

间伐强度和施肥对杉木中龄林生长的影响

蒋华, 梁乃鹏, 吴宏扬 (广西壮族自治区国有维都林场, 广西来宾 546100)

摘要 为了探讨间伐和施肥措施对杉木中龄林生长的影响程度,对实施不同间伐强度和施肥处理后3年的杉木生长效果调查研究。结果表明,间伐强度对杉木生长有一定的影响。杉木林分平均胸径和平均单株材积均随间伐强度的增大而呈现出增加的趋势;间伐强度对平均树高的影响不显著;林分蓄积量随着间伐强度的增大而呈现递减的趋势;随着间伐强度的增大,径阶分布逐渐偏离正态分布曲线而向右偏移,即大径阶所占株数百分比呈现逐渐增多的趋势,而小径级所占总株数百分比表现趋于下降。施肥试验结果表明,氮肥对杉木生长的促进作用不显著,而磷肥对杉木生长的促进作用随着施肥量的增加作用显著,建议在红壤的立地条件下多施用磷肥。

关键词 杉木;间伐强度;施肥;生长

中图分类号 S791.27 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)02-0087-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.02.025



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effect of Thinning Intensity and Fertilization on the Growth of Middle Aged Chinese Fir Forest

JIANG Hua, LIANG Nai-peng, WU Hong-yang (Guangxi State-owned Weidu Forest Farm, Laibin, Guangxi 546100)

Abstract In order to study the effect of thinning and fertilization on the growth of middle aged Chinese fir forest, the effect of thinning intensity and fertilization on the growth of Chinese fir was investigated. The results showed that thinning intensity had a certain effect on the growth of Chinese fir. The average DBH and volume per tree of Chinese fir stand increased with thinning intensity. The effect of thinning intensity on average tree height was not significant. The stand volume decreased with the thinning intensity increasing. With the increase of thinning intensity, the diameter distribution gradually deviated from the normal distribution curve and shifted to the right, that is to say, the percentage of large diameter class in the total number of trees showed a trend of increasing, while the percentage of small diameter class in the total number of trees showed a trend of decreasing. The results of fertilization experiment showed that the effect of nitrogen fertilizer on the growth of Chinese fir was not significant, while the effect of phosphorus fertilizer on the growth of Chinese fir was significant with the increase of fertilization. It was suggested that more phosphorus fertilizer should be used in the red soil.

Key words *Cunninghamia lanceolata*; Thinning intensity; Fertilization; Growth

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国南方重要的用材树种,杉木经营管理和培育是其可持续发展的重要环节,树种间伐和施肥是促进林分生长、缩短培育周期的重要的森林经营措施;间伐是调节林分内部竞争、促进林木生长、缩短轮伐期的重要经营措施,适度间伐可以降低轮伐期内林木单株因竞争造成的死亡,而施肥可以弥补因间伐所造成的林分蓄积损失,两者结合更有利于大径材的高效培育。

当前,国内外对红柳桉(*Eucalyptus marginata*)^[1]、亮果桉(*E.nitens*)^[2]、美国黑松(*Pinus cincta*)^[3-5]和樟子松(*Pinus cincta*)^[6]等树种相继开展了间伐、施肥等综合效应的研究,均表明林木生长受间伐和施肥的影响显著,但其影响程度因立地条件、间伐强度、施肥量等的不同存在差异。间伐对林木生长的影响一直是国内森林抚育经营研究的重点。近年来,张水松等^[7]、徐金良等^[8]、吴建强等^[9]对杉木的研究表明,间伐显著促进了保留木的生长,林分及单株直径、断面积和蓄积生长率随间伐强度的增大呈递增趋势,但不同间伐处理间未达到显著差异水平。尽管如此,目前国内杉木间伐相关研究多是间伐没有结合施肥指标,而对于施肥研究则主要集中于苗期或者幼林阶段^[10-13],对中龄林杉木的间伐以及施肥的综合效应研究尚鲜见报道。基于此,着重就不同间伐强度和不同施肥方案对杉木生长效应的影响进行研究,研究不同间伐强度和施肥方式对杉木中龄林生长的影响,为科学、经济、合理地培育杉木人工林提供技术支持,同时推动杉木

