文章编号:1001-1498(2015)05-0654-06

杉木人工林材种结构的立地及密度效应研究

相聪伟, 张建国*, 段爱国, 张雄清

(中国林业科学研究院林业研究所,国家林业局林木培育重点实验室,北京 100091)

摘要:采用30年生未间伐的杉木人工林连续观测数据,研究了不同林龄立地质量、林分密度对林分材种结构的影响。结果表明:初植密度相同时,立地质量越好各材种出现时间及达到最大出材率的时间越早,22立地指数初植密度1 667株·hm^{-2}的小径材最大出材率出现时间较16立地指数初植密度1 667株·hm^{-2}早4 a,中径材最大出材率出现的时间早6 a;立地指数相同时,随初植密度增加小径材出材率的峰度及峰值均减小,20立地指数样地中,初植密度为1 667株·hm^{-2}的小径材出材率峰值较初植密度为10 000株·hm^{-2}的高17%,而初植密度对中径材、大径材影响不大;在林分发展的不同时期,林分密度对材种出材率的影响不同,30年生时林分蓄积相近的但初植密度不同的样地,初植密度越大小径材出材率越高,大径材出材率越低。

关键词:杉木; 材种结构; 材种出材率

中图分类号:S758.51;S791.27 **文献标识码**:A

Effects of Site Quality and Planting Density on Wood Assortment Rate in Chinese Fir Plantation

XIANG Cong-wei, ZHANG Jian-guo, DUAN Ai-guo ZHANG Xiong-qing

(Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The continuous observation data from 30 year-old permanent sample plot was studied. The effects of site quality and stand density on small-, middle- and large-diameter timber outturn rate were analyzed. The results suggested: 1. In the plots with same planting density, the stand quality was better, every timber assortment and the maximum outturn rate appeared earlier. In A3 plot with site index of 22, the maximum outturn rate appeared 5 year earlier than that in A1 plots with site index of 16; 2. The kurtosis and maximum value of small-diameter wood outturn rate decreased with planting density increasing. The maximum value in A2 plot with site index of 20 was higher than that in E2 plot. But, planting density had little effects on middle-diameter and large-diameter timber; 3. In different period of stand development, the stand density had different effects on timber assortment outturn rate. At 30 years old stand, the timber assortment rate in plots with similar stand volume was significant different. With the planting density increasing, small-diameter timber outturn rate increased and large size timber outturn rate decreased.

Key words: *Cunninghamia lanceolata*, wood assortment structure, wood assortment outturn rate

随着经济及社会的发展,人们对木材的需求量日益增长[1],木材尤其大径材供需矛盾日益突出。发展速生丰产林,制定正确合理的森林经营措施,增加人工林蓄积量尤其是大径材数量是解决矛盾的重

收稿日期: 2013-01-29

基金项目: "十二·五"国家科技支撑专题"杉木速生丰产林定向培育技术研究"2015BAD09B01; 2014年度国家级林业推广项目"杉木大径材定向培育技术示范"; 2014年度中国林科院院基本科研费专项"森林培育学科发展规划"

作者简介: 相聪伟(1982—),男,河北石家庄人,主要从事森林培育学研究.

* 通讯作者: 研究员,主要从事森林培育学研究. E-mail: zhangjg@caf.ac.cn

要途径。因此,调整林分材种结构使林分蓄积及目的材种出材量达到最大尤为重要。以往研究表明,在特定的立地上,林分的木材产量主要取决于立地质量,受林分密度的影响较小[2-3],而林分的材种结构取决于直径结构,主要受林分密度的影响[4]。研究表明,林分直径随林分密度的增加而减小,随林龄的增加林分直径的变化规律为幼龄林时分布曲线为右偏,随着林龄的增加逐渐变为左偏[5-6];但是,由于林分材积还受干形等因素的影响,直径分布的变化规律并不能完全反映林分材种结构的变化。关于立地质量及林分密度与材种结构关系的研究较少,只是概括性的给出了以下规律:随林分密度的增加,小径阶林木的数量增加,大中径阶的数量减少[2,7],小径材的出材率增加而大径材出材率降低[8-9]。

