

## 杉木中龄林施肥效应探讨\*

李贻铨 陈道东 纪建书  
李瑞成 区晋祥 黄罗华

**摘要** 亚热带丘陵黄红壤区杉木中龄林间伐后4年施肥试验表明,施肥当年效应不明显,第2、第3年N肥效应极显著。在蓄积量和胸径增长上,P肥有效、K肥效应低。树高对施肥反应不明显。P、K肥单施效应低于N、NP和NPK肥。两次施肥,每次施尿素 $263\text{ kg/hm}^2$ 或尿素 $263\text{ kg/hm}^2$ +钙镁磷肥 $503\text{ kg/hm}^2$ ,胸径净生长量增加 $36\%\sim 48\%$ ,蓄积净生长量增加 $32\%\sim 48\%$ ,投入产出比为 $1:3.75\sim 3.78$ 。大、中径木肥效明显高于小径木。施肥前林分本底值对林木生长有极显著影响,干扰肥效,施肥前对林分进行下层疏伐,将本底值调整到同一水平进行分析检验,提高肥效。

**关键词** 杉木、中龄林、施肥效应、黄红壤

杉木(*Cunninghamia lanceolata* Hook.)中龄林施肥能提高林木生长量和单位面积产值,并缩短轮伐期,与其他营林措施结合,可使人工林生态系统内养分循环趋于合理。Prichett<sup>[1]</sup>报道,在矿质土壤上成林施N肥可提高中期及后期采伐量。杉木人工林速生阶段(9~12 a),林冠生物量比例最大,林木生理功能旺盛,对N、P、K、Ca和Mg的摄取都很迅速。每生产一吨干物质需要的常量营养元素,速生阶段为 $9.11\text{ kg}$ ,干材阶段(14~18 a)为 $5.82\text{ kg}$ ,成、过熟阶段(25~38 a)为 $5.67\sim 5.45\text{ kg}$ <sup>[2]</sup>。杉木林在中龄速生阶段形成单位干物质所需的养分量明显高于后三个阶段,是养分需求较迫切阶段,适时合理施肥,将为林分主伐时高产奠定基础。

### 1 试验地基本情况

试验地位于江西省分宜县,为武功山支脉大岗山主脊附近的低山丘陵,海拔 $340\sim 420\text{ m}$ ,1988~1990年平均年降水量 $1669.1\text{ mm}$ ,平均温 $17.9\text{ }^\circ\text{C}$ ,该区属于杉木中带东区闽浙赣低山丘陵亚区<sup>[3]</sup>。

土壤属山地黄红壤,发育于粉砂质板岩风化物,为坡积和残积砾质壤土母质,土层(A+B)厚 $77\sim 135\text{ cm}$ ,腐殖质层(A+AB)厚 $34\sim 40\text{ cm}$ ,相当16地位指数。土壤呈酸性反应,盐基高度不饱和,速效P含量极低。全N与有机质含量,相当于全国土壤养分含量分级中3~

1991-09-27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),纪建书,李瑞成,区晋祥,黄罗华(中国林业科学研究院亚热带林业实验中心)。

