

文章编号: 1001-1498(2002)01-0066-10

杉木林分密度效应研究*

童书振, 盛炜彤, 张建国

(中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要: 该项试验共分 2 个部分。(1) 造林密度试验, 小区面积为 600 m², 5 个处理, 即 1 667 株·hm⁻² (A)、3 333 株·hm⁻² (B)、4 983 株·hm⁻² (C)、6 633 株·hm⁻² (D)、9 967 株·hm⁻² (E); (2) 造林密度调控试验, 造林设计与造林密度试验相同, 但在林分生长过程中, 按密度管理图的密管线 0.5 为标准进行间伐, 间伐后保留密度要与临近的下一个初植密度较稀植的林分密度基本相同, 两者进行比较。试验结果: (1) 造林密度试验, 优势高、平均高、平均胸径均随年龄的增加而递增, 随密度的增加而递减, 优势高 9 a、平均高 6 a、平均胸径 5 a, 密度间差异已达显著性水平; 林分蓄积量则随年龄增加而递增, 5-7 a, 密度间差异显著, 8-18 a, 只有 A 密度与 E、D 密度差异显著; 枝下高随密度、年龄的增加而递增, 12 a 后, C、D、E 密度间的差异很小; 冠幅随密度的增加而递减, 随年龄的增加而递增, 9-10 a 后, 各密度则随年龄增加而缓慢递减。(2) 造林密度调控试验, 同一指数级, 间伐后的林分与其密度基本相同未间伐的林分比较, 其优势高、平均高差异不明显; 立木蓄积前者小于后者; 总蓄积(立木蓄积+间伐蓄积)前者大于后者; 同一指数级, 初植密度不同的林分, 间伐后与密度基本相同未间伐林分的蓄积百分比, 初植密度大的大于初植密度小的; 指数级不同, 而初植密度相同的林分, 间伐后与密度基本相同未间伐的林分总蓄积百分比, 高指数级的比值大于低指数级的比值。

关键词: 杉木; 造林密度; 密度调控; 林分生长

中图分类号: S758.5

文献标识码: A

杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 是我国主要用材树种之一, 南方 14 省(区)均有大面积栽培, 据统计全国杉木林面积约 754 万 hm², 蓄积约 2.63 亿 m³[1], 可见杉木在我国具有十分重要的经济和社会地位。对杉木林的经营研究方面的成果、论文很多[2-4], 但对杉木造林密度效应进行全面的、长期的研究尚不多见[5,6]。杉木林分密度研究, 自“六五”开始, “七五”、“八五”、“九五”均作为国家科技攻关项目的内容之一, 经过近 20 a 的定位研究, 已取得比较完整的试验结果。今就杉木造林密度试验、杉木林密度调控试验的结果进行总结, 其目的是探讨杉木密度效应的规律。

1 试验点的布局 and 自然概况

1.1 试验点布局

造林密度试验, 以南方 14 省(区)杉木栽培科研协作组划分的带、区为依据[7], 试验林设置

收稿日期: 2000-11-15

基金项目: 国家攻关专题“杉木建筑材树种遗传改良及大中径材培育技术研究”(96-011-03-01)

作者简介: 童书振(1935-), 男, 河北沧县人, 副研究员。

*参加该项研究工作的有: 刘景芳、罗云伍、曾国民、卢俊豪、谯红辉、温恒辉、吴火灶、赵世荣、黄国强、黄均衡等。

在不同的带、区内,即南带设在广西凭祥中国林科院热林中心伏波林场及福建省同安县小坪林场;中带设在福建省邵武市卫闽林场,江西省分宜县中国林科院亚林中心年珠林场,四川省高县黄水苗圃及泸州市纳溪区民生村;北带设在河南省信阳市南湾林场和光山县晏岗林场。以上 8 个试验点,共设 10 片试验林,由于人为和自然灾害,有些试验林受到不同程度的破坏,目前保持好的 6 片试验林(卫闽 1 片,年珠 2 片,纳溪 1 片,伏波 2 片)进行总结,其中年珠、伏波各 1 片进行密度调控,其他 4 片不间伐。

1.2 各试验点自然地理概况

各试验点的自然地理概况列于表 1。

表 1 试验点自然地理概况

试验点	E	N	海拔/m	地貌	母岩	土壤	年降水量/mm	平均气温/	年蒸发量/mm
年珠	114 33	27 34	250	低山	砂页岩	黄棕壤	1 656	16.8	1 503
卫闽	117 43	27 05	-	低山	花岗岩	红壤	1 757	17.7	1 283
纳溪	125 23	28 47	440	高丘	页岩	红壤	1 182	17.5	-
伏波	106 43	22 06	500	低山	花岗岩	红壤	1 400	19.9	1 200