杉木(*Cunninghamia lanceolata*(Lamb.)Hook.)是我国亚热带地区特有的优良用材树种,也是我国南方主要的造林树种。第七次全国森林资源清查表明,全国杉木人工林面积为 853.86 万 hm^2,占全国造林面积的 21.35%,在我国森林资源中占有重要的地位[10]。惠刚盈等[11]对中龄林杉木人工林材种结构的研究结果表明,在材种形成过程中,立地质量是杉木人工林材种结构的主要限制因子,立地指数过低,在正常轮伐期内很难培育出中大径材,并推断立地质量越好培育中大径材的可能性越大,且中大径材出现的时间也越早。研究主要集中在林分某一发展时段,反映的是某一特定时期的林分材种结构与林分因子的相关关系,而关于材种出材率在林分发展过程中是如何变化,受林分因子影响的研究未见报道。本研究采用连续观测 30 年的数据分析杉木人工林材种出材率的变化,以期为人工林间伐及定向培育提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验林位于福建省邵武市卫闽国有林场,地处武夷山北段中山山脉南侧山区,位于 117°43′E、27°05′N。地貌为低山、丘,海拔 250～700 m,坡度 25～35°,土壤以发育在花岗岩等母质上的红壤为主,土层较深厚,腐殖质含量丰富。年平均气温 17.7℃,全年日照 1 740.7 h,平均霜期 95 d,年平均降水量 1 768 mm,年平均相对湿度 82%,属亚热带季风气候,为杉木中心产区。

1.2　数据

该试验林用 1 年生苗于 1982 年造林,采用随机区组试验设计,5 个密度梯度:A 密度(2 m×3 m)、B 密度(2 m×1.5 m)、C 密度(2 m×1 m)、D 密度(1 m×1.5 m)、E 密度(1 m×1 m),每个梯度 3 次重复,共 15 个样地,每个样地的面积为 600 m^2。每株树挂牌标记,造林当年开始进行每木检尺。10 年生前逐年调查,以后隔年调查,每次调查均在当年生长停止后或下一年开始生长前进行,连续观测 26 年,共取得 17 次调查数据。6 年生前测量全部的树高,7 年生时开始每个样地抽测 100 株,12 年生时开始每个样地抽测 50 株。树高和胸径分别采用测高杆、测树围尺进行测量。20 年生时采用典型抽样法在每个样地随机取 5 株最高木作为优势木,求算其树高的平均值作为立地指数(SI)。样地概况见表 1。

表 1　样地概况

样地	初植密度/(株·hm^{-2})	林龄/a	立地指数/m	平均树高/m	平均胸径/cm
A1	1 667	5～26	16	3.59～14.41	5.31～15.51
A2	1 667	5～26	20	4.11～19.54	5.59～21.70
A3	1 667	5～26	22	3.97～21.67	5.95～22.72
B1	3 333	5～26	14	3.29～12.57	4.15～15.26
B2	3 333	5～26	20	4.11～18.32	5.39～17.54
B3	3 333	5～26	18	3.82～17.72	5.11～16.89
C1	5 000	5～26	16	3.23～13.73	3.94～13.82
C2	5 000	5～26	22	3.25～18.03	4.02～15.70
C3	5 000	5～26	18	3.74～17.40	5.01～16.41
D1	6 667	5～26	14	3.37～13.53	3.99～13.29
D2	6 667	5～26	20	3.17～17.68	3.75～14.99
D3	6 667	5～26	14	2.99～13.56	3.54～14.24
E1	10 000	5～26	14	3.18～12.39	3.43～11.99
E2	10 000	5～26	20	3.42～18.52	3.87～15.95
E3	10 000	5～26	12	2.96～11.24	3.33～12.19