\*本研究是“七五”国家攻关专题“杉木人工林集约栽培技术研究”内容之一,参加人还有刘仲君、李旭明、姚茂和、黄团生、周慧、刘沈萍、朱虹承担部分土样分析工作。

表1 试验地本底土壤理化性质

区组	层次 (cm)	pH	速效养分(ppm)			全量养分(%)			有机质			交换性盐基(cmol/kg)			盐基饱和度(%)	活性Fe (mg/100g)	<0.01mm 粘粒(%)	质地
			N(碱解)	P	K	N	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>						
I	1~5	4.60	267.5	1.55	145.6	0.26	0.016	1.49	2.93	0.39	0.01	0.05	0.02	5.28	157.67	49.23	重壤	
	5~15	4.62	204.2	1.03	84.6	0.15	0.012	1.26	3.78	0.47	0.21	0.02	0.03	10.00	116.11	50.12	重壤	
	15~60	4.81	29.9	0	60.9	0.09	0.012	1.64	1.03	0.28	0.05	0.02	0.03	6.87	53.24	45.86	重壤	
II	1~12	4.51	174.7	2.17	130.3	0.17	0.011	0.98	5.27	0.28	0.07	0.04	0.04	2.53	84.93	45.08	重壤	
	12~55	4.79	38.0	0.51	53.5	0.11	0.010	1.21	1.22	0.07	0.11	0.02	0.04	3.70	73.53	51.62	重壤	
	55~100	4.77	19.0	0.82	53.5	0.04	0.009	1.14	0.69	0.06	0.07	0.01	0.03	2.94	53.32	50.45	重壤	
III	100~125	4.81	2.7	1.59	53.3	0.04	0.009	0.97	0.39	0.08	0.02	0.01	0.03	2.88	47.99	48.81	重壤	
	1~35	4.83	137.7	4.19	211.8	0.21	0.016	1.14	3.30	0.52	0.10	0.03	0.03	11.69	63.17	36.40	中壤	
	35~60	4.94	10.8	1.11	45.2	0.06	0.013	1.06	0.66	0.13	0.11	0.01	0.02	6.51	34.55	32.57	中壤	
	60~100	5.50	2.7	1.11	60.2	0.03	0.010	0.92	0.41	0.11	0.18	0.02	0.04	9.19	33.04	24.39	轻壤	
	100~125	4.97	0	3.16	128.6	0.02	0.007	1.26	0.76	0.15	0.31	0.04	0.03	11.75	63.10	26.53	轻壤	

5级,速效K为4~5级,速效P为5~6级。表1为试验地本底土壤理化性质,分析方法按《土壤农业化学常规分析方法》(1983)中有关项目执行。

1987年进行试验时,林龄9a,株行距为1.65m×2.0m,3000株/hm<sup>2</sup>,当年春施肥前进行间伐,每公顷保留2100株,林分平均胸径10.83cm,平均蓄积103.24m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

## 2 试验方法

完全随机区组排列,重复3次,每次重复10个处理,小区面积240~300m<sup>2</sup>。试验因子及水平见表2。尿素含N46%,钙镁磷肥含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>12%,氯化钾含K<sub>2</sub>O55%。1987~1989年试验处理如下:①T<sub>2</sub>无肥(CK<sub>1</sub>);②T<sub>2</sub>N<sub>2</sub>;③T<sub>2</sub>N<sub>3</sub>;④T<sub>2</sub>P<sub>2</sub>;⑤T<sub>2</sub>P<sub>3</sub>;⑥T<sub>2</sub>N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>;⑦T<sub>2</sub>N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>;⑧T<sub>2</sub>K<sub>2</sub>;⑨T<sub>1</sub>N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>;⑩T<sub>1</sub>无肥(CK<sub>2</sub>)。

表2 试验因子及水平

(单位:kg/hm<sup>2</sup>·次)

水平	N(尿素)	P(钙镁磷肥)	K(氯化钾)	T
1	0	0	0	不间伐
2	263	503	240	间伐
3	525	1005		

施肥时间分别为1987年与1989年4月,采用沟施方法。1990年1月对全部10个处理进行第2次间伐,每公顷保留1650株。杉木单株材积计算公式:

$$V(m^3) = 0.000\ 058\ 777\ 042\ D^{1.889\ 9831} \cdot H^{0.896\ 40167}$$

## 3 试验结果与分析

用协方差分析检验N、P、K肥、间伐和本底值对林木生长量影响的显著性,林木生

长量用每年末生长值和净生长量来表示,净生长量根据每年末生长值减去各小区本底值求得。

应用唐守正<sup>[6]</sup>一元线性模型及其应用原理建立的多功能方差分析法,求出由N、P、K肥和间伐各水平以及本底值构成的生长量预估方程。依据此方程的得分值,筛选出较佳施肥量和优化配方施肥方案;根据整个试验林的平均本底值及各因子的得分值,预估各处理每年生长量。另外,对试验林内大、中、小三种径级林木分别进行协方差分析,以检验各自的肥效。施肥、间伐和本底值对林木生长量与净生长量的协方差分析F值见表3。

