

DOI: 10.5846/stxb201405301117

尤文忠,赵刚,张慧东,郭元涛,颜廷武,魏文俊,毛沂新.抚育间伐对蒙古栎次生林生长的影响.生态学报,2015,35(1):0056-0064.  
You W Z, Zhao G, Zhang H D, Guo Y T, Yan T W, Wei W J, Mao Y X. Effects of thinning on growth of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) secondary forests. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(1): 0056-0064.

## 抚育间伐对蒙古栎次生林生长的影响

尤文忠<sup>1</sup>, 赵刚<sup>1</sup>, 张慧东<sup>1</sup>, 郭元涛<sup>2</sup>, 颜廷武<sup>1</sup>, 魏文俊<sup>1,\*</sup>, 毛沂新<sup>1</sup>

1 辽宁省林业科学研究院, 沈阳 110032

2 辽宁白石砬子国家级自然保护区管理局, 宽甸 118200

**摘要:**科学合理的抚育间伐措施是实现天然次生林稳定、高效、可持续经营的必然要求。以辽宁白石砬子国家级自然保护区萌生蒙古栎次生林为研究对象,设置幼龄林(15年生)和中龄林(35年生)两组抚育间伐试验区,利用两组试验区伐后8a和26a的长期连续测定数据,比较分析了不同抚育间伐强度对林分生长及结构的影响。结果表明,蒙古栎次生林幼龄林阶段经轻度、中度、强度间伐8a后,林分平均胸径及定期生长量与对照相比均有极显著差异,平均胸径分别比对照高2.1、1.3和2cm;不同间伐强度对林分蓄积增长量影响不大,轻度、中度和强度间伐12cm以上径阶蓄积定期生长量累计分别是对照的0.97、1.03和1.21倍。中龄林阶段,轻度、中度、强度间伐26a后林分平均胸径分别比对照高0.3、1.7和5.1cm,强度间伐能显著提高林分平均胸径生长量;间伐能显著提高林分蓄积定期生长量累计及定期生长量,轻度、中度和强度间伐12cm以上径阶蓄积定期生长量累计分别是对照的1.97、1.65和1.63倍;轻度、强度间伐林分胸径呈单峰右偏山状分布,大径阶树木占绝对优势,而中度间伐、对照林分胸径呈单峰左偏山状分布。综合分析不同林龄阶段不同强度抚育间伐措施对林分生长状况的影响,可以得出蒙古栎天然次生林高效经营技术为幼龄阶段时采用轻度、中度、强度间伐均可,在中龄林时宜采用强度间伐(保留密度1600株/hm<sup>2</sup>)。

**关键词:**间伐强度;蒙古栎次生林;林分生长;径阶

## Effects of thinning on growth of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) secondary forests

YOU Wenzhong<sup>1</sup>, ZHAO Gang<sup>1</sup>, ZHANG Huidong<sup>1</sup>, GUO Yuantao<sup>2</sup>, YAN Tingwu<sup>1</sup>, WEI Wenjun<sup>1,\*</sup>, MAO Yixin<sup>1</sup>

1 Liaoning Academy of Forestry, Shenyang 110032, China

2 Liaoning Baishilazi National Nature Reserve Administration, Kuandian 118200, China

**Abstract:** Forest management strategies for natural secondary forests require appropriate thinning methods that are stable, efficient, and sustainable. In the present study, we investigated the influence of thinning intensity on tree growth and forest structure. We established three different thinning regimes (light, medium, and heavy) and a no-thinning (control) treatment in young (15 years old) and middle-aged (35 years old) Mongolian oak (*Quercus mongolica*) secondary forests in Liaoning Baishilazi National Nature Reserve. Data were collected 8 years and 26 years after thinning. In the young forest, we found that light, medium, and heavy thinning significantly influenced the average diameter at breast height (DBH) of the stand and its periodical increment. After 8 years, the average stand DBHs in the light, medium, and heavy thinning plots were 2.1 cm, 1.3 cm, and 2 cm larger, respectively, than that in control plot. On the contrary, thinning intensity had no significant influence on stand volume growth. After 8 years, the total increments of stand volume in trees showing an

基金项目:国家科技支撑计划(2012BAD22B04);林业公益性行业科研专项(201204101, 201404303);辽宁省科技计划项目(2011207001);辽宁省农业领域青年科技创新人才培养计划(2014015)资助