1.3 林分不同材种原条出材量的计算

依据林木材种按其直径大小的区分标准,根据表2计算不同径级材种株数[12],分别计算各径阶立木出材量,按材种进行归并。

表2 不同径级材种株数百分比

项目	胸高径级/cm										
	6		10		12		18		24		26
	薪材	小条木	小条木	小径材	小条木	小径材	小径材	大径材	中径材	大径材	大径材
百分比/%	30	70	60	40	10	90	40	60	65	35	100

注:本表根据1 094株砍伐木统计得出;6径级以下全部为薪材,8径级全部为小条木,14和16径级全部为小径材,20和22径级全部为中径材,26径级及以上全部为大径材。

杉木规格材原条用材出材经验式[13]:

$$V_{规(原条)} = 3.602\,437\,58 \times 10^{-5} \times D^{1.947\,520\,76} \times H^{1.007\,937\,69}$$

由此计算出整个观测期内林分样地的材种出材量及材种结构,其中,30年生时林分材种结构见表3。

表3 各样地30年生杉木现存株数及材种结构

样地	现存立木/株	林分蓄积/($m^3 \cdot hm^{-2}$)	小径材		中径材		大径材	
			材积/($m^3 \cdot hm^{-2}$)	出材率/%	材积/($m^3 \cdot hm^{-2}$)	出材率/%	材积/($m^3 \cdot hm^{-2}$)	出材率/%
A1	99	511.83	42.50	8.29	200.00	39.08	162.33	31.73
B1	197	610.83	182.00	29.80	243.83	39.91	39.17	6.42
C1	234	703.00	230.17	32.75	236.00	33.57	64.83	9.23
D1	251	726.50	254.00	34.96	218.00	30.01	69.67	9.58
E1	190	552.33	165.17	29.89	182.33	33.00	63.83	11.55
A2	95	732.67	39.00	5.31	147.17	20.08	405.00	55.27
B2	101	642.33	80.17	12.49	159.67	24.87	275.33	42.87
C2	157	643.17	152.00	23.63	218.50	33.97	132.00	20.52
D2	181	829.83	176.67	21.28	220.50	26.57	254.00	30.60
E2	97	603.67	61.50	10.20	160.00	26.51	260.83	43.20
A3	88	831.17	25.00	3.00	115.50	13.91	535.50	64.44
B3	128	715.83	94.83	13.26	216.00	30.18	258.83	36.16
C3	102	620.83	85.00	13.70	133.33	21.48	278.67	44.89
D3	101	559.33	87.33	15.61	161.67	28.91	196.50	35.13
E3	182	535.67	135.00	25.19	193.33	36.10	70.33	13.13

2 结果与分析

2.1 立地质量对材种出材率的影响

图1所示:各样地小径材出材率均呈现先增加后减小的单峰状曲线。初植密度相同时,小径材出现的时间及达到峰值的时间均比低立地指数样地早,高立地指数样地的小径材出材率增大和减小的速度明显高于低立地指数的样地,但不同立地指数样地小径材出材率峰值差异不明显。

