

文章编号: 1001-1498(2007)02-0251-06

## 配比施肥对南方红豆杉幼林生长的影响<sup>\*</sup>

金国庆<sup>1</sup>, 余启国<sup>2</sup>, 焦月玲<sup>1</sup>, 王月生<sup>2</sup>, 王 晖<sup>2</sup>, 周志春<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省淳安县林业局, 浙江 淳安 311700)

**摘要:**研究了配比施肥对 2 年生红豆杉幼林生长的影响。结果表明, 在土壤肥力中下, N、P 及有机质含量稍低的情况下, N、P、K 适当配比施肥能显著促进南方红豆杉生长, 但过量施肥, 则会抑制其生长。N、P、K 不同配比施肥对南方红豆杉幼林生长的影响差异显著, 施肥在抽梢长度、地径年生长量、分枝数和干物质积累(株干质量)上分别比 CK 高 33.14% ~ 80.77%、100.00% ~ 161.90%、11.81% ~ 47.17% 和 207.42% ~ 325.05%。试验设置的 15 个配比处理中, 以 7 号处理最佳, 12 号处理最差, 前者在上述 4 个生长性状上分别较后者高 47.63%、61.90%、35.36% 和 117.63%。P 素对南方红豆杉幼林生长影响最大, 缺 P 时增施 N 和 K 效果较差。N × P 互作效应显著, 配比施用 N、P 能显著促进南方红豆杉幼林生长。

**关键词:** 南方红豆杉; 配比施肥; 幼林生长

中图分类号: S791.49

文献标识码: A

## Effects of Combined Fertilization on Young Growth of *Taxus chinensis* var. *mairii*

JIN Guo-qing<sup>1</sup>, YU Qi-guo<sup>2</sup>, JIAO Yue-ling<sup>1</sup>, WANG Yue-sheng<sup>2</sup>, WANG Hui<sup>2</sup>, ZHOU Zhi-chun<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Forestry Bureau of Chun'an County, Zhejiang Province, Chun'an 311700, Zhejiang, China)

**Abstract:** The result showed that appropriate combined fertilization of N, P and K nutrition could obviously enhance the young growth of *Taxus chinensis* var. *mairii*, but excessive fertilizer would restrain the growth, in the case of medium or poor soil fertility, lower content of N, P and organic matter. There were significant differences among the effects of various combined fertilization of N, P and K on young growth. The sprout length, collar diameter growth, branch number and dry matter accumulation under fertilization were more than the CK by 33.14% ~ 80.77%, 100.00% ~ 161.90%, 11.81% ~ 47.17% and 207.42% ~ 325.05% respectively. Those four characteristics of 7th prescription, the best combination among 15 prescriptions, were more than that of 12th prescription, the worst one, by 47.63%, 61.90%, 35.36% and 117.63% respectively. P nutrition had the most important effect on *T. chinensis* var. *mairii* growth. The effect was poor to add the amount of N and K when the soil was lack of P. The interaction between N and P was significant and the combined fertilization could obviously promote the growth of *T. chinensis* var. *mairii*.

**Key words:** *Taxus chinensis* var. *mairii*; combined fertilization; growth of young stands

南方红豆杉 (*Taxus chinensis* var. *mairii* (Le-mee et al.) Cheng et al. K. Fu) 又称美丽红豆杉, 是一种白垩纪子遗树种, 为国家一级重点保护野生植物, 是红豆杉属 (*Taxus* L.) 中我国特有的高价值

收稿日期: 2006-05-22

基金项目: 国家林业局重点科技推广项目“南方红豆杉短周期药用林高产栽培示范”(〔2005〕74号)