2 试验设计和观测方法

2.1 试验设计

造林密度设计:分 2 m × 3 m(A)、2 m × 1.5 m(B)、2 m × 1 m(C)、1 m × 1.5 m(D)、1 m × 1 m(E) 5 种密度组成一个区组,重复 3 次,共 15 个小区,每个小区面积为 600 m²。采用随机区组排列,并在每个小区四周各设计两行同样密度的保护带。

造林密度调控试验设计:该项试验在年珠林场进行,按密度管理图的密管线的 0.5 为标准进行动态下层间伐^[8],间伐后保留密度要与临近的下一个初植密度较稀的林分密度基本相同,两者进行比较。例如,初植密度 9 967 株 hm⁻² 的 E 小区间伐后,保留 6 633 株 hm⁻²,与原初植密度 6 633 株 hm⁻² 的 D 小区比较,以此类推。

2.2 林分调查

造林密度试验:每年停止生长后进行调查。2—5 年生,测定每木树高、冠幅及胸径,用算术平均法求算平均值;6 年生开始,除测定每木胸径外,每个小区采取机械抽样法,测定 100 株的树高、冠幅和枝下高。用树高曲线法求算林分平均高和各径级平均高;用断面积加权法,求算林分平均胸径。在每个小区的上、中、下各选 2 株优势木,6 株优势木平均作为林分优势木平均高。10 年生开始,每个小区改测 50 株的树高,冠幅和枝下高。单株材积和单位面积蓄积用部颁杉木二元立木材积表经验式: $V = 0.000\ 058\ 777\ 042 \cdot D^{1.969\ 983\ 1} \cdot H^{0.896\ 461\ 57}$ 计算。

造林密度调控试验:每年调查后,各样地都要根据优势高和密度查一下密度管理线,当优势高和密度管理线的交点达到 0.5 以上,则进行间伐,间伐后保留株数要与临近的下一个初植密度较稀的林分密度基本相同,这样两两进行生长比较。

3 试验结果与分析

3.1 造林密度试验

3.1.1 林分密度对自然稀疏的影响 从表 2 看,不同密度的林分,开始发生自然稀疏的时间

是不同的, A 密度 16 a, B 密度 10 a, C 密度 8 a, D 和 E 密度 7 a 开始发生自然稀疏, 即密度越稀自然稀疏时间越晚; 自然稀疏总强度则随年龄的增加而递增, 随密度的增加而递增, 这个规律, 反映了营养空间的动态变化。

表 2 不同密度对自然稀疏的影响

年龄 /a	现有密度/(株 hm^{-2})					枯损株数/(株 hm^{-2})					自然稀疏总强度/%				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
5	1 667	3 333	4 983	6 633	9 967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1 667	3 333	4 983	6 633	9 967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1 667	3 333	4 983	6 617	9 950	0	0	0	16	17	0	0	0	0.2	0.2
8	1 667	3 333	4 967	6 583	9 900	0	0	16	34	50	0	0	0.3	0.7	0.7
9	1 667	3 333	4 950	6 533	9 733	0	0	17	50	167	0	0	0.6	1.5	2.4
10	1 667	3 317	4 933	6 450	9 483	0	16	17	83	250	0	0.5	0.9	2.8	5.0
12	1 667	3 267	4 883	6 350	8 933	0	50	50	100	550	0	2.0	1.9	4.4	11.2
14	1 667	3 217	4 750	6 050	8 467	0	50	133	300	466	0	3.6	4.7	9.4	16.7
16	1 633	3 133	4 583	5 717	7 467	34	84	167	333	1 000	2.1	6.3	8.3	15.2	30.1
18	1 617	3 067	4 367	5 550	6 850	16	66	216	167	617	3.1	8.5	13.2	18.2	39.1

3.1.2 林分密度对优势高生长的影响 从国内外密度试验资料看, 由于树种、年龄、立地条件和密度范围等不同, 优势高是否受密度的影响, 结论不完全一致^[9]。经 18 a 的定位研究结果表明(见表 3), 杉木林各密度的优势高均随年龄的增加而递增; 随密度的增加而递减。经方差分析, 林分 9 年生时, 密度间的差异已达显著性水平, 经多重比较 q 检验, 只有 A 与 E 密度达显著性水平, 其他密度间差异不显著; 10 年生时, A 与 E、D 密度差异显著; 12 年生时, 除 A 与 E、D 密度差异显著外, B 与 E 密度的差异亦达显著性水平; 14 年生时, A 与 E、D、C 密度差异显著; 15、16、17 年生时, A 与 E、D 密度的差异仍保持显著性水平。由此可以看出, 初植密度在 1 667—3 333 株 hm^{-2} 范围内, 密度对优势高生长影响不大; 当初植密度增加到 5 000 株 hm^{-2} 时, 则稍有影响; 初植密度增加到 6 667—10 000 株 hm^{-2} 时, 对优势高生长的影响非常大, 故在编制地位指数表时, 要考虑其密度范围, 否则误差太大。