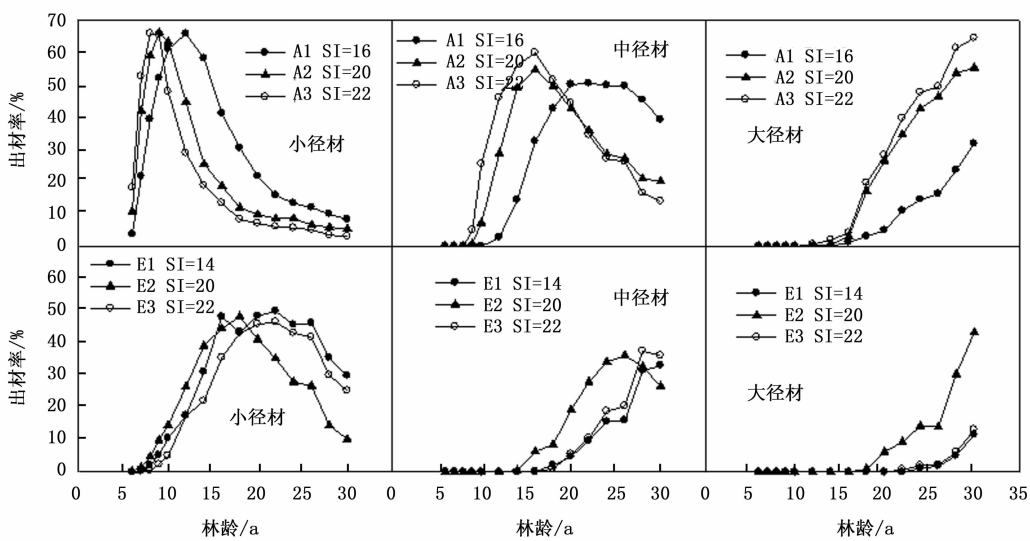

图1 不同立地指数杉木样地的材种出材率随林龄的变化

与小径材相同,初植密度相同时立地指数越大中径材出现的越早,且中径材出材率达到峰值的时间也越早,当 A 初植密度的 3 个样地出材率均达到峰值时,14 立地指数的 E1 样地中径材出材率尚未达到峰值,即初植密度相同时,立地指数越大,大径材出现的时间就越早,且出材率增加的速度明显高于低立地指数的样地。

30 年生时,林分立地指数与大径材出材量及出材率均呈极显著正相关,与小径材及中径材的出材率分别呈显著负相关和极显著负相关(表 4)。

表 4　杉木 30 年生时立地指数与各材种出材量、出材率的相关关系

项目	林分密度	蓄积量	小径材		中径材		大径材	
			出材量	出材率	出材量	出材率	出材量	出材率
立地指数	−0.539 8*	0.586 4*	−0.466 1	−0.620 9*	−0.394 8	−0.671 6**	0.754 4**	0.726 9**
显著性(P)	0.037 8	0.021 6	0.079 9	0.013 5	0.145 3	0.006 1	0.001 2	0.002 1

注:*、**分别表示显著($P<0.05$)与极显著($P<0.01$)。

2.2　林分密度对材种出材率的影响

2.2.1　*初植密度对材种出材率的影响*　从图 2 可以看出:观测期内,14 和 20 立地指数的样地均在 5 年生时出现小径材,且随着林龄的增加,小径材出材率呈现先增大后减小的单峰状曲线,随林分初植密度的增加,小径材出材率达到峰值所用的时间逐渐增加,而峰值则逐渐减小。