表3 杉木生长量协方差分析F值

年份	生长指标	N	P	K	间伐	本底值
1987年	胸径				4.89*(4.86*)	5701.16**(11.69**)
	蓄积					6170.32**(113.39**)
	树高					642.69**(7.60**)
	小径木胸径					2053.83**
	中径木胸径		3.89*		4.76*	1496.83**
	大径木胸径					1820.44**
1988年	胸径	13.63**(13.63**)			4.62*(4.62*)	944.74**(17.66**)
	蓄积	17.54**(17.53**)	3.75*(3.75*)	7.18*(7.09*)		2086.28**(146.20**)
	树高					755.99**(13.90**)
	小径木胸径					456.16**
	中径木胸径	3.91**				243.11**
	大径木胸径	3.74**				287.79**
1989年	胸径	14.68**(14.68**)				413.57**(24.92**)
	蓄积	15.61**(15.61**)	6.23*(6.23*)			1196.27**(117.35**)
	树高					492.09**(15.88**)
	小径木胸径	3.12				217.00**
	中径木胸径	5.13*				88.88**
	大径木胸径	5.42*				108.70**
1990年	中径木胸径	4.33*				1551.39**
	大径木胸径	3.97*				2021.07**

注:括弧内净生长量F值;对N、P,  $F_{0.05}=3.44$ ,  $F_{0.01}=5.72$ ;对于K、本底值、间伐,  $F_{0.05}=4.30$ ,  $F_{0.01}=7.94$ 。

生长量预估正规方程:

$$Y = C + \begin{cases} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{cases} + \begin{cases} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{cases} + \begin{cases} K_1 \\ K_2 \end{cases} + \begin{cases} T_1 \\ T_2 \end{cases} + XB$$

Y: 胸径、蓄积、树高生长量预估值; C: 常数;  $N_{1-3}$ : N肥不同水平的得分值;  $P_{1-3}$ : P肥不同水平的得分值;  $K_{1-2}$ : K肥不同水平的得分值;  $T_{1-2}$ : 不同间伐水平得分值; X: 本底生长量得分值; B: 本底生长量。

### 3.1 肥效反应

表3表明, N肥效应极显著, P肥效应次之, K肥效应有限。施肥当年未显肥效,第二、三年N肥对胸径、蓄积有极显著效应;蓄积对P肥有反应,第二年表现为显著,第三年为极显著,且有越趋明显之势(F值逐年增大);K肥只对第二年蓄积有显著效应。以上肥效对于

每年底小区平均生长量和净生长量均是如此。施肥对胸径、蓄积反应敏感,对树高影响不明显。

### 3.2 林分本底值与间伐对林木生长的影响

(1) 林分本底值对胸径、蓄积和树高的影响极显著;对每年底小区平均生长量与净生长量均如此,只是前者 $F$ 值大,后者 $F$ 值略小,多数达到0.01显著水平,只有1987年树高( $F=7.60$ )为0.05显著水平。本底值对每年末生长量影响的 $F$ 值,随年份推迟而增大,而对净生长量影响的 $F$ 值,基本上随年份增加而逐渐增大。

(2) 第一次间伐只对当年胸径有极显著影响(0.01水平),次年降为0.05水平,第三次影响已消失。

### 3.3 不同径级林木的肥效反应

为了解施肥对林分内不同生长径级林木的效应,分别对大、中、小径级林木的肥效进行协方差分析。对数据作以下处理,在剔除异常数据后,算出各区组的平均本底胸径,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区组分别为 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ ,三个区组三个径级组林木划分如下:小径木胸径 $<(D_1-1)$ 、 $(D_2-1)$ 、 $(D_3-1)$ ;中径木胸径 $\leq(D_1+1)$ 、 $(D_2+1)$ 、 $(D_3+1)$ ;大径木胸径 $>(D_1+1)$ 、 $(D_2+1)$ 、 $(D_3+1)$ 。按此分级标准编组,计算每年底各小区三个径级组林木的平均胸径,按上述一元线性模型理论建立的多功能方差分析法,分别计算施肥对胸径的影响。表3表明:①施肥对大、中径木胸径生长影响,显著大于小径木。以N肥为例,大、中径木在1988、1989年均达到显著(0.05)水平,而小径木只在1989年才达到0.10水平( $F=3.12$ ),头两年均无肥效反应。P肥只在当年对中径木有显著效应,K肥效应不显著。②肥效与时间关系,以N肥为例,当年无效应,大、中径木 $F$ 值第三年 $>$ 第二年,表明随时间后延,肥效渐趋显著。③间伐只对当年中径木胸径生长有显著影响,后两年影响消失;间伐对大、小径木胸径生长影响不大。④第二次间伐后,只有N肥对中、大径木胸径与胸径净生长量有显著影响,P、K肥对中、大径木胸径均无显著影响;两次间伐后,N、P、K肥对小径木胸径生长无显著影响。