表 3 不同密度林分的优势高生长

密 度	年龄/a									
	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
A	5.0	6.2	7.6	8.8	8.9	10.8	12.2	13.7	13.9	15.5
B	5.0	6.1	7.4	8.6	9.4	10.4	11.6	13.0	13.5	14.7
C	4.9	6.0	7.2	8.4	9.1	9.9	11.0	12.3	12.8	14.3
D	4.8	5.7	6.8	8.0	8.9	9.7	10.8	12.0	12.5	13.3
E	4.5	5.7	6.7	8.0	8.8	9.6	10.7	11.8	12.1	13.0

3.1.3 林分密度对平均高生长的影响 林分密度与林分平均高有密切的关系。密度对平均高的影响, 其规律同密度对优势高的影响, 但影响程度平均高大于优势高。从表 4 看, 各密度的平均高随年龄增加而递增; 随密度的增加而递减。经方差分析, 6 年生时, 密度间的差异已达显著性水平, 经多重比较 q 检验, A 与 E、D 密度达显著性水平; 7、8 年生时, A 与 E、D、C 密度, B 与 E 密度均达显著性水平; 9 年生时, B 与 E、D 密度达显著性水平; 12 年生时, A、B 与 E、

D、C 密度均达显著性水平;14 年生时,A 与 E、D、C、B 密度、B 与 E、D、C 密度、C 与 E 密度均达显著性水平。由此可见,密度对平均高影响是很大的,这亦是不能用林分平均高编制地位指数表的原因之一。

表 4 不同密度林分的平均高生长

m

密 度	年 龄/a									
	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
A	3.7	5.0	6.3	7.4	8.4	9.4	10.8	12.0	13.0	14.1
B	3.8	4.8	5.9	7.0	7.8	8.7	9.9	11.0	11.8	13.3
C	3.5	4.5	5.6	6.5	7.2	7.9	9.0	9.8	11.0	12.2
D	3.4	4.4	5.2	6.2	6.9	7.7	8.8	9.7	10.6	11.7
E	3.3	4.3	5.1	5.9	6.7	7.2	8.2	9.0	9.9	10.8

3.1.4 林分密度对胸径生长的影响 密度对胸径的影响又大于密度对平均高的影响。从表 5 看,胸径仍随年龄增加而递增;随密度增加而递减。经方差分析,5 年生时,密度间差异已达显著水平,经多重比较 q 检验,A 与 E 密度已达显著性差异;6 年生时,A 与 E、D、C 密度,B 与 E 密度已达显著性差异;7 年生时,A 与 E、D、C、B 密度,B 与 E、D 密度已达显著性差异;8 年生时,B 与 E、D、C 密度,C 与 E 密度已达显著性差异;9 年生时,B 与 E、D、C 密度已达显著性差异;10—18 年生时,C 与 E 密度已达显著性差异,由此可见,林分密度对胸径影响最大。

表 5 不同密度林分的胸径生长

cm

密 度	年 龄/a									
	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
A	5.0	7.6	9.8	10.9	12.1	13.0	14.4	15.5	16.5	17.0
B	4.8	6.5	8.1	9.0	9.9	10.6	11.5	12.4	13.1	13.6
C	4.0	5.8	7.0	7.8	8.4	9.0	9.5	10.5	11.3	11.9
D	3.8	5.4	6.4	7.2	7.8	8.2	9.1	9.8	10.3	10.9
E	3.5	4.9	5.8	6.4	6.9	7.2	8.0	8.6	9.3	9.9

3.1.5 林分密度对蓄积量生长的影响 18 a 的定位试验结果(见表 6)表明,各密度的蓄积量均随年龄的增加而递增;各密度间的蓄积量随密度的增加而递增,但到某一年龄时,高密度的蓄积量却有下降的趋势。经方差分析,5 年生时,密度间的差异已达显著性水平,经多重比较 q 检验,A 与 E、D、C 密度,B 与 E 密度已达显著性差异;6 年生时,C 与 E 密度已达显著性差异;8—18 年生时,只有 A 与 E、D 密度达显著性差异,而其他密度间的差异均未达到显著性水平。