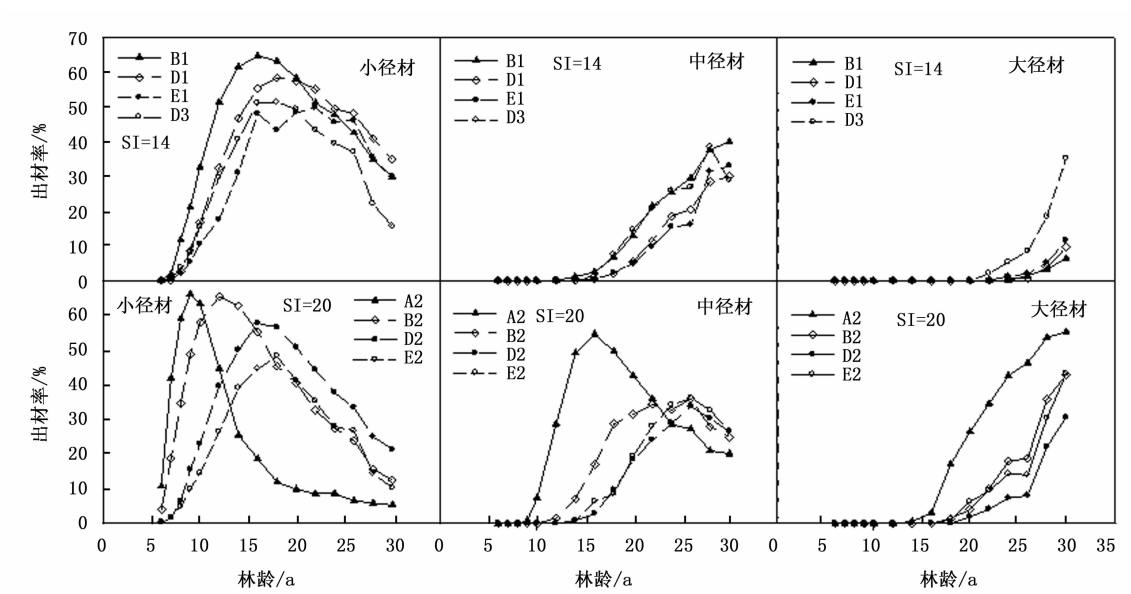

图 2　杉木不同初植密度样地的材种出材率随林龄的变化

14 立地指数的样地内,不同初植密度的林分均在 15 年左右出现中径材,并随着林龄的增加中径材出材率逐渐增加,30 年生时 4 个样地的中径材出材率在 0.3 左右,且只有 D1 达到峰值。20 立地指数的样地,中径材出现的时间随初植密度的增加而增加,A2 最早,D2、E2 最晚,中径材出材率随着林龄的增加呈现先增加后减小的单峰状曲线,除 A2 样地出材率峰值较高且出现时间较早外,其它样地中径材出材率峰值及其出现的时间差异均不明显。相同立地指数样地大径材出现的时间,除 A2 样地明显早于同立地指数其它样地外,其它样地较为一致。随林龄的增加,不同初植密度的样地大径材出材率均呈急剧增加的趋势,30 年生时各样地大径材出材率均未达到峰值,其中,14 立地指数的 D3 样地大径材出材率为 0.35,B1、D1 以及 E1 样地均在 0.10 以下;20 立地指数的样地大径材出材率均在 0.3 以上,A2 最高为 0.55。

表 5 所示:30 年生时,A3 小区(SI = 22 m)及 D2 小区(SI = 20 m),林分蓄积分别为 831.17、829.83 $m^3 \cdot hm^{-2}$,但材种结构差异明显,A3 小区大径材出材率为 64.44%,中径材出材率为 13.91%,小径材出材率仅为 3.00%;而 D2 小区大径材出材率为 30.60%,中径材出材率为 26.57%,小径材出材率为 21.28%。

表5 30年生时林分蓄积相近初植密度不同小区的材种结构

样地	林分蓄积/($m^3 \cdot hm^{-2}$)	小径材		中径材		大径材		非规格材	
		出材量/($m^3 \cdot hm^{-2}$)	出材率/%	出材量/($m^3 \cdot hm^{-2}$)	出材率/%	出材量/($m^3 \cdot hm^{-2}$)	出材率/%	出材量/($m^3 \cdot hm^{-2}$)	出材率/%
A3	831.17	25.00	3.00	115.50	13.91	535.50	64.44	154.89	18.65
D2	829.83	176.67	21.28	220.50	26.57	254.00	30.60	645.30	21.55

30年生时,小径材、中径材出材率与林分初植密度呈现一定的正相关,大径材出材率与林分初植密度呈一定负相关,但均未达到显著水平(表6)。

表6 30年生时初植密度与各材种出材量出材率的相关关系

项目	林分密度	蓄积量	小径材		中径材		大径材	
			出材量	出材率	出材量	出材率	出材量	出材率
初植密度	0.369 4	-0.359 4	0.380 7	0.478 1	0.103 6	0.242 6	-0.479 6	-0.444 6
显著性(P)	0.175 4	0.188 3	0.161 5	0.071 4	0.713 3	0.383 7	0.070 5	0.096 8

