。NPK全肥增幅大,处理9、5树高增加214%~245%,胸径增加1079%~1156%;有P的PN或PK结合处理6、2、8、3增幅也较大,

树高增加 212%~245%,胸径增加 923%~1 056%,无 P 的 NK 处理 4、7 增幅不大,树高增加 24%~26%,胸径增加 102%~163%;而在施肥后 6 个月,无 P 的 4 处理树高为 0.7 m,仅增 8%,7 处理为 0.63 m,低于对照区,表明 P 为限制尾叶桉生长的主要因子。NPK 全肥每公顷再施 10 t 猪粪处理,肥效增幅明显上升,19 个月尾叶桉树高增加 438%,胸径增加 2 636%,表明优质有机肥对桉树肥效十分明显。

4 结语与讨论

(1)杉木幼林 P 肥效应极显著,造林后 2 a 试验结果,以每公顷 25 kg P_2O_5 效应最好,树高增 24%,地径增 30%,但此仅为 2 a 短期结果,其持续效应有待继续观察,因 P 肥有持续效应。PK、NP 和 NPK 效应也明显,表明肥料元素间有交互作用,P 与 NK 组合效应中, P_{50} 优于 P_{25} 。单施 N 肥效应不明显,说明林地土壤中 N 素已能满足杉木幼林需求,上述结论与过去试验吻合^[1,2]。为降低造林成本,这类立地单施 P 肥即可。

(2)湿地松幼林 P 肥有极显著效应,PN、PK 效应更好,单施 N 或 K 肥效应不明显,N 甚至有负效应。2 a 效应表明,每公顷 50 kg N、50 kg P_2O_5 处理,树高增 74%,地径增 69%,50 kg P_2O_5 、50 kg K_2O 处理,树高增 72%,地径增 65%。尽管 NPK 结合施用效果最好,但考虑经济施肥,以前两个方案较好,适宜方案仍待继续观察。钙镁磷肥作基肥效应好于追肥。

(3)尾叶桉 19 个月试验表明,NPK 效应最明显,PN 与 PK 效应也显著,无 P 的 NK 处理增幅不大,近似对照。每公顷 100 kg N、100 kg P_2O_5 、50 kg K_2O 处理,树高增 245%,地径增 279%,胸径增 1 156%,造林当年应施足 NPK 基肥和追肥,以保证尾叶桉明显早期生长需求。澳大利亚试验表明,NP 混合肥对桉树生长最好,P 的效应大于 N^[6]。看来 P 是桉树主要肥料因子,而 K 在本试验中虽有一定附加作用,但并不很大。

(4)桉树需肥量大于针叶树杉、松,施肥效应与增幅亦明显高于后两个针叶树种。

人工林肥效研究十分复杂,一般情况下,肥效有阶段性,应分幼林、中龄林和近熟林三个阶段进行,幼林肥效持续期要受诸多因素影响,除施肥剂量外,还与林分密度、抚育管理、立地等因素密切相关,及时合理调控密度能使肥料发挥最大效应与效益,也能延长幼林施肥的后效持续期。

参 考 文 献

- 1 李贻铨,徐清彦,刘仲君,等.杉木幼林前五年施肥效应研究.土壤通报,1991,22(1):28~31.
- 2 杉木施肥试验课题协作组.杉木幼林施肥效应研究.见:盛炜彤主编.人工林地力衰退研究.北京:中国科学技术出版社,1992.198~211.
- 3 Pritchett W L,Smith W H. Forest fertilization in the U. S. Shoutheast. Forest Soils and Forest Land Management, Québec:Les Presses Dè L'Université Laval. 1975. 467~476.
- 4 Sarigumba T I. Fertilization of young pines on Georgia coastal plain soils, Southern Journal of Applied Forestry, 1978,2(2):38~41.

表 11 1.6 年生尾叶桉林平均生长量

处 理 (kg/hm ²)	树高(m,%)		地径(cm,%)		胸径(cm,%)	
	生长量	百分率	生长量	百分率	生长量	百分率
1. N ₀ P ₀ K ₀ (CK)	1.40	100	2.40	100	0.43	100
2. N ₀ P ₅₀ K ₅₀	4.47	319	8.67	361	4.77	1 109
3. N ₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	4.37	312	8.10	338	4.40	1 023
4. N ₅₀ P ₀ K ₅₀	1.74	124	3.07	128	1.13	263
5. N ₅₀ P ₅₀ K ₁₀₀	4.40	314	8.77	365	5.07	1 179
6. N ₅₀ P ₁₀₀ K ₀	4.83	345	8.27	345	4.97	1 156
7. N ₁₀₀ P ₀ K ₁₀₀	1.77	126	3.00	125	0.87	202
8. N ₁₀₀ P ₅₀ K ₀	4.47	319	7.70	321	4.57	1 063
9. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₅₀	4.83	345	9.10	379	5.40	1 256
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₅₀ +猪粪 10 000	7.10	538	11.64	439	7.66	2 736
CK(无肥区)	1.32	100	2.65	100	0.28	100

注:P≈ P_2O_5 ,K=K₂O。

- 5 林书蓉,廖观荣,韩锦花,等.桉树氮磷钾施肥效应研究初报.森林与土壤.北京:中国科学技术出版社,1992.287~293.
- 6 Cromer R N,Cameron D,Cameron J N,et al. Response of eucalypt species to fertiliser applied soon after planting at several sites. Australian Forestry,1981,44(1):3~13.

Two Years' Growth Response to Fertilization in Young *Cunninghamia lanceolata*, *Pinus elliottii*, and *Eucalyptus urophylla* Plantation

Li Yiquan Hong Shunshan Zhou Wenlong
Chen Daodong Hu Bingtang Wu Liumin

Abstract This paper reports the results of a two-year research on growth response to fertilization in young *Cunninghamia lanceolata*, *Pinus elliottii*, *Eucalyptus urophylla* plantations. For Chinese fir, the growth response was significant to the application of P, PK, NP and NPK, and the highest growth appeared in the treatment applied with 25 kg/hm² of P₂O₅, which resulted in an increase of 24% in height and 30% in basal diameter. The growth response of slash pine is remarkable to P, PN and PK. The height and basal diameter of slash pine were promoted by 74% and 69% by the application of 50 kg P₂O₅ + 50 kg N/hm², and 72% and 65% by the application of 50 kg P₂O₅ + 50 kg K₂O/hm². For *Eucalyptus urophylla*, the growth response was significant to treatments NPK, NP and NK with the highest growth increment in NPK, height increased by 245%, basal diameter by 279% and DBH by 1156% in treatment 100 kg N + 100 kg P₂O₅ + 50 kg K₂O/hm².

Key words *Cunninghamia lanceolata*, *Pinus elliottii*, *Eucalyptus urophylla*, young plantation, response to fertilization

Li Yiquan, Professor, Chen Daodong (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091); Hong Shunshan, Hu Bingtang (The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF); Zhou Wenlong (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF); Wu Liumin (The Experimental Center of Subtropical Forestry, CAF).