表 6 不同密度林分的蓄积生长

 $m^3 \cdot hm^{-2}$

密 度	年 龄/a									
	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
A	9.61	25.30	45.85	70.61	93.50	120.16	162.30	200.90	243.68	301.96
B	11.60	34.51	61.92	92.38	119.16	147.27	190.81	230.38	272.95	319.31
C	16.40	40.16	66.76	94.60	139.28	146.42	191.48	234.19	284.63	318.94
D	17.65	43.87	70.72	101.32	128.18	156.47	205.10	247.82	295.90	345.92
E	21.76	54.14	82.52	114.42	145.64	170.30	213.53	255.56	288.88	302.24

3.1.6 林分密度对枝下高变化的影响 不同密度的林分,枝下高亦不同。从表 7 看,枝下高

随年龄和密度的增加而递增,但到12年生之后,C、D、E密度的枝下高趋于稳定,变化不大。经方差分析和 q 检验,7年生时,A与E、D、C密度,B与E、D密度,C与E密度,D与E密度的枝下高已达显著性差异;8年生时,A与E、D密度,B与E密度差异显著;9年生时,只有A与E、D密度差异显著;10—14年生时,亦只有A密度的枝下高与其他密度差异显著,16—18年生时,各密度间差异均不显著。

表7 不同密度林分的枝下高

m

密度	年龄/a								
	6	7	8	9	10	12	14	16	18
A	0.2	0.6	0.8	1.3	1.7	3.4	4.7	6.2	6.5
B	0.4	0.7	1.1	2.0	3.1	4.9	6.1	7.2	7.8
C	0.4	0.9	1.5	2.4	3.5	5.0	6.0	7.1	7.8
D	0.7	1.0	2.0	2.7	3.4	5.0	6.2	7.1	7.7
E	0.7	1.4	2.4	3.0	4.0	5.2	6.0	7.1	7.6

3.1.7 林分密度对冠幅变化的影响 从表8看出,密度对冠幅生长的影响,总的规律是随密度的增加而递减。各密度的冠幅随年龄的变化,开始随年龄的增加而增加,当达到某年龄段时,则冠幅随年龄的增加而缓慢递减。A、B密度冠幅生长高峰期在8—12年生之间;C、D、E密度在7—12年生之间。经方差分析和 q 检验,6年生时,A与E、D、C密度,B与E、D密度差异显著;8—10年生时,A与E、D、C、B密度,B与E、D、C密度,C与E密度,D与E密度的冠幅差异达显著性水平;17—18年生时,各密度的冠幅差异均不显著。

表8 不同密度林分的冠幅生长

m

密度	年龄/a									
	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
A	2.0	2.4	2.3	3.0	3.1	3.1	2.8	2.5	2.5	2.1
B	1.9	2.1	2.2	2.5	2.7	2.5	2.3	2.2	2.2	2.0
C	1.6	1.8	2.0	2.0	2.2	2.3	2.0	1.9	1.8	1.7
D	1.6	1.8	2.0	1.9	2.1	2.1	1.8	1.8	1.6	1.6
E	1.4	1.6	1.8	1.6	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5

3.1.8 林分密度对高径比、形率的影响 高径比是林分平均高与平均胸径的比值,它反映了林木干形的圆满程度。从表9看,高径比随年龄的增加而递增;随密度的增加而递增。另外,反映干形的另一个因子是形率。在年珠林场10年生的密度试验林内,每个小区选5株平均木,5个密度共测定25株。从表10看,一般密度大的林分比密度小的林分干形要好,今后在杉木栽培时,也是考虑的因素之一。

表9 不同密度林分的高径比

密度	年龄/a								
	6	7	8	9	10	12	14	16	18
A	0.66	0.64	0.68	0.69	0.72	0.75	0.77	0.79	0.82
B	0.74	0.73	0.78	0.79	0.82	0.86	0.89	0.90	0.98
C	0.78	0.80	0.83	0.86	0.92	0.92	0.93	0.97	1.02
D	0.81	0.81	0.86	0.88	0.97	0.97	0.99	1.03	1.07
E	0.88	0.88	0.92	0.97	1.02	1.02	1.04	1.06	1.09