注:$P<0.05$ 为显著,$P<0.01$ 为极显著。

2.2.2 不同时期林分密度对材种结构变化的的影响 从表7可以看出:在不同的发展阶段,林分立木株数对材种结构的影响不同。14年生时,14立地指数的样地小径材出材率随林分立木株数的增加而减小,而20立地指数的样地小径材出材率随林分立木株数的增加呈现先增加而后减小的趋势,中径材出材率随林分立木株数的增加而逐渐减小。

表7 杉木不同林龄材种出材率随立木株数的变化

林龄/a	14立地指数					20立地指数				
	样地	立木/株	出材率/%			样地	立木/株	出材率/%		
			小径材	中径材	大径材			小径材	中径材	大径材
14	B1	200	61.60	1.09	0.00	A2	100	25.46	49.17	0.54
	D1	385	46.66	0.00	0.00	B2	191	62.84	7.16	0.00
	D3	386	40.65	0.00	0.00	D2	373	50.00	0.78	0.00
	E1	519	30.99	0.00	0.00	E2	409	39.06	0.56	0.00
20	B1	200	58.35	12.95	0.00	A2	100	9.82	42.57	26.44
	D3	298	49.38	14.60	0.00	B2	184	40.52	31.43	4.00
	D1	356	57.56	5.44	0.00	E2	263	41.16	19.25	6.25
	E1	395	48.34	4.81	0.00	D2	302	50.78	18.33	1.93
24	B1	199	47.78	25.49	0.00	A2	100	8.61	28.56	42.59
	D3	241	39.51	25.81	5.36	B2	152	27.39	32.68	17.93
	E1	311	45.61	15.54	1.19	E2	181	27.94	34.11	14.26
	D1	320	49.51	18.57	0.59	D2	256	37.68	28.91	7.30
30	D3	101	15.61	28.91	35.13	A2	95	5.31	20.08	55.27
	E1	190	29.89	33.00	11.55	E2	97	10.20	26.51	43.20
	B1	197	29.80	39.91	6.42	B2	101	12.49	24.87	42.87
	D1	251	34.96	30.01	9.58	D2	181	21.28	26.57	30.60

20年生时,14立地指数样地随林分立木株数的增加小径材出材率并未表现出明显的增加或减小的趋势,20立地指数样地小径材出材率随林分立木株数的增加而增加;中径材及大径材出材率均随林分立木株数的增加而减小。

24年生时,14和20立地指数样地小径材出材率均随林分立木株数的增加而增加;14立地指数样地中径材出材率随林分立木株数的增加而逐渐减小,而20立地指数样地却随林分立木株数的增加先增大而后减小,大径材出材率均随林分立木株数的增加而减小。

30年生时,14和20立地指数样地小径材出材率均随林分立木株数的增加而增加;中径材出材率在14立地指数的样地随林分立木株数的增加先增加而后减小,但是20立地指数样地并未呈现明显的增加或减小的趋势,大径材出材率均随林分立木株

数的增加而减小。

在林分生长的初期,林分尚未郁闭,林木间对资源的竞争不激烈,未出现自然稀疏,林分密度与初植密度相同。因此,在林分生长的初期,林分密度与初植密度对林分材种的影响是一致的。林分郁闭后,植株间发生激烈的竞争,由于枯死木的出现林分密度逐渐减小,且初植密度越大,枯死量就越大,林分密度变动也越大。

3　结论

本研究各样地在 30 年观测期内均出现了大径材,只是出现的时间不同,由此可见,只要轮伐期足够长,各样地均可以收获大径材,但立地指数越小大径材出现时间越晚。这与惠刚盈等[10]的研究结果一致,这主要是因为当林分初植密度相同时,立地质量越好,林地提供的养分越多,林分生长速度越快,各材种出现的时间及达到最大出材率的时间也越早,小径材和中径材出材率的峰度越大,即出材率上升和下降的速度快。立地质量越好,林木生长较快,林分间的竞争就越大,在成熟期时样地上保留的株数就越少[14],大径材的出材率越大,由此可见,立地质量直接影响着林分各材种的出现时间及出材率的大小。