### 3.4 较佳施肥量

表4是年末生长量与净生长量预估正规方程的解,反映了不同N、P、K肥水平和间伐、初始本底值对林木生长影响贡献大小,是假设N、P肥第3水平和K肥、间伐第2水平为0的条件下,所建立的正规方程,得分值大的施肥水平,视较佳施肥量。复相关系数 $R$ 值

表4 杉木生长量预测值正规方程的解(得分值)

年份	生长指标	$N_1$	$N_2$	$P_1$	$P_2$	$K_1$	$T_1$	本底值	常数	复相关系数
1988	胸径	0.0543	0.05828	-0.2634	-0.1281	-0.0633	-0.2732	0.8797	2.9362	0.9911
	蓄积	-5.0319	9.4215	-7.5811	-3.4372	-7.9342	5.0089	1.3102	31.5813	0.9967
	2年胸径净生长①	0.0544	0.5828	-0.2634	-0.1281	-0.0633	-0.2732	-0.1203	2.9363	0.8743
	2年蓄积净生长	-5.0323	9.4215	-7.5813	-3.4372	-7.9343	5.0088	0.3102	31.5819	0.9642
1989	胸径	-0.0349	0.7315	-0.3879	-0.1401	-0.0832	-0.3561	0.8029	4.7716	0.9813
	蓄积	-9.5192	12.7600	-15.5994	-4.5621	-6.7885	9.4186	1.4561	54.7490	0.9931
	3年胸径净生长②	-0.0349	0.7315	-0.3879	-0.1401	-0.0832	-0.3561	-0.1971	4.7716	0.8916
	3年蓄积净生长	-9.5191	12.7600	-15.5993	-4.5620	-6.7886	9.4186	0.4561	54.7488	0.9575

①1987~1988年2 a 净生长, ②1987~1989年3 a 净生长。

表明, 1988~1989年胸径与蓄积预测值正规方程是可靠的, 置信度很高。

根据表4, 有显著效应的肥料较佳施肥量如下: 1988年与1989年胸径与蓄积生长量, 以N肥2水平, 263 kg/hm<sup>2</sup>尿素为较佳施肥量; P肥, 以3水平1 005 kg/hm<sup>2</sup>钙镁磷肥为较佳施肥量; K肥的较佳施肥量为2水平, 240 kg/hm<sup>2</sup>氯化钾。

### 3.5 优化施肥方案

表5中2、6、7、9处理为较好施肥方案, 肥料施用量与较佳施肥量基本一致, 只是处理6 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>组合中, P肥为2水平, P<sub>3</sub>N<sub>2</sub>组合的7处理, 肥效仍然高于处理6, 表明P<sub>3</sub>仍是较佳施用量。