表 10 不同密度林分的形率

密度	A	B	C	D	E
形率 1/4 处	0.92	0.95	0.95	0.98	0.98
1/2 处	0.70	0.73	0.75	0.79	0.80

3.1.9 林分密度对枝下高与平均高比率的影响 在杉木林经营中,一般常以枝下高占平均高的 30%~50%时,作为开始间伐的指标。从表 11 看,枝下高占平均高的百分比开始随密度的增加而递增;随年龄的增加而递增,当达 16 a 后,则反而下降,这也说明 16 a 后,树高生长趋于缓慢。如果用枝下高与平均高之比达 30%作为间伐指标,则 A 密度 12 a 已达 31.5%,B 密度 10 a 已达 35.6%,C 密度 9 a 已达 33.3%,D、E 密度 8 a 分别达 32.2%和 40.7%,以上结果可为生产单位提供间伐的参考。

表 11 不同密度林分的枝下高与平均高的比率

密度	年龄/a								%
	6	7	8	9	10	12	14	16	
A	4.0	9.5	10.8	15.5	18.1	31.5	39.2	57.7	46.1
B	8.3	11.9	15.7	25.6	35.6	49.5	55.4	61.0	58.6
C	8.9	16.1	23.1	33.3	44.3	55.6	61.2	64.5	63.9
D	15.9	19.2	32.2	39.1	44.2	56.8	63.9	67.0	65.8
E	16.3	27.4	40.7	44.8	55.6	63.4	66.7	70.7	70.4

3.2 造林密度调控试验

该试验林共 15 个小区,尽管同一区组 5 个密度小区排在一个等高线上,但有的立地条件仍有差异,为了消除立地的影响,故根据 14 年生的优势高查全国(实生林)地位指数表^[10](尽管密度对优势高有一定的影响,但在一定的密度范围内,其影响较小)。将同一指数级的归为一组进行统计分析,其结果见表 12。从该表可以得出以下初步结论:

(1) 同一指数级,间伐后的林分与其密度基本相同的未间伐林分比较,其优势高、平均高生长有差异,但差异不明显。例如,保存初植密度 576 株的 E3 小区,8 年生开始间伐到 404 株,其优势高和平均高分别为 7.0 m 和 5.8 m,而未间伐的 D3、D2 小区平均密度 380 株,其平均优势高和平均高分别为 7.1 m 和 5.6 m。

(2) 同一指数级,间伐后的林分与其密度基本相同未间伐的林分比较,其胸径前者小于后者。例如,仍以 E3 小区为例,E3 小区 4 次间伐后保留的 100 株,1998 年复查时(18 a),保留株数 97 株,其胸径为 16.9 cm,而未间伐的 A3、A2 小区平均密度 94 株,其平均胸径为 19.6 cm,前者小于后者 2.7 cm。

(3) 同一指数级,间伐后林分的立木蓄积,一般低于基本密度相同未间伐林分的立木蓄积。例如,C3、C2 小区 11 年生开始间伐,经 2 次间伐后,1998 年复查时,其立木蓄积为 267.1 m³·hm⁻²;而与其密度基本相同,未经间伐的 A3、A2 小区立木蓄积为 302.2 m³·hm⁻²,后者比前者多 35.1 m³·hm⁻²。

(4) 同一指数级,间伐的林分总蓄积(立木蓄积+间伐蓄积),均大于基本密度相同未间伐林分的立木蓄积(14 指数级 C1 小区幼龄时除外)。例如,D3、D2 小区经 3 次间伐后,1998 年复查时,其平均立木蓄积为 286.2 m³·hm⁻²,3 次间伐蓄积为 131.9 m³·hm⁻²,总蓄积为 418.1