初植密度对材种结构的影响主要体现在对小径材出材率以及高立地质量的中径材出材率的影响,随初植密度的增加,小径材出材率的峰度及峰值均减小。在林分发展的初期,林分初植密度越大,林分进入郁闭的时间就越早,因受资源的限制林木间发生激烈竞争,林分直径生长缓慢,因此,小径材出现的时间随初植密度的增加而增加。随着林龄的增加,林木间的竞争加剧,竞争中处于劣势的植株开始死亡而发生自然稀疏,使林木株数逐渐减少[14]。当林分进入近熟或成熟林后,自然稀疏趋缓,林木株数趋于稳定,此时,林分蓄积受密度的影响逐渐消失,单位面积上所能承载的林分蓄积量主要取决于林分的立地质量[3]。林分密度越大,林木分化越严重,胸径变异系数随密度的增加而增加[15],胸径分布在某一区间内的株数减少,使林分小径材出材率峰值减小。

在林分发展的后期,虽然林分初植密度对林分蓄积的影响相对较小,但对材种结构有着极为重要的影响,初植密度越小,林分大径材出材量越高。高初植密度的林分在自然稀疏过程中较低密度林分竞争更加激烈,虽然林分发展后期林分蓄积相近,由于林分发展前期的竞争,致使高密度林分的平均胸径在林分发展的后期仍相对较小,大径材出材率减小。

参考文献:

[1] 张建国, 李吉跃, 彭祚登. 人工造林技术概论[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

[2] Sun H, Zhang J, Duan A, *et al.* Effect of pre-commercial thinning on diameter class distribution and total merchantable volume growth in Chinese fir stands in Southern China[J]. African Journal of Agricultural Research, 2012, 7 (21): 3158 – 3165.

[3] 相聪伟, 张建国, 段爱国. 山地杉木人工林优势木选择方法的研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012,40 (9): 51 – 58.

[4] Wang M, Rennolls K. Tree diameter distribution modelling: introducing the logit logistic distribution[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35 (6): 1305 – 1313.

[5] Nord-larsen T, Cao Q V. A diameter distribution model for even-aged beech in Denmark[J]. Forest ecology and management, 2006, 231: 218 – 225.

[6] 童书振, 盛炜彤. 杉木林分密度效应研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15 (1): 66 – 75.

[7] Russell M B, Burkhart H E, Amateis R L, *et al.* Regional Locale and Its Influence on the Prediction of Loblolly Pine Diameter Distributions[J]. Southern Journal of Applied Forestry, 2012, 36 (4): 198 – 203.

[8] 谌红辉, 方升佐, 丁贵杰, 等. 马尾松间伐的密度效应[J]. 林业科学, 2010, 46 (5): 84 – 91.

[9] 段爱国, 张建国, 童书振, 等. 杉木人工林林分直径结构动态变化及其密度效应的研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17 (2): 178 – 184.

[10] 贾治邦. 中国森林资源报告[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.

[11] 惠刚盈, 罗云五. 杉木中大径材成材机理的研究[J]. 林业科学研究, 2000, 13 (2): 177 – 181.

[12] 邓伦秀. 杉木人工林林分密度效应及材种结构规律研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.

[13] 刘景芳, 童书振. 杉木林经营新技术[M]. 世界林业研究, 1996, 9 (专辑): 36 – 44.

[14] Li L, Weiner J, Zhou D, *et al.* Initial density affects biomass-density and allometric relationships in self-thinning populations of Fagopyrum esculentum[J]. Journal of Ecology, 2013, 101 (2): 475 – 483.

[15] 盛炜彤. 杉木人工林优化栽培模式[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004.