作者简介: 金国庆(1963—), 男, 浙江慈溪人, 副研究员, 主要从事林木遗传改良与培育研究。

<sup>\*</sup>中国林科院亚林所饶龙兵、李因刚, 淳安县林业局余琳、余胜生、洪桂木、余宇婷、方亲仁等参加了部分工作, 谨致谢忱。

常绿珍稀乔木树种<sup>[1]</sup>,广布于我国两广北部亚热带山地至山西东南部海拔 600~1 200 m 的山地<sup>[2]</sup>。自 20 世纪 70 年代美国科学家 Wani 等<sup>[3]</sup>从短叶红豆杉 (*Taxus brevifolia* Nutt) 树皮中提取天然抗癌药物——紫杉醇 (Taxol) 以来,红豆杉属的药用价值便引起了世人的高度重视。由于南方红豆杉树冠优美,材质坚硬、水湿不腐,其成为集观赏、材用、药用于一身的珍贵树种。然而,由于该物种在自然界中多以偶见种形式存在,其自然繁殖更新能力较弱,加之长期以来被作为严重砍伐的对象,使该物种的现存数量越来越少<sup>[4,5]</sup>。因此,如何保护、开发和利用南方红豆杉资源,实现紫杉醇产业的可持续发展,已成为亟需解决的重要课题<sup>[6]</sup>。

虽然南方红豆杉在我国南方 10 多个省(区)均有分布,但现存自然资源已十分稀少,加上天然资源生长缓慢,因此只有通过大量人工栽培才能满足目前市场所需和紫杉醇产业化发展。近年来,各地大力发展南方红豆杉生产,其发展规模是前所未有的。国内外对南方红豆杉的研究虽已做了大量工作,但多在形态解剖学、植物生理生化及临床上应用等方面开展研究,而人工林高产栽培技术相关的研究甚少<sup>[7,8]</sup>。施肥是调节土壤养分条件,促进林木生长,提高林产品产量与质量的重要栽培技术措施<sup>[9]</sup>。对南方红豆杉施肥方面的研究至今仅见郭祥泉等<sup>[10,11]</sup>对 1 年生容器苗的施肥效应,李延群<sup>[12]</sup>对 1 年生实生苗根外追肥的影响等文献报道,尚未涉及针对 3~4 年生收获的短周期药用林培育的相关技术研究。为了了解施肥对南方红豆杉幼林生长的影响,作者于 2005 年开展了此项研究,以期对南方红豆杉人工林的培育管理,尤其是养分管理提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与试验设计

试验地设在浙江省淳安县富溪林场,地处 119° 03' E, 29° 37' N, 海拔 120 m, 年平均气温 17.10℃, 年积温为 5 410℃, 年降水量 1 430 mm, 年日照 1 951 h。试验地为沙壤土,未施肥 (CK) 0~20 cm 土层养分情况为全 N 1.79 g·kg<sup>-1</sup>,有效 N 90.90 mg·kg<sup>-1</sup>,全 P 0.78 g·kg<sup>-1</sup>,有效 P 35.91 mg·kg<sup>-1</sup>,有效 K 336.98 mg·kg<sup>-1</sup>,有机质 2.93 g·kg<sup>-1</sup>,土壤 pH 值 4.31,肥力中偏低。

供试材料是 2 年生南方红豆杉幼林,施肥前各

处理的树高、地径、新梢长度和分枝数分别为 47.5~52.8 cm、0.72~0.89 cm、0.7~2.1 cm 和 19.6~24.9 枝,平均分别为 49.07 cm、0.81 cm、1.25 cm 和 22.25 枝。2005 年 4—11 月进行了 3 因素 5 水平二次回归正交施肥试验设计,共设 20 个处理,每个处理小区 30 株。选用 L<sub>8</sub>(2<sup>7</sup>) 正交表,零水平重复 6 次,试验的因子水平编码表<sup>[13,14]</sup>见表 1。

表 1 二次回归正交设计的编码与用量

编码	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
	(g·株 <sup>-1</sup> )	(kg·hm <sup>-2</sup> )	(g·株 <sup>-1</sup> )	(kg·hm <sup>-2</sup> )	(g·株 <sup>-1</sup> )	(kg·hm <sup>-2</sup> )
-r	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-1	9.3	145.3	6.2	96.9	7.7	120.3
0	27.0	421.9	18.0	281.3	22.5	351.6
1	44.7	698.4	29.8	465.6	37.3	582.8
r	54.0	843.8	36.0	562.5	45.0	703.1
	17.7	276.6	11.8	184.4	14.8	231.3

试验林株行距为 80 cm × 80 cm, 树木梅花型错位排列。试验所用肥料为尿素 (N 465 g·kg<sup>-1</sup>)、过磷酸钙 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 g·kg<sup>-1</sup>)、氯化钾 (K<sub>2</sub>O 600 g·kg<sup>-1</sup>), 过磷酸钙在第 1 次施肥时一次性施入, 尿素和氯化钾分 3 次施入, 每次各施三分之一, 3 次施肥时间分别在 4 月 24 日、6 月 8 日和 8 月 18 日。施肥方式采用行间沟施, 沟深 10~15 cm, 沟宽 20~25 cm, 施后及时覆土。试验林在 5—10 月间用 50% 透光度农用遮荫网覆盖, 其他管抚措施同一般生产性幼林。