表 12 杉木林密度间伐试验汇总

小区	调查 时间	年 龄/a	各次间伐前						各次间伐后						间伐材/ ($m^3 \cdot hm^{-2}$)	总蓄积/ ($m^3 \cdot hm^{-2}$)	末间伐林分						Q/%	
			N	H _优	H	D	H _F	CW	M	N	H	D	H _F	M			N	H _优	H	D	H _F	CW		M
E3 (指 数)	1998	8	576	7.0	5.4	6.6	1.4	2.0	113.6	404	5.8	7.4	106.5	7.1	113.6	D3, D2	380	7.1	5.6	7.9	1.1	1.5	107.8	5.1
	1990	10	404	8.7	7.1	9.8	3.4	2.8	210.1	302	7.4	10.4	182.2	27.9	217.2	C3, C2	283	8.6	7.1	10.4	2.3	2.7	169.6	21.9
	1991	11	304	9.4	8.0	10.2	3.7	2.1	186.6	200	8.4	11.1	151.2	35.4	221.6	B3	189	9.6	8.8	12.4	3.1	2.5	191.9	13.4
	1994	14	199	12.0	10.8	12.7	5.8	3.0	246.1	100	11.3	13.9	153.2	92.9	316.5	A3, A2	94	12.7	11.0	16.9	2.8	3.8	215.2	32.0
	1996	16	99	13.5	11.8	15.9	6.0	2.5	198.8						362.1	A3, A2	94	12.4	14.0	18.8	4.2	3.3	288.9	25.3
	1998	18	97	14.0	12.6	16.9	7.1	3.5	257.4						420.7	A3, A2	94	14.2	13.3	19.6	8.4		302.2	39.2
D3 (指 数)	1989	9	367	8.2	6.6	8.8	2.3	2.2	151.8	298	7.0	9.4	143.7	8.1	151.8	C3, C2	287	8.1	6.3	9.2	1.5	2.4	122.8	19.1
	1991	11	298	9.8	8.2	10.6	3.7	2.1	209.9	200	8.7	11.6	173.5	36.4	218.0	B3	189	9.6	8.8	12.4	3.1	2.5	191.9	12.0
	1994	14	200	12.2	11.1	13.0	5.6	3.0	271.6	100	11.9	14.8	184.2	87.4	316.1	A3, A2	94	12.7	11.0	16.9	2.8	3.8	215.2	31.9
	1996	16	102	13.0	12.2	16.8	6.1	2.5	242.8						374.7	A3, A2	94	12.4	14.0	18.8	4.2	3.8	288.9	29.7
C3 (指 数)	1998	18	100	13.6	12.9	17.9	8.4	3.3	286.2					418.1	A3, A2	94	14.2	13.3	19.6	8.4	3.3	302.2	38.4	
	1991	11	278	9.8	8.0	10.6	2.9	2.3	192.8	200	8.4	11.8	175.5	17.3	192.8	B3	189	9.6	8.8	12.4	1.6	2.1	191.9	0.5
	1994	14	199	12.0	10.4	13.0	5.1	2.7	256.6	100	11.2	14.8	173.8	82.8	273.9	A3, A2	94	12.9	11.0	16.9	2.8	3.8	215.2	21.5
	1996	16	100	12.5	11.4	16.7	6.1	2.6	224.6						324.7	A3, A2	94	12.4	14.0	18.8	4.2	3.8	288.9	12.4
E2 (指 数)	1998	18	99	13.8	12.3	17.7	6.4	3.3	267.1					367.2	A3, A2	94	14.2	13.3	19.6	8.4	3.3	302.2	21.5	
	1988	8	558	6.0	4.3	5.9	4.3	1.7	68.0	400	4.0	6.5	65.3	2.7	68.0									
	1990	10	399	7.9	6.2	7.8	2.3	2.2	119.5	297	6.6	8.5	108.0	11.5	122.2	C1	269	7.8	5.9	8.2	1.5	1.6	89.1	27.1
	1991	11	296	8.2	6.7	9.0	2.9	1.9	125.0	200	7.0	9.8	103.0	22.0	139.2	B2, B1	190	9.4	7.2	10.4	1.7	2.0	122.2	12.2
C1 (指 数)	1994	14	200	10.4	9.5	11.5	4.4	3.0	183.1					219.3	B2, B1	187	11.4	9.4	12.6	3.8	2.6	209.6	4.4	
	1992	12	264	9.1	7.2	9.3	2.3	2.4	136.4	200	8.3	11.5	132.4	4.0	136.4	B2, B1	190	9.9	8.1	11.2	2.5	2.5	154.7	-13.4
	1994	14	200	10.6	9.2	11.9	3.6	2.2	190.2					194.2	B2, B1	187	11.4	9.4	12.6	3.8	2.6	209.6	-7.9	
	1996	16	200	11.7	10.6	13.3	4.4	1.8	271.0	100	11.4	15.4	188.6	82.4	275.0	A1	95	11.5	10.4	16.7	2.6	2.2	198.8	38.3
1998	18	103	12.4	11.1	16.4	6.4	2.8	219.4					305.8	A1	95	13.4	12.1	17.8	3.8	2.9	258.8	18.2		

注: N——600 m² 的株数; H_优——优势高(m); H——平均高(m); D——平均胸径(cm); H_F——平均高(m); D——平均胸径(cm); H_F——平均高(m); CW——每公顷蓄积(m³·hm⁻²); Q——总蓄积与末间伐蓄积之差除以末间伐蓄积所得百分比。

$\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,而未间伐的 A3、A2 平均密度的小区立木蓄积平均为 $302.2 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,前者比后者多 38.4%。