表5 各处理1989年底杉木生长量预估值比较

处 理	年末胸径生长量 (cm)		3 a 胸径净生长 (cm)			本 底 (cm)	年末蓄积生长量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )			3 a 蓄积净生长 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )			本 底 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	
	均值	相对比(%)	均值	相对比(%)	相对比(%)		均值	相对比(%)	相对比(%)	均值	相对比(%)	相对比(%)		
2	13.73	106	109	2.90	136	164	10.83	195.45	113	107	92.21	132	116	103.24
6	13.98	108	111	3.15	148	178	10.83	206.49	119	113	103.25	148	130	103.24
7	14.12	109	112	3.29	154	186	10.83	211.05	122	116	107.81	154	136	103.24
9	13.84	107	110	3.01	141	170	10.83	227.26	131	124	124.02	177	156	103.24
3	13.00	100	103	2.17	102	123	10.83	182.69	105	100	79.45	114	100	103.24
4	13.21	102	105	2.38	112	134	10.83	184.21	106	101	80.97	116	102	103.24
5	13.35	103	106	2.52	118	142	10.83	188.77	109	103	85.53	122	108	103.24
8	13.04	101	103	2.21	104	125	10.83	179.96	104	99	76.72	110	97	103.24
1(CK <sub>1</sub> )	12.96	100	103	2.13	100	120	10.83	173.17	100	95	69.93	100	88	103.24
10(CK <sub>2</sub> )	12.60	97	100	1.77	83	100	10.83	182.59	105	100	79.35	113	100	103.24

间伐后施肥2、6、7处理与间伐无肥1处理相比, 胸径净生长量, 2处理(N<sub>2</sub>)为36%, 6处理(N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>)为48%, 7处理(N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>)为54%, 增长率分别属于次高和最高。因此N+P肥的6、7处理属于较佳施肥方案。

至于未间伐的N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub> 9处理, 蓄积量增加百分数较大, 与不间伐无肥10处理相比, 蓄积年末生长量增加24%, 净生长量增加56%, 表明密度为每公顷3 000株10~12 a杉木人工林, 不间伐施肥, 蓄积量增加仍然明显, 而胸径增加百分数低于间伐后施肥处理。

### 3.6 施肥方案经济效益评估

表6材料表明, 较好施肥方案2、6、7、9处理, 投入与产出比为1:3.47~3.78, 明显高于3、4、5、8处理, 后者为1:1.50~2.59。以经济效益而论, 处理2、6为优化施肥方案; 2处理投入较少, 与6处理相比少投703.4元/hm<sup>2</sup>, 但6处理的商品材比2处理多7.51 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 增值多2 703.60元/hm<sup>2</sup>, 故要根据肥源与资金来选择施肥方案。在两个N+P施肥方案中, 7处理投入与产出比为1:3.47, 低于6处理的1:3.78, 7处理每公顷投入多465.36元, 木材多3.1 m<sup>3</sup>, 增值高1 116元, 总之增加的产值均明显高于施肥投入。处理9由于投入较高, 施肥量与品种又多, 在肥源不足情况下难以推广, 且又不间伐, 不宜作为优化施肥方案。

表6 各处理施肥经济效益评估

处理	比间伐无肥增加(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )		增 值	采 成 运 本	肥 料 费	施 肥 工	施肥采运按6% 计息成本	投 入 与 产 出 比
	立木蓄积	商 品 材						
2	22.28	15.15	5 454.0	606.0	420.8	300	1 453.6	1:3.75
6	33.32	22.66	8 157.6	906.4	762.8	300	2 157.0	1:3.78
7	37.88	25.76	9 273.6	1 030.4	1 104.2	300	2 672.7	1:3.47
9	44.67	30.38	10 935.2	1 215.2	1 344.2	300	3 138.7	1:3.48
3	9.52	6.47	2 329.2	258.8	840.0	300	1 557.4	1:1.50
4	11.04	5.70	2 700.0	300.0	342.0	300	1 040.62	1:2.59
5	15.60	10.61	3 819.6	424.4	683.4	300	1 556.7	1:2.45
8	6.79	4.62	1 663.2	184.8	240.0	300	803.7	1:2.07

注: 出材率按68%计; 商品材按360元/hm<sup>2</sup>算; 采运成本40元/hm<sup>2</sup>; 尿素0.8元/kg; 钙镁磷肥0.34元/kg; 氯化钾0.50元/kg; 施肥工30个/(hm<sup>2</sup>·次); 9处理的对照区为不间伐无肥10处理。