### 1.2 试验调查及统计分析

调查结合每次施肥进行, 4 月第 1 次施肥时测量地径、树高、分枝数和新梢长度, 6 月和 8 月第 2 次施肥时分别测量抽梢长度, 11 月下旬全面调查地径、树高、抽梢长度和分枝数等, 同时根据各处理的地径和树高平均值, 每个处理选择 3 株平均木进行生物量测定。统计分析前, 先进行数据有效性审核, 剔除少量特异数据, 对分枝数经 X<sup>1/2</sup> 数据转换, 性状多项式趋势面 (回归) 分析及方差分析等采用 SAS/GLM 软件<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 二次多项式回归分析

通过建立南方红豆杉主要生长性状与 N、P、K 营养的二次多项式回归模型, 进行施肥对南方红豆杉主要生长性状的影响因素分析, 揭示 N、P、K 配比施肥对南方红豆杉生长的影响规律。在性状回归分析过程中, 通过逐个剔除回归方程中回归系数最不

显著的项后进行不断拟合,拟合结果各性状均无理想回归方程,不能由此来直接预测相应的生长量,更不能推出各性状的 N、P、K 最佳营养配比。为了说

明 N、P、K 不同营养对比对各生长性状的影响趋势,表 2 列出了各性状三元二次回归方程的完全模型,在此加以分析。

表 2 生长性状与 N、P、K 营养元素的二次多项式回归分析结果

因变量	常数项	N	P	K	NP	NK	PK	N <sup>2</sup>	P <sup>2</sup>	K <sup>2</sup>	
抽梢长度 /cm	回归系数	38.706 75	0.445 31	1.074 14	0.780 58	0.008 75	-0.002 20	-0.010 88	-0.011 08	-0.030 44	-0.009 65
	$Pr >  t $	0.000 2	0.216 9	0.068 3	0.090 4	0.334 2	0.751 6	0.317 2	0.119 2	0.068 4	0.313 7
地径年生 长量 /cm	回归系数	0.539 06	0.012 18	0.027 78	0.015 67	0.000 09	-0.000 03	-0.000 21	-0.000 26	-0.000 71	-0.000 22
	$Pr >  t $	0.005 6	0.209 0	0.076 3	0.182 2	0.715 1	0.885 6	0.458 3	0.168 8	0.100 2	0.387 7
分枝数 /枝	回归系数	12.454 75	0.040 42	0.207 88	0.160 33	0.004 26	-0.000 83	-0.003 39	-0.001 57	-0.006 11	-0.001 14
	$Pr >  t $	<0.000 1	0.510 5	0.053 4	0.060 1	0.028 9	0.513 0	0.106 5	0.201 1	0.047 5	0.493 7
株干质量 /g	回归系数	76.685 91	3.249 04	6.003 44	4.423 54	0.027 76	-0.013 31	-0.047 92	-0.062 28	-0.158 84	-0.061 51
	$Pr >  t $	0.037 4	0.146 6	0.085 8	0.107 4	0.601 1	0.751 5	0.456 5	0.141 9	0.103 8	0.289 9

注:表中 N、P、K 分别是指 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的用量,单位均为 g·株<sup>-1</sup>。

2.1.1 N、P、K 营养元素对南方红豆杉树高生长的影响 这里用抽梢长度反映树高生长情况,从表 2 回归分析结果发现,影响因变量抽梢长度的主要自变量是 P,其回归系数最大,为 1.074 14,其次是 K,回归系数为 0.780 58,两者回归系数达 0.10 显著性水平,说明施 P 或施 K 均能明显促进抽梢长度,但 P 与 K 的二次项回归系数均为负值,并且前者的回归系数达 0.10 显著性水平,表明施入过多的 P 或 K 会抑制树高生长,尤其是 P 的影响。N 肥虽也有这种倾向,但影响不显著。NP、NK、PK 交互项回归系数都较小,表明对树高生长影响较小。