(5) 同一指数级,初植密度不同的林分,经间伐后与基本密度相同未间伐林分的总蓄积百分比,初植密度大的大于初植密度小的。例如,16 指数级 E3 小区,保存密度为 576 株,经 4 次间伐后,1998 年复查,其总蓄积比未间伐的 A3、A2 小区大 39.2%;而 16 指数级 C3、C2 小区平均保存 278 株,经 2 次间伐后,保留 99 株,其总蓄积比未间伐的 A3、A2 小区(平均 94 株)大 21.5%,两者相差 17.7%。

(6) 指数级不同,而初植密度相同的林分,间伐后与未间伐林分总蓄积百分比,高指数级的比值高于低指数级的比值。例如,16 指数级的 E3 小区,经过 4 次间伐后,1994 年调查(14 年生),与未间伐的 A3、A2 小区相比较,其总蓄积量百分比为 32.0%,1998 年夏调查时,为 39.2%;而 14 指数的 E2 小区,经过 3 次间伐后,1994 年调查(14 年生),与未间伐的 B2、B1 小区相比较,其总蓄积量百分比为 4.4%,14 指数的 C1 小区,经过 2 次间伐,1998 年复查,与未间伐的 A1 小区比较,其总蓄积量百分比为 18.2%,从而可以看出,高指数级的比值大于低指数级的比值。

(7) 林分密度对枝下高影响较大。高密度的林分虽经间伐,但在间伐前已经或多或少受到密度的制约,故枝下高一般高于基本密度相同未间伐的林分。16 a 前影响比较明显,16 a 后则不明显,但在不同指数级之间差异不太明显。

(8) 密度对冠幅的影响,一般是随着林分密度的增加而冠幅变小的规律。高密度的林分经间伐后,其冠幅虽加速生长,但与基本密度相同未间伐的林分冠幅比较,一般仍小于未间伐的林分。间伐初期两者差异不明显,中期(11—16 a)差异明显,16 a 后又无明显。

本项试验研究,除具有实用意义外,还揭示了间伐与基本密度相同不间伐林分的生长规律,包括胸径、树高、冠幅、枝下高、蓄积量及总产量的动态变化,具有理论价值。另外,试验结果进一步检验了林分密度管理图上模拟结果,除主伐产量尚未有结果外(因试验林尚未到主伐年龄),其他基本规律均一致。通过实际试验研究结果,从试验设计到实施,在我国还是第一次,其他树种也未见有报道,在实施过程中,难免有不足,例如,某一密度的林分间伐后所保留的株数与未间伐林分的保存株数,不一定完全相同,稍有偏差,但这种偏差并不会影响其所得出的基本规律,但它给以后的学者再搞此试验时提供一个经验,一定要把保留株数调整好,间伐与不间伐的可比性更高。

4 结论

4.1 造林密度试验

(1) 不同密度的林分,发生自然稀疏的时间不同,A 密度 16 a,B 密度 10 a,C 密度 8 a,D 和 E 密度 7 a 开始自然稀疏;自然稀疏的总强度,则随年龄、密度的增加而递增,这反映了营养空间随年龄和密度变化的规律。

(2) 林分优势高,总的趋势是随密度的增加而递减,9 a 时,A 与 E 密度差异已达显著性水平,14 a 时,A 与 E、D、C 密度的差异,达显著性水平,17 a 时,A 与 E、D 密度的差异仍保持显著性水平。所以初植密度在 A、B 范围内,密度对优势高影响不大;当初植密度增加到 C 密度时($5000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$)对优势高稍有影响;当初植密度增加到 D、E 密度时,对优势高影响很大,故在

编制指数表时,要考虑密度范围,否则误差太大。

(3) 林分平均高、平均胸径,则随年龄增加而递增,随密度的增加而递减。密度对胸径的影响大于树高的影响。

(4) 林分蓄积量则随密度的增加而递增,随着年龄的增加,各密度间差异逐渐缩小,当年龄达 16 a 时,E 密度的蓄积量开始小于 D 密度的蓄积量。5—7 a 密度差异明显,8—10 a 只有 A 与 E、D 密度差异显著,其他密度间差异均不显著。

(5) 枝下高随密度、年龄的增加而递增,但 12 a 之后,C、D、E 密度的枝下高趋于稳定变化不大。

(6) 冠幅随密度的增加而递减,随着年龄的增加而递增,当年龄达 9—10 a 之后,各密度则随年龄的增加而缓慢递减。冠幅生长高峰期 A、B 密度在 8—12 a 之间,C、D、E 密度在 7—12 a 之间。