产业化进程,促进杉木速生丰产,缓解木材供需矛盾,对加快林业经济发展具有重要的意义。

1 研究方法

1.1 试验地概况 试验地位于广西来宾市国有维都林场,23°42'44"N,109°15'11"E,该地属南亚热带湿润季风气候区,年平均气温20.8℃,1月平均气温1.2℃,7月平均气温29.8℃,≥10℃年积温8307℃左右,极端最低温-1.5℃,极端最高温40.8℃;年降水量为1850mm,雨季一般在5—9月,旱季为10月—次年4月,年平均相对湿度为80%左右,年日照时数为2015h,无霜期约313d,全年气候温和,雨量充沛。海拔311~655m,坡度25°~40°。林地土壤主要为第四纪母质发育的黄壤,土层深度在1m以上,质地较黏,肥力中等,pH5.4~6.1,呈微酸性。地带植被为亚热带常绿阔叶林,杉木林下主要植物有苦竹、五节芒、铁芒箕、狗脊等。

1.2 试验材料及试验方法 在维都林场维都分场选择立地指数为18以上的15年生杉木人工林,采用正交试验设计方法,设计9个处理(N1P1D1、N1P2D2、N1P3D3、N2P1D2、N2P2D3、N2P3D1、N3P1D3、N3P2D1、N3P3D2),随机排列,每处理面积为300m²,设置保护行,3次重复27个小区处理。间伐强度:轻度间伐(10%~15%)、中度间伐(20%~25%)、重度间伐(30%~35%)。施肥方法:每株树上坡冠幅边缘下挖弧形沟(长100cm、宽20cm、深度30cm),距离树干50~100cm,氮肥和磷肥一次性施入,施肥后用土覆盖,施肥时间为2016年5月雨季。间伐强度和施肥水平见表1。

间伐前(2015年)及间伐后3年间连续对各标准地进行每木检尺,测定树木树高、胸径、冠幅。

作者简介 蒋华(1986—),男,广西全州人,工程师,从事森林培育研究。

收稿日期 2020-06-29

表1 间伐强度和施肥因素及水平

Table 1 Thinning intensity and fertilization factors and levels

水平 Level	尿素 Urea g/株	钙镁磷肥 Calcium, magnesium and phosphate fertilizer//g/株	伐后密度 Density after thinning 株/hm ²
1	0	0	2 505 (CK)
2	100	250	900
3	200	500	1 500

1.3 统计分析 根据树高、胸径数据建立回归方程进行分析,绘制胸径与树高曲线。杉木立木单株材积计算公式: $V=0.000\ 058\ 770\ 42\times D^{1.969\ 983\ 10}\times H^{0.896\ 461\ 57}$,式中 V 为单株材积(m³), D 为各小区处理的平均胸径(cm), H 为平均树高(m)。利用该公式求算单株材积、蓄积量,再换算求得单位面积蓄积量。采用Excel软件及SPSS软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 杉木林树高与胸径的相关性 应用数学模型对27个标准地的树高与胸径进行拟合,建立回归方程,具体数学模型如下: $Y=a+bx$, $Y=a+b\ln x$, $Y=a+b\lg x$, $Y=a+bx+cx^2$, $Y=ax^b$, $\lg Y=a+b\lg x$ 。

通过拟合和检验结果表明,数学模型 $Y=a+b\ln x$ 的相关性较大,为最佳回归方程,可用于树高与胸径的相关性分析。由此回归方程计算的参数结果见表2。

表2 15年生杉木中龄林树高与胸径的回归方程参数统计

Table 2 Regression equation parameter statistics of height and DBH of 15-year-old Chinese fir forest