2.1.2 N、P、K 营养元素对南方红豆杉地径年生长量的影响 与树高生长相似,对南方红豆杉地径年生长量影响最大的营养元素也是 P,达 0.10 显著水平,其次为 K,N 的影响最小。N、P、K 的一次项回归系数均为正值,表明 3 种营养施肥均能促进地径生长。二次项各回归系数均为负,但其值未达显著水平,表示施肥量过多会有抑制地径生长的影响。交互项回归系数最小,对地径生长的影响可忽略不计。

2.1.3 N、P、K 营养元素对南方红豆杉分枝生长的影响 N、P、K 营养元素对南方红豆杉分枝生长的影响类似于抽梢长度,影响强度为 P>K>N,其中 P 与 K 的回归系数都大于 0.10 显著水平,施用这两种肥料能显著增加分枝数,然而其二次项系数均为负值,表明过量施肥不利于分枝形成,尤其是施入过量 P 肥会明显影响分枝数。NP 的回归系数达 0.05 显著水平,且为正值,说明 N 与 P 配比施肥能显著增加分枝数。NK 的回归系数为负值,接近 0.10 的回归显著性,说明在本试验中 N 与 K 的配比施肥,似乎会影响分枝的形成。

2.1.4 N、P、K 营养元素对南方红豆杉干物质积累的影响 N、P、K 营养元素对南方红豆杉干物质积累(株干质量)的影响与对地径生长的影响一致,P 的影响最大,达 0.10 显著水平,其次为 K,N 的影响最小,适当施用这 3 种营养元素均会提高南方红豆杉干物质积累,各营养元素的二次项回归系数均为负值,说明施入过多不利于单株生物产量积累。各交互项回归系数最小,其对干物质积累的影响也最小。

## 2.2 方差分析

由于南方红豆杉各生长性状对 N、P、K 营养元素的二次多项式回归模型拟合不够理想,由此不能得出南方红豆杉幼林施肥的 N、P、K 最佳配比。为了进一步了解南方红豆杉的配比施肥效应,这里用多因素方差分析法剖析 N、P、K 营养元素对南方红豆杉生长的影响。

### 2.2.1 不同配比施肥对南方红豆杉生长的影响

在分析施肥效应之前,首先对参试本底材料进行方差分析,结果表明苗高、地径、分枝数和新梢长度各主要生长性状在处理间均无显著差异,说明供试南方红豆杉在试验开始时不同施肥处理间均无明显生长差异。

方差分析结果表明,抽梢长度、地径年生长量、分枝数及单株干物质积累量(株干质量)4 个性状在施肥处理间均有极显著差异,说明不同配比施肥对南方红豆杉高、径生长及侧枝数增加都有较大影响,从而影响到生物产量(干物质积累量)。进一步多重比较发现,不施肥对照(CK)的各性状值明显小于所有施肥处理(分枝数个别处理除外),说明施肥能明显促进南方红豆杉生长。其中处理 7(每株施 N

9.3 g, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6.2 g, K<sub>2</sub>O 37.5 g)效果最好,处理 12 (每株施 N 27.0 g, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.0 g, K<sub>2</sub>O 22.5 g)效果最差,施肥在树高(抽梢长度)、地径年生长量、分枝数和单株干物质积累(株干质量)上分别比 CK 高

33.14%~80.77%、100.00%~161.90%、11.81%~47.17%和 207.42%~325.05%,N、P、K各配比施肥中最好处理比最差处理各性状分别高 47.63%、61.90%、35.36%和 117.63%,详见表 3。