## 4 结语与讨论

(1) 杉木中龄林对N肥的反应最大, 对P、K肥反应次之, 施N或N与其他肥料配合施用生长效应较大。肥效大小顺序是NPK>NP>N>P>K。N、P、K肥的较佳用量分别为: 尿素263 kg/hm<sup>2</sup>, 钙镁磷肥1 005 kg/hm<sup>2</sup>, 氯化钾240 kg/hm<sup>2</sup>。据经济效益确定三种类型的较佳施肥方案为: 低投入型, 施尿素263 kg/hm<sup>2</sup>, 3 a增加商品材15.15 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 投入与产出比1:3.75; 中投入型, 每公顷施尿素263 kg和钙镁磷肥503 kg, 3 a增加商品材22.66 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 投入与产出比1:3.78; 高投入型, 每公顷施尿素263 kg和钙镁磷肥1 005 kg, 3 a增加商品材25.76 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 投入与产出比1:3.47。

(2) 本试验得出, 施肥对林分生长的提高主要体现在施肥能较大地增加大、中径木的生长, 小径木对施肥反应较小。Pritchett<sup>[1]</sup>认为, 施肥常使中等和被压木死亡率增加; 芝本武夫<sup>[6]</sup>指出, 间伐前有竞争的中龄林分, 只有优势木和中等木表现出很大的肥效, 并且只能以优势木和中等木的肥效来表现整个林分在生长的提高; Auchmoody<sup>[7]</sup>也认为, 当施肥处理设在径级分布不同林分时, 林木大小引起的间接效应会干扰肥效的检测。为提高杉木中龄林施肥效应, 施肥前根据林分特点, 进行下层疏伐使林内林木径级分布尽量均匀, 是提高肥效的有效措施。

## 参 考 文 献

- 1 Pritchett W L. Properties and management of forest soils. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc., 1979. 349~350.
- 2 潘维铸, 田大伦, 李利村, 等. 杉木人工林养分循环的研究(一) 不同生育阶段杉木的产量结构和养分动态. 中南林业学院学报, 1981, (1): 17~20.
- 3 南方十四省(区)杉木栽培协作组. 杉木地理分布及主要商品材生产基地规划的建设. 林业科学, 1981, 17 (2): 134~144.
- 4 全国土壤普查办公室. 全国第二次土壤普查暂行技术规程. 北京: 农业出版社, 1979. 58~59.
- 5 唐守正. 多元统计分析方法. 北京: 中国林业出版社, 1986. 191~230.
- 6 芝本武夫, 塘隆男監修. 林業技術者の左めの一肥料ハント“フツク”. 东京: 発行株式会社創文, 1979.

- 7 Auchmoody L R. Evaluating growth responses to fertilization. *Can. J. For. Res.*, 1985, 15: 877~880.

## *Growth Response to Fertilization in a Middle-aged Plantation of Chinese Fir*

Li Yiquan Chen Daodong Ji Jianshu  
Li Ruicheng Ou Jinxiang Huang Luohua

**Abstract** A field trial on fertilization of thinned middle-aged plantation of Chinese fir on hilly red-yellow soil in subtropical area was conducted from 1987~1990. Tree increment of the first year didn't show any difference among treatments, but the 2nd- and 3rd-year increment after fertilization indicated that N fertilizer increased tree growth the most significantly, P fertilizer significantly, and K unsignificantly; while the growth response to fertilizer was higher in volume and DBH than in height, and the growth response to P or K fertilizer was smaller than that to N, NP or NPK fertilizer. The net DBH and volume increment, resulting from the repeated application of 263 kg urea per ha or 263 kg urea plus 503 kg calcium magnesium per ha in 1987 and 1989, were promoted by 36%~48% and 32%~48%, and the value of input/output was 1:3.75~3.78, respectively. The effect of background diameter on the late growth response to fertilization was also evaluated, the larger the background DBH before fertilization, the more remarkable the fertilization efficiency. Since the second thinning in winter of 1989, only N fertilizer could significantly increase the DBH growth of the trees, whose DBH was equal to or above the average background diameter. Since the background diameter of the trees had an influence on the late growth and fertilization efficiency, it should be regulated to a similar level by thinning from below before fertilization, which is helpful to the comparison and promotion of fertilization efficiency.

**Key words** Chinese fir, middle-aged plantation, fertilization, red-yellow soil

---

Li Yiquan, Professor, Chen Daodong (The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091), Ji Jianshu, Li Ruicheng, Ou Jinxiang, Huang Luohua (The Experimental Center of Subtropical Forestry, CAF).