样地号 Sample plot No.	密度 Density//株/hm ²		a	b	R
	伐前 Before thinning	伐后 After thinning			
I-1	2 340	2 340	-1.316 227	4.755 034	0.608 231 5
I-2	1 545	900	-4.319 594	5.701 960	0.799 696 0
I-3	2 385	1 500	-6.671 424	6.482 420	0.910 115 2
I-4	2 910	945	0.104 051	4.049 806	0.782 823 0
I-5	2 100	1 500	-5.412 616	5.971 659	0.941 162 1
I-6	2 910	2 505	2.811 318	3.395 299	0.792 703 5
I-7	2 400	1 500	-1.621 743	4.027 084	0.935 973 6
I-8	2 280	2 280	-4.221 476	5.432 885	0.924 630 8
I-9	2 475	900	9.043 526	6.453 020	0.952 930 9
II-1	2 670	2 505	-4.776 210	1.134 673	0.424 360 3
II-2	2 415	900	-6.074 427	6.234 335	0.883 058 7
II-3	2 085	1 500	-11.465 730	6.451 846	0.940 078 8
II-4	2 505	900	-4.129 104	8.791 218	0.959 073 6
II-5	2 175	1 500	-1.844 087	5.755 168	0.949 055 3
II-6	2 700	2 505	-2.286 257	4.618 327	0.808 277 4
II-7	1 875	1 500	-1.845 740	5.968 248	0.894 060 5
II-8	2 175	2 175	-1.277 345	5.212 319	0.696 438 7
II-9	2 310	900	-2.362 729	4.857 332	0.879 463 2
III-1	2 256	1 500	-4.281 734	2.893 575	0.847 322 1
III-2	2 766	2 505	-2.098 834	2.376 114	0.900 328 2
III-3	2 455	900	-1.335 648	1.287 993	0.864 732 5
III-4	1 997	1 500	-6.663 267	1.553 732	0.928 746 7
III-5	2 680	2 505	-1.893 213	1.966 528	0.922 054 3
III-6	2 556	1 500	-1.772 983	4.377 629	0.914 877 3
III-7	2 345	900	-8.384 756	5.299 374	0.884 632 5
III-8	2 379	2 379	0.173 835	3.098 253	0.940 557 8
III-9	2 400	900	-2.538 779	4.583 331	0.902 388 7

2.2 间伐强度和施肥对杉木中龄林生长的影响 从极差值 R 可看出(表3~6),对胸径增长量和蓄积量增长量的影响因素相同,从主到次均是密度、N肥、P肥;对树高增长量的影响因素从主到次为N肥、P肥和密度;对单株材积增长量的影响因素从主到次是密度、P肥、N肥。

从最优水平组合来看(表3~6),胸径增长量最优水平组合是 $A_2B_2C_2$ (A_2 100 g/株、 B_2 250 g/株、 C_2 900 株/hm²);树高增长量最优水平组合是 $A_2B_3C_2$ (A_2 100 g/株、 B_3 500 g/株、 C_2 900 株/hm²);蓄积量增长量最优水平组合是 $A_1B_2C_1$ (A_1 0 g/株、 B_2 250 g/株、 C_1 2 505 株/hm²);单株材积增长量最优水平组合是 $A_1B_2C_2$ (A_1 0 g/株、 B_2 250 g/株、 C_1 900 株/hm²)。

表3 不同间伐强度和施肥处理下胸径生长正交试验结果

Table 3 Orthogonal test results of DBH growth under different thinning intensity and fertilization treatment

试验号 Test number	因素 Factor				3年胸径增长量 3-year DBH growth//cm		
	A	B	C	D(空白) Blank	I	II	III
1	1	1	1	1	1.67	1.62	1.69
2	1	2	2	2	2.48	2.14	2.25
3	1	3	3	3	1.46	1.76	1.58
4	2	1	2	3	2.99	2.11	2.85
5	2	2	3	1	2.14	2.01	2.36
6	2	3	1	2	2.25	1.38	1.95
7	3	1	3	2	1.89	1.53	1.44
8	3	2	1	3	2.52	1.53	1.79
9	3	3	2	1	2.77	1.60	2.04
k_1	1.885 0	1.968 3	1.828 3	1.967 8			
k_2	2.146 7	2.136 7	2.348 3	1.945 0			
k_3	1.973 3	1.900 1	1.823 8	2.091 7			
R	0.261 7	0.236 7	0.520 2	0.146 7			

表4 不同间伐强度和施肥处理下树高生长正交试验结果

Table 4 Orthogonal test results of tree height growth under different thinning intensity and fertilization treatment

试验号 Test number	因素 Factor				3年树高增长量 3-year tree height growth//m		
	A	B	C	D(空白) Blank	I	II	III
1	1	1	1	1	0.51	0.62	0.63
2	1	2	2	2	0.58	0.32	0.47
3	1	3	3	3	0.53	0.66	0.55
4	2	1	2	3	1.16	0.71	0.89
5	2	2	3	1	0.52	0.96	0.95
6	2	3	1	2	0.91	0.54	0.58
7	3	1	3	2	0.38	0.42	0.41
8	3	2	1	3	0.64	0.56	0.67
9	3	3	2	1	0.77	0.46	0.55
k_1	0.503	0.632	0.623	0.637			
k_2	0.793	0.536	0.635	0.488			
k_3	0.538	0.640	0.577	0.710			
R	0.290	0.077	0.058	0.222			