表 3 不同 N、P、K 配比施肥的南方红豆杉生长量比较

处理号	抽梢长度/cm			地径年生长量/cm			分枝数/枝			株干质量/g		
	平均值	>CK/%	显著性	平均值	>CK/%	显著性	平均值	>CK/%	显著性	平均值	>CK/%	显著性
7	65.13	80.77	a	1.10	161.90	a	17.94	47.17	a	217.54	325.05	a
15	62.63	73.83	ab	1.02	142.86	ab	17.63	44.63	ab	212.29	314.79	ab
8	59.56	65.31	abc	1.10	161.90	a	15.75	29.20	abc	213.15	316.47	ab
13	56.84	57.76	bcd	0.99	135.71	abc	16.94	38.97	ab	194.58	280.19	abc
14	55.78	54.82	cd	0.98	133.33	abc	15.81	29.70	abc	179.33	250.39	abc
3	55.66	54.48	cd	0.91	116.67	bc	16.13	32.32	abc	186.03	263.48	abc
1	54.78	52.04	cd	0.97	130.95	abc	17.13	40.53	ab	197.44	285.78	abc
11	54.74	51.93	cd	0.89	111.90	bc	16.33	33.96	ab	176.25	244.37	abc
9	53.44	48.32	cde	0.93	121.43	bc	15.88	30.27	abc	176.14	244.16	bc
2	52.91	46.85	cde	0.87	107.14	bc	17.56	44.05	ab	181.32	254.28	abc
10	52.84	46.66	cde	0.89	111.90	bc	15.75	29.20	abc	169.57	231.32	c
6	52.75	46.41	de	0.96	128.57	abc	14.94	22.56	bcd	175.59	243.08	bc
5	52.06	44.49	de	0.87	107.14	bc	14.63	20.02	bcd	165.12	222.63	c
4	51.06	41.72	de	0.88	109.52	bc	14.94	22.56	bcd	176.97	245.78	abc
12	47.97	33.14	e	0.84	100.00	c	13.63	11.81	cd	157.34	207.42	c
CK	36.03	0.00	f	0.42	0.00	d	12.19	0.00	d	51.18	0.00	d

注:表中小写字母不同表示差异显著(P=0.05),表 5 同。

2.2.2 N、P、K 营养元素对南方红豆杉生长影响的方差分析 为了进一步揭示 N、P、K 不同营养元素对南方红豆杉生长的影响,对各影响因素作进一步方差分析,结果列于表 4。方差分析结果显示,N 对抽梢长度与地径年生长量的影响达极显著与显著水平,对当年分枝数与单株干物质积累量(株干质量)无显著影响。P 对南方红豆杉生长影响最大,对抽梢长度、地径年生长量、分枝数和株干质量均有显著

或极显著作用,尤其是对抽梢长度的影响达 0.000 1 显著水平。K 对南方红豆杉生长的影响较小,仅对抽梢长度达 0.10 显著水平。另外,N×P 对各生长性状效应极其显著,除株干质量显著外,抽梢长度等其他 3 个性状均达 0.01 极显著水平,说明 N 与 P 的互作能显著影响南方红豆杉的生长。此外,N×K、P×K、N×P×K 互作效应不显著,表明对南方红豆杉生长均无明显影响。

表 4 N、P、K 对南方红豆杉生长影响的方差分析结果

变异来源	抽梢长度		地径年生长量		分枝数		株干质量	
	F	Pr>F	F	Pr>F	F	Pr>F	F	Pr>F
N	5.01	0.002 2	3.15	0.025 8	0.73	0.532 1	1.89	0.151 9
P	8.60	< 0.000 1	3.20	0.024 2	2.77	0.042 1	3.66	0.022 4
K	2.44	0.065 0	0.10	0.957 3	0.75	0.521 4	0.96	0.423 3
N×P	9.20	0.002 7	6.74	0.010 0	7.25	0.007 6	6.89	0.013 3
N×K	0.05	0.816 8	1.99	0.159 8	0.08	0.781 7	0.57	0.455 8
P×K	1.70	0.193 0	0.02	0.898 1	1.58	0.210 2	0.03	0.862 2
N×P×K	0.26	0.607 8	0.97	0.325 4	0.14	0.707 8	0.28	0.603 2

2.2.3 N、P、K 单营养元素对南方红豆杉生长的影响 表 5 对 N、P、K 单营养元素的多重比较得知,就抽梢长度来说,N 肥用量每株 9.3 g 最好,其平均值显著高于每株施 N 肥 44.7、54.0 g 和不施 N 肥,其次依次为每株施 N 肥 27.0、44.7 和 54.0 g,它们均显著高于不施 N 肥者。P 肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)用量为每株 6.2

g 效果最好,其抽梢长度明显高于每株施 P 肥 29.8 g 与不施者,其余 3 种 P 肥用量的抽梢长度也均明显高于不施者,但 3 种用量间对抽梢长度无明显差异。K 肥(K<sub>2</sub>O)不同用量间抽梢长度生长量无明显差异,但均显著高于不施 K 肥者。