(7) 高径比和形率都是反映林木干形的圆满程度。高径比则随密度、年龄的增加而递增;密度大的比密度小的干形要好。

(8) 枝下高与平均高的百分比则随密度、年龄的增加而递增,当年龄达 16 a 后开始下降,说明树高生长趋于缓慢。如果以枝下高与平均高的百分比 30%—50% 作为开始间伐的指标时,A 密度 12 a,B 密度 10 a,C 密度 9 a,D、E 密度 8 a 即可开始间伐。

4.2 造林密度调控试验

同一指数级,间伐后的林分与其密度基本相同未间伐的林分比较,其优势高、平均高差异不明显,这正体现造林密度间伐试验与造林密度试验不同之处;其胸径、立木蓄积前者(间伐后的林分)小于后者(密度基本相同未间伐的林分);总蓄积(立木蓄积+间伐蓄积)前者大于后者。

同一指数级,初植密度不同的林分,经间伐后与密度基本相同未间伐林分的蓄积百分比,初植密度大的大于初植密度小的。

指数级不同,而初植密度相同的林分,间伐后与密度基本相同未间伐的林分总蓄积量百分比,高指数级的比值大于低指数级的比值。

参考文献:

- [1] 张建国,童书振,盛炜彤.杉木大中径材机理研究() [A]. 见:张建国.“九五”国家攻关专题杉木建筑材树种遗传改良及大中径材培育技术研究报告[C]. 北京:中国林业科学研究院,2000. 201—206
- [2] 惠刚盈,盛炜彤,Gidow K V,等.杉木人工林收获模型系统的研究[J]. 林业科学研究,1994,7(4):353—358
- [3] 盛炜彤.杉木建筑材优化栽培模式研究[J]. 世界林业研究,1996,9(专刊):1—387
- [4] 盛炜彤,施行博.杉木速生丰产林培育技术[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992
- [5] 阮瑞文,奚永章.杉木不同密度造林试验研究[J]. 林业科学,1981,17(4):370—377
- [6] 杉木造林密度试验协作组.杉木造林密度试验阶段报告[J]. 林业科学,1994,30(5):419—429
- [7] 南方 14 省(区)杉木栽培科研协作组.杉木地理分布及主要商品材生产基地规划的建议[J]. 林业科学,1981,17(2):134—144
- [8] 刘景芳,童书振.编制杉木林分密度管理图研究报告[J]. 林业科学,1980,16(4):241—251
- [9] 沈国舫.营造速生丰产林的几个技术问题[A]. 见:国家林业总局森林经营局.林业发展趋势与丰产林经营[M]. 北京:国家林业总局,1978. 26—108
- [10] 南方 14 省(区)杉木科研协作组.全国杉木(实生林)地位指数表的编制与应用[J]. 林业科学,1982,18(3):266—278

Studies on the Density Effects of Chinese Fir Stands

TONG Shuzhen, SHENG Weitong, ZHANG Jianguo

(Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091, China)

Abstract : There are three parts in this research , including the effects of different planting density , different thinning intensity and planting density thinning on the growth of Chinese fir stand. (1) Planting density experiment consist of five density treatments :A(1 666 trees $\cdot\text{hm}^{-2}$) , B(3 333 trees hm^{-2}) ,C (5 000 trees hm^{-2}) , D(6 666 trees $\cdot\text{hm}^{-2}$) and E(10 000 trees $\cdot\text{hm}^{-2}$). The result of experiment shows that the dominant height , average height and diameter at breast height (DBH) of stands increases with the increase of stand age , and decreases with the increase of stand density. The dominant height after age 9 , average height after age 6 and DBH after age 5 have evident differences among different stand densities. Stand volume increase with the increase of stand age , and it reaches evident difference from age 5 to 7 among different densities , but it only has remarkable differences between A and E or D from age 8 to 18. The tree height under first branch increases with the increase of stand density and trees age , the difference among C ,D and E are not obvious after age 12. The crown diameter decreases with the increase of stand density , and increases with the increase of trees age , the differences among different stand densities decreases after age 9 - 10. (2) The primary planting density for the thinning test of planting density is same as the planting density experiment , thinning methods are that C is reduced to D and D is reduced to E after thinning. The results shows that at same site index class , comparing the unthinned stand with the thinned stand which keeps the same density with the unthinned stand after thinned , their average height and dominant height has no evident difference , but the standing tree volume of thinned stand is lower than that of unthinned stand , the total volume (standing tree volume + thinned tree volume) of thinned stand is higher than that of unthinned stand , the ratio of total volume of thinned stand with high primary density to unthinned stand is higher than that of thinned stand with low primary density to unthinned stand. At the same primary density , the ratio of volume thinned stand to unthinned stand at the high site index class is higher than that at the low site index class.

Key words : Chinese fir ; planting density ; density control ; growth of stand