方差分析结果表明(表7~10),施用N肥、P肥对胸径增长量、树高增长量、单株材积增长量和蓄积增长量均未产生显著影响;密度对树高增长量和胸径增长量产生显著影响,

密度对单株材积增长量产生显著影响,密度对蓄积增长量产生极显著影响。

表 5 不同间伐强度和施肥处理下单株材积生长正交试验结果

Table 5 The orthogonal experiment results of single tree volume growth under different thinning intensity and fertilization treatment

试验号 Test number	因素 Factor				3 年单株材积增长量 3-year single tree volume growth//m ³		
	A	B	C	D(空白) Blank	I	II	III
1	1	1	1	1	0.156 2	0.185 6	0.167 5
2	1	2	2	2	0.276 3	0.189 1	0.148 3
3	1	3	3	3	0.205 3	0.188 8	0.139 4
4	2	1	2	3	0.203 8	0.245 6	0.211 7
5	2	2	3	1	0.179 3	0.251 9	0.173 9
6	2	3	1	2	0.146 2	0.144 2	0.123 3
7	3	1	3	2	0.203 4	0.106 3	0.177 2
8	3	2	1	3	0.164 5	0.179 9	0.153 9
9	3	3	2	1	0.311 9	0.206 1	0.208 3
k ₁	0.200 1	0.183 5	0.162 6	0.215 1			
k ₂	0.195 2	0.206 7	0.238 8	0.177 5			
k ₃	0.195 3	0.200 4	0.189 2	0.197 9			
R	0.004 9	0.023 2	0.076 1	0.037 6			

表 6 不同间伐强度和施肥处理下蓄积量生长正交试验结果

Table 6 The orthogonal experiment results of volume growth under different thinning intensity and fertilization treatment

试验号 Test num- ber	因素 Factor				3 年蓄积增长量 3-year volume growth//m ³		
	A	B	C	D(空白) Blank	I	II	III
1	1	1	1	1	365.51	464.18	442.27
2	1	2	2	2	284.40	170.19	233.38
3	1	3	3	3	308.10	283.30	300.09
4	2	1	2	3	192.59	221.13	187.45
5	2	2	3	1	268.60	377.75	284.57
6	2	3	1	2	366.32	360.97	358.94
7	3	1	3	2	305.22	245.45	284.50
8	3	2	1	3	373.92	391.28	377.84
9	3	3	2	1	280.71	185.43	222.97
k ₁	306.596 6	298.160 1	387.015 1	323.741 7			
k ₂	297.928 3	305.073 3	216.403 3	281.892 2			
k ₃	296.143 3	297.435 1	297.250 1	295.036 7			
R	10.453 3	7.638 3	170.611 7	41.851 7			

从间伐强度和施肥处理对杉木中龄林生长效应可以得出以下结论:间伐后施肥,在短期内施用 N 肥、P 肥对杉木中龄林生长的影响不显著,这可能与肥效反应需要有一个过程有关。在该试验条件下,间伐后 3 年,间伐强度对树高和蓄积增长量的影响均不显著,而对单株材积和蓄积量增长量的影响均达到显著或极显著水平。从各生长指标的最优水平组合来看,树高生长对施肥的需求量高于其他生长指标,这说明树高与立地条件关系密切;各生长指标对 P 肥的需求量较高,在第 2 和第 3 水平,而对 N 肥的需求量均在第 1 和第 2

表 7 不同间伐强度和施肥处理下胸径方差分析

Table 7 Variance analysis of DBH under different thinning intensity and fertilization treatment

变异来源 Source of variation	离差平方和 Sum of deviation squares	自由度 SD	均方 MS	均方比 Mean square ratio	F
A	0.212 6	2	0.106 3	0.542 8	
B	0.178 1	2	0.089 0	0.454 5	3.98(F _{0.05})
C	1.081 6	2	0.540 8	2.761 5	7.21(F _{0.01})
e ₁	0.074 5	2	0.195 8		
e ₂	2.079 7	9			
总和 Total	3.626 5	17			

表 8 不同间伐强度和施肥处理下树高方差分析

Table 8 Variance analysis of tree height under different thinning intensity and fertilization treatment