表 5 N、P、K 元素不同用量的生长差异比较

性状	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
	用量 / (g·株 <sup>-1</sup> )	显著性	用量 / (g·株 <sup>-1</sup> )	显著性	用量 / (g·株 <sup>-1</sup> )	显著性
抽梢长度	9.3	a	6.2	a	37.3	a
	27.0	ab	18.0	ab	45.0	a
	44.7	b	36.0	ab	22.5	a
	54.0	b	29.8	b	7.7	a
	0.0	c	0.0	c	0.0	b
地径年生长量	9.3	a	6.2	a	45.0	a
	27.0	a	18.0	ab	37.3	a
	54.0	ab	29.8	b	7.7	a
	44.7	ab	36.0	b	22.5	a
	0.0	c	0.0	c	0.0	b
分枝数	44.7	a	36.0	a	45.0	a
	27.0	a	18.0	a	37.3	a
	9.3	a	6.2	a	22.5	a
	54.0	ab	29.8	a	7.7	ab
	0.0	b	0.0	b	0.0	b
株干质量	9.3	a	6.2	a	45.0	a
	44.7	a	18.0	a	37.3	a
	27.0	a	29.8	a	7.7	a
	54.0	a	36.0	a	22.5	a
	0.0	b	0.0	b	0.0	b

就地径年生长量而言, N 肥用量每株施 9.3 g 与 27.0 g 最好, 不同施肥用量对地径生长差异不大, 但明显大于不施肥者。P 肥用量每株施 6.2 g 最佳, 其地径年生长量明显高于其他处理, 其他 3 种施肥处理间地径年生长量无显著差异, 但均显著大于不施肥者。K 肥不同用量对地径年生长量虽无差异, 但比不施者有明显效果。

对新发侧枝数 (分枝数) 来讲, N 肥除每株施 54.0 g 外, 其他 3 种用量施肥均比不施者有更多的分枝数, 说明单施 N 肥时用量不能太多。单施 P 肥与不施者虽有明显提高, 但不同用量间均无明显差异。单施 K 肥除了每株 7.7 g 与不施者无显著差异外, 其他 3 种用量的分枝数均明显多于不施 K 肥者, 而 4 种不同 K 肥用量间对分枝数的影响差异不大。

对南方红豆杉干物质积累量 (株干质量) 而言, 单施 N 或 P 或 K 的株干质量均显著高于不施肥者, 但不同用量处理间的株干质量无明显差异, 说明适量施肥能显著促进干物质积累量, 过量施肥不利于生长。

2.2.4 N、P、K 双元素配比施肥对南方红豆杉生长的影响 N、P、K 双元素不同配比施肥的生长差异比较表明 (表 6), 抽梢长度、地径年生长量和株干质量 3 个生长性状的最佳 N 与 P 组合为 N 9.3 g·株<sup>-1</sup> + P 6.2 g·株<sup>-1</sup>, 最差为 N 27.0 g·株<sup>-1</sup> + P 0.0 g·株<sup>-1</sup>, 说明 N 与 P 配比施肥有利于促进这些性状生长, 而单独施 N 虽与不施者有更高生长量, 但均小于 N 与 P 各种配比施肥, 其单施效果较差。从分枝数来

看, N 44.7 g·株<sup>-1</sup> + P 29.8 g·株<sup>-1</sup> 的施肥组合效果最好, 单施 N 的效果最差, 而不施肥者则更差。

表 6 N、P、K 双元素不同配比施肥的生长差异比较

	两种营养组 合 / (g·株 <sup>-1</sup> )		抽梢长 度 / cm	地径年生 长量 / cm	分枝数 / 枝	株干质 量 / g
	N + P	0.0	0.0	36.03	0.42	12.19
0.0		18.0	52.84	0.89	15.75	169.57
9.3		6.2	62.34	1.10	16.85	215.35
9.3		29.8	52.41	0.91	14.79	170.36
27.0		0.0	47.97	0.84	13.63	157.34
27.0		18.0	58.42	1.00	16.79	195.40
27.0		36.0	54.74	0.89	16.33	176.25
44.7		6.2	53.36	0.90	15.54	181.50
44.7		29.8	53.84	0.92	17.35	189.38
54.0		18.0	53.44	0.93	15.88	176.14
N + K	0.0	0.0	36.03	0.42	12.19	51.18
	0.0	22.5	52.84	0.89	15.75	169.57
	9.3	7.7	56.16	1.03	15.35	194.37
	9.3	37.3	58.59	0.98	16.29	191.33
	27.0	0.0	55.78	0.98	15.81	179.33
	27.0	22.5	55.11	0.92	15.86	181.96
	27.0	45.0	56.84	0.99	16.94	194.58
	44.7	7.7	51.98	0.87	16.25	179.15
	44.7	37.3	55.22	0.94	16.63	191.74
	54.0	22.5	53.44	0.93	15.88	176.14
P + K	0.0	0.0	36.03	0.42	12.19	51.18
	0.0	22.5	47.97	0.84	13.63	157.34
	6.2	7.7	55.31	0.99	15.35	195.06
	6.2	37.3	60.39	1.00	17.04	201.79
	18.0	0.0	55.78	0.98	15.81	179.33
	18.0	22.5	56.30	0.94	16.42	186.00
	18.0	45.0	56.84	0.99	16.94	194.58
	29.8	7.7	52.83	0.91	16.25	178.46
	29.8	37.3	53.42	0.92	15.88	181.28
	36.0	22.5	54.74	0.89	16.33	176.25

N 与 K 的各种配比施肥在抽梢长度等各生长性状中均好于不施肥者, 说明配比施肥对南方红豆杉生长均有一定效果。但是不同配比施肥其效果不一, 其中 N 9.3 g·株<sup>-1</sup> + K 37.3 g·株<sup>-1</sup> 组合施肥有利于树高生长 (抽梢长度), N 9.3 g·株<sup>-1</sup> + K 7.7 g·株<sup>-1</sup> 组合施肥较利于地径生长, N 27.0 g·株<sup>-1</sup> + K 45.0 g·株<sup>-1</sup> 组合施肥更利于分枝生长和干物质积累。

同样, P 与 K 的各种配比施肥在抽梢长度等各生长性状中都好于不施肥者, 说明其施肥对南方红豆杉生长均有一定效果。其中 P 6.2 g·株<sup>-1</sup> + K 37.3 g·株<sup>-1</sup> 的组合施肥在抽梢长度、地径年生长量、分枝数和株干质量等各生长性状上效果最优, P 0.0 g·株<sup>-1</sup> + K 22.5 g·株<sup>-1</sup> 的组合施肥在各生长性状上表现最差 (表 6)。

2.2.5 N、P、K 三元素配比施肥对南方红豆杉生长的影响 从 15 种不同 N、P、K 配比施肥的南方红豆杉生长量比较得出, 抽梢长度、地径年生长量、分枝

数和株干质量等各生长性状的最佳施肥处理是 7 号,其 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和 K<sub>2</sub>O 的配比分别为 9.3、6.2 和 37.3 g·株<sup>-1</sup>,最差施肥处理是 12 号,其 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和 K<sub>2</sub>O 的配比分别为 27.0、0.0 和 22.5 g·株<sup>-1</sup>,说明在缺 P 的情况下增施 N 与 K 肥,其效果较差。

### 3 结论与讨论

方差分析及多重比较显示,N、P、K 不同配比施肥对南方红豆杉生长影响差异很大,最好的 7 号处理,其 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和 K<sub>2</sub>O 的配比分别为 9.3、6.2 和 37.3 g·株<sup>-1</sup>,最差的 12 号处理,其 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和 K<sub>2</sub>O 的配比分别为 27.0、0.0 和 22.5 g·株<sup>-1</sup>,前者在抽梢长度、地径年生长量、分枝数和株干质量上分别比后者高 47.63%、61.90%、35.36% 和 117.63%。所有施肥处理的各生长性状均显著高于不施肥的 CK,其在抽梢长度、地径年生长量、分枝数和单株干物质积累量(株干质量)上分别比 CK 高 33.14%~80.77%、100.00%~161.90%、11.81%~47.17% 和 207.42%~325.05%,表明施 N、P、K 肥均能显著提高南方红豆杉生长。不同配比施肥对南方红豆杉生长的影响有显著差异,在缺 P 的情况下增施 N 肥和 K 肥,其效果较差。N、P、K 施肥对南方红豆杉生长的影响大小为 P>N>K,此外,N×P 交互效应显著,两者配比施用能显著影响抽梢长度、分枝数和地径年生长量等,因此 N 与 P 适量配比施用能明显促进南方红豆杉生长。