变异来源 Source of variation	离差平方和 Sum of deviation squares	自由度 SD	均方 MS	均方比 Mean square ratio	F
A	0.300 7	2	0.150 4	2.736 0	3.98(F _{0.05})
B	0.021 2	2	0.010 6	0.193 1	7.21(F _{0.01})
C	0.014 4	2	0.005 7	0.104 0	
e ₁	0.153 0	2	0.055 0		
e ₂	0.451 5	9			
总和 Total	0.937 8	17			

表 9 不同间伐强度和施肥处理下单株材积方差分析

Table 9 Variance analysis of volume of single tree under different thinning intensity and fertilization treatment

变异来源 Source of variation	离差平方和 Sum of deviation squares	自由度 SD	均方 MS	均方比 Mean square ratio	F
A	0.000 097	2	0.000 049	0.02	3.98(F _{0.05})
B	0.001 733	2	0.000 867	0.42	7.21(F _{0.01})
C	0.017 920	2	0.008 960	4.37*	
e ₁	0.004 244	2	0.002 050		
e ₂	0.018 308	9			
总和 Total	3.538 264	17			

表 10 不同间伐强度和施肥处理下蓄积量方差分析

Table 10 Variance analysis of volume under different thinning intensity and fertilization treatment

变异来源 Source of variation	离差平方和 Sum of deviation squares	自由度 SD	均方 MS	均方比 Mean square ratio	F
A	375.196 8	2	187.598 4	0.08	
B	213.327 9	2	106.664 0	0.04	3.98(F _{0.05})
C	87 404.550 0	2	43 702.280 0	17.88**	7.21(F _{0.01})
e ₁	5 496.748 0	2	2 443.895 0		
e ₂	21 386.100 0	9			
总和 Total	114 875.920 0	17			

水平,这说明在南方红壤普遍缺 P 的情况下,施肥时应当多施用 P 肥。

2.3 间伐强度对杉木中龄林林分结构的影响 林分胸径分

布是林分结构的一个重要组成。杉木中龄林为高度郁闭林分,通过合理的间伐,林分非生长性增长和间伐的生长效应均有利于林分平均胸径的提高,从而对林分结构产生明显的影响。从表 11 可以看出,随着间伐强度的增大,径阶分布逐

渐向右偏移,即大径级林木占总株数的百分比呈现有所增加趋势,而小径阶林木占总株数百分比呈现下降趋势。这说明提高间伐可以促进林木个体生长,改善林分材种结构,且间伐强度的效果更为显著。

表 11 杉木中龄林间伐后林分径阶分布统计

Table 11 Statistics of stand diameter class distribution after thinning of middle aged Chinese fir forest

%

样地号 Sample plot No.	间伐强度 Thinning intensity %	径阶 Diameter class//cm												
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
I-1	0.00	1.5	1.5	9.2	10.8	13.9	20.1	13.9	15.3	10.7	3.1			
I-2	41.75					3.7	7.4	11.1	29.6	7.4	18.6	14.8	7.4	
I-3	37.11				8.9	8.9	13.3	28.8	13.3	4.4	13.3	6.9	2.2	
I-4	67.53				3.6	3.6	28.6	35.7	17.8	7.1			3.6	
I-5	28.57				2.2	17.8	22.3	35.5	8.9	8.9	2.2	2.2		
I-6	13.92		4.2	8.3	19.5	13.9	22.2	12.5	12.5	6.9				
I-7	37.50			2.2	4.4	15.6	15.6	15.6	17.7	17.7	4.6	2.2	4.4	
I-8	0.00			5.9	14.7	8.8	17.7	29.4	11.8	8.8	1.4	1.5		
I-9	63.64					3.7	11.1	11.1	22.2	14.9	25.9	3.7	3.7	3.7
II-1	6.18			9.3	13.0	10.7	20.0	22.7	9.3	13.0	1.3			
II-2	62.73					18.5	11.2	25.9	25.9	18.5				
II-3	28.06				6.7	8.9	31.1	22.2	26.7	4.4				
II-4	64.07						14.8	14.8	33.4	22.2	11.1		3.7	
II-5	31.03						30.4	15.2	32.7	17.3	2.2		2.2	
II-6	7.33			4.1	21.3	20.0	20.0	13.3	17.3	4.0				
II-7	20.00				2.2	15.6	24.4	35.5	13.3	6.7	2.3			
II-8	0.00	1.6	4.9	6.5	18.1	11.7	19.6	13.1	9.9	3.3	6.5	3.2		1.6
II-9	61.04					11.1	22.2	29.7	18.6	7.4	3.7	7.3		