二次多项式回归分析结果表明,N、P、K 营养对南方红豆杉抽梢长度、地径年生长量、分枝数和单株干物质积累量等各生长性状的影响非常类似,从自变量一次项回归系数大小可知,P 影响最大,K 次之,N 最小,这一结果与刘水娥等对马占相思(*Acacia mangium* Willd.) 苗期的研究一致<sup>[16]</sup>,但与方差分析结果不完全一致,其原因可能与二次回归正交设计除了含有一次项、交互项外,还有各元素的二次项影响。所有一次项回归系数均为正值,表明施 N 或施 P 或施 K 均能促进其生长,尤其施 P 能产生显著效果,这与试验地有效 P 含量过低有关。二次项回归系数均为负值,表示施肥量过多时均会抑制其生长。交互项除了分枝数对 NP 的回归系数达 0.05 显著水平,说明 N 与 P 配比施肥可明显促进当年分枝数外,其余回归系数都未达显著程度,表明它们对相应的因变量性状无明显影响。

本试验研究结果表明,在土壤肥力中下,N、P 及

有机质含量偏低的情况下,N、P、K 配比施肥均能明显提高南方红豆杉生长,但施肥量超过一定量后,则不利于其生长,这种现象在山桧皮(*Edgeworthia chrysantha* Lindl.) 等树种中也有出现<sup>[17]</sup>,其原因非常复杂,但主要是由土壤营养状况和林木对养分的生理需求决定。此外,过多肥料施入土壤时,肥料可能会碰到施肥沟内的一些须根,这样就会灼伤根系,影响树木生长,严重时甚至会使树木死亡,这种现象应该尽量避免。

### 参考文献:

- [1] 福建植物志编写组. 福建植物志(第一卷)[M]. 福州:福建科学技术出版社, 1982: 320~321
- [2] 郑万钧,傅立国. 中国植物志(第七卷)[M]. 北京:科学出版社, 1978: 438
- [3] Wani M C, Taylor H L, Wall M E, et al. Plant antitumor agents V I. The isolation and structure of taxol, a novel antileukemic and antitumor agent from *Taxus brevifolia* [J]. Journal of American Chemical Society, 1971, 93(9): 2 325~2 327
- [4] 王昌腾. 浙江省野生南方红豆杉资源现状及开发利用[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(4): 622~623
- [5] 潘标志. 福建省南方红豆杉产业发展对策研究[J]. 福建林业科技, 2004, 31(2): 100~103
- [6] 陈友土. 南方红豆杉资源可持续保护、发展、利用的实践与探索[J]. 中国林业产业, 2005(12): 38~40
- [7] 焦月玲,周志春,金国庆,等. 6 个南方红豆杉种源苗期和幼龄生长差异[J]. 林业科学研究, 2005, 18(5): 636~640
- [8] 茹文明,张金屯,张桂萍,等. 濒危植物南方红豆杉的研究进展[J]. 长治学院学报, 2005, 22(5): 16~20
- [9] 苏建荣,邓疆,罗香,等. 元宝槭幼树施肥研究 I 不同施肥处理对生长与构型的影响[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 147~152
- [10] 郭祥泉. 南方红豆杉苗木不同生长期和施肥措施的养分动态分析[J]. 福建林业科技, 2001, 28(4): 18~21
- [11] 郭祥泉,方兴添,李玉蕾,等. 南方红豆杉实生容器苗施肥效果探讨[J]. 福建林学院学报, 2000, 20(2): 175~177
- [12] 李延群. 根外追肥对南方红豆杉一年生苗木生长的影响[J]. 福建林业科技, 2005, 32(4): 95~101
- [13] 续九如,黄智慧. 林业试验设计[M]. 北京:中国林业出版社, 1995: 130~144
- [14] 韩秀慧,尹伟伦,王华芳. 二次回归正交设计在微型月季组织培养中的应用[J]. 林业科学, 2004, 40(4): 189~192
- [15] 彭昭英. SAS 系统应用开发指南[M]. 北京:北京希望电子出版社, 2000
- [16] 刘水娥,张芳秋,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
- [17] 方向华,罗发达,郑英茂,等. 山桧皮山地造林施肥技术研究[J]. 林业科技开发, 2002, 16(4): 21~23