3 结论与讨论

间伐强度对杉木胸径生长具有明显的影响。间伐 3 年后,胸径增长量基本上随间伐强度的增大而增加,方差分析表明,不同间伐强度处理之间的胸径增长量达到显著差异。这说明对于郁闭林分,间伐可以有效改善林木营养空间,促进树冠生长,有利于胸径增长量的提高。间伐对树高生长的影响不显著,这说明树高的生长主要取决于立地条件,与林分密度关系不密切。

间伐强度对杉木平均单株材积和林分蓄积量均有明显影响。间伐 3 年后,平均单株材积增长量表现出随间伐强度增大而增加的趋势,而林分蓄积量则随间伐强度的增大而减少,方差分析表明,不同间伐强度处理之间的平均单株材积和蓄积量增长量基本上均达到显著或极显著差异。

通过正交试验分析间伐强度和施肥处理对杉木中龄林生长的影响得出以下结论:间伐后施肥,在短时期内 N 肥、P 肥对杉木中龄林的生长影响均不显著;间伐 3 年后,间伐强度对树高和胸径增长量的影响不显著,而对单株材积和蓄积量增长量的影响达到显著或极显著水平;施肥对树高的效应要显著大于对胸径、单株材积指标,且施用 N 肥对林木的生长作用不显著,而施用 P 肥对林木生长具有显著的促进作用。

间伐对林分结构具有明显的影响,随着间伐强度的增大,林分大径材的比例增加,但间伐对林分蓄积量的影响不显著,通过间伐可以促进林木的个体生长,改善林分材种结构,是培育大径材的重要措施。

参考文献

- [1] STONEMAN G L, CROMBIE D S, WHITFORD K, et al. Growth and water relations of *Eucalyptus marginata* (jarrah) stands in response to thinning and fertilization [J]. Tree physiology, 1997, 17(4): 267-274.
- [2] FORRESTER D I, COLLOPY J J, BEADLE C L, et al. Interactive effects of simultaneously applied thinning, pruning and fertiliser application treatments on growth, biomass production and crown architecture in a young *Eucalyptus nitens* plantation [J]. Forest ecology and management, 2012, 267: 104-116.
- [3] BROCKLEY R P. Effects of post-thinning density and repeated fertilization on the growth and development of young lodgepole pine [J]. Canadian journal of forest research, 2005, 35(8): 1952-1964.
- [4] LINDGREN P M F, SULLIVAN T P, SULLIVAN D S, et al. Growth response of young lodgepole pine to thinning and repeated fertilization treatments: 10-years results [J]. Forestry: An international journal of forest research, 2007, 80(5): 587-611.
- [5] LINDGREN P M F, SULLIVAN T P. Long-term responses of tree and stand growth of young lodgepole pine to pre-commercial thinning and repeated fertilization [J]. Forest ecology and management, 2013, 307: 155-164.
- [6] KARLSSON K. Stem form and taper changes after thinning and nitrogen fertilization in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* stands [J]. Scandinavian journal of forest research, 2000, 15(6): 621-632.
- [7] 张水松, 陈长发, 吴克选, 等. 杉木林间伐强度试验 20 年生长效应的研究 [J]. 林业科学, 2005, 41(5): 56-65.
- [8] 徐金良, 毛玉明, 郑成忠, 等. 抚育间伐对杉木人工林生长及出材量的影响 [J]. 林业科学, 2014, 27(1): 99-107.
- [9] 吴建强, 王懿祥, 杨一, 等. 干扰林间伐对杉木人工林林分生长和林分结构的影响 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(2): 340-348.
- [10] 何贵平, 陈益泰, 刘化桐, 等. 施肥对杉木无性系幼林生长的影响 [J]. 林业科学研究, 2000, 13(5): 535-538.
- [11] 郑海水, 杨斌, 傅强, 等. 不同施肥措施对西南桦幼林生长的影响 [J]. 西部林业科学, 2007, 36(3): 1-6.
- [12] 李天芳, 姜静, 王雷, 等. 配方施肥对白桦不同家系苗期生长的影响 [J]. 林业科学, 2009, 45(2): 60-64.
- [13] 王冉, 李吉跃, 张方秋, 等. 不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响 [J]. 生态学报, 2011, 31(1): 98-106.