收稿日期:2014-05-30; 修订日期:2014-11-17

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wwj0318@126.com

increase in DBH of >12 cm after the light, medium, and heavy thinning treatments were 0.97, 1.03, and 1.21 times higher, respectively, than those of control trees. The control stand and stands subjected to each thinning treatment exhibited a left single-peak mountain shape, implying that most trees were classified in the small DBH class. In the middle-aged forest, we found that thinning significantly influenced not only the average stand DBH but also the stand volume growth and its total increment. An increase in the thinning intensity resulted in a greater increase in the average stand DBH. In addition, heavy thinning significantly influenced the periodical increment of the average stand DBH. After 26 years, the average stand DBHs in the light, medium, and heavy thinning plots were 0.3 cm, 1.7 cm, and 5.1 cm greater, respectively, than that of control plot. After 26 years, the total increments of stand volume in trees showing an increase in DBH of >12 cm after the light, medium, and heavy thinning treatments were 1.97, 1.65, and 1.63 times higher, respectively, than that of control trees. Stands subjected to the light and heavy thinning treatments exhibited a right single-peak mountain shape, implying that most trees were classified in the large DBH class and therefore the forest structure was considered to be optimal. On the contrary, the control stand and the stand subjected to the medium thinning treatment exhibited a left single-peak mountain shape, implying that most trees were classified in the small DBH class. The results of our comprehensive analysis of the impacts of age class and thinning intensity on forest growth suggest that the most effective forest management strategy for Mongolian oak secondary forests is to conduct light, medium, and heavy thinning in young forests, but only heavy thinning in middle-aged forests. However, to achieve an increase in total volume growth, the stand density should be  $\geq 1600$  trees per hectare.

**Key Words:** thinning intensity; Mongolian oak secondary forests; tree growth; DBH class

栎类次生林是辽宁省分布最广泛的林种,占全省天然次生林总面积的62.2%,其中绝大多数为蒙古栎林(*Quercus mongolica*),并以中、幼龄林居多(占其面积的96.2%)<sup>[1]</sup>。蒙古栎次生林密度很大,郁闭后完全依靠自然稀疏,生长缓慢,严重影响了林地生产力和优质木材的生产。由于多数该类型林分生长状况差、林分蓄积量低<sup>[2]</sup>,在过去的森林经营中并没有得到足够的重视。当前随着木材需求的不断增长以及可采伐森林资源的日益减少,迫切需要提出林分结构优化和木材生产能力高效的栎类次生林经营方案。

抚育间伐是人为主动促进森林生长的主要营林技术措施<sup>[3-5]</sup>,合理的抚育间伐可以改善林冠层的营养空间,减少林木之间的竞争,充分发挥林地生产力,促进林木生长<sup>[6-7]</sup>,更能够改变林分结构和林下植被生态演替<sup>[5]</sup>。研究抚育间伐对森林生态系统的综合效应对于实现森林可持续经营管理具有重要的理论和实践意义。抚育间伐对林分的生长<sup>[2-17]</sup>、结构<sup>[18-25]</sup>、生物多样性<sup>[4,23-24]</sup>、天然更新<sup>[6]</sup>、生态服务功能<sup>[26-29]</sup>等的影响一直是森林经营研究领域的热点问题<sup>[3]</sup>。间伐对林分生长状况的综合效应取决于因生长空间的扩大出现的增长效应和因伐去一些林木产生的损失效应,与间伐技术措施(间伐开始期、间伐强度、间伐方式、间伐间隔期等)密切相关<sup>[3]</sup>。有关抚育间伐对林分生长状况的影响已开展了较多研究,但多数研究周期较短,缺少长期影响研究<sup>[6]</sup>,且绝大多数集中在针对幼龄林或中龄林时实施抚育间伐响应的研究上,极少有关于两种始伐龄级效果差异的研究。对于辽宁省分布的大多数蒙古栎次生林来说,从哪个林龄阶段开始并以多大的强度对高密度的蒙古栎林进行抚育间伐是目前急需解决的问题。为此,本文选择幼龄、中龄蒙古栎次生林为研究对象,通过长期定位研究不同抚育间伐强度对蒙古栎次生林生长状况的影响,提出适合辽宁省不同林龄阶段蒙古栎次生林的经营技术,为促进森林更新和加速林木生长、维持和恢复森林生态系统的固有功能,为实现辽东山区天然次生林的高效、稳定的经营管理提供了指导。

## 1 研究方法

### 1.1 试验区概况

试验区设置在辽宁白石砬子国家级自然保护区(124°44'07"—124°57'30"E, 40°50'00"—40°57'12"N),属

长白山余脉千山山脉,最低海拔404 m,最高海拔1270.5 m。属温带季风气候,冬季寒冷干燥,夏季温暖湿润。年均温度5.3 °C,年均日照时数1841.3 h,年平均降水量1349.3 mm,年均蒸发量885 mm,年均相对湿度73%,年均无霜期132 d。植被主要以次生蒙古栎林、桦木林、阔叶混交林和针阔混交林为主,土壤为棕色森林土。

## 1.2 样地设置和处理

本研究共设置两个试验区,分别以蒙古栎次生15a生幼龄林、35a生中龄林为研究对象,进行不同强度的抚育间伐(共设3个间伐强度和1个对照),共24个试验小区,每个小区样地面积均为400 m<sup>2</sup>,进行定位连续生长情况调查。幼龄林试验区:位于南坡中部,林下木本植物主要有假色槭(*Acer pseudo-sieboldianum*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*),草本植物以羊胡苔草(*Carex callitrichos*)为主,间伐当年和间伐后每年定期测定样地内所有保留木的胸径,已连续观测8a。中龄林试验区:位于南坡上部,林下木本植物主要有假色槭、胡枝子、迎红杜鹃(*Rhododendron mucronulatum*),草本植物以羊胡苔草为主,间伐当年和间伐后每年定期测定样地内所有保留木的胸径,已连续观测26a。两组试验区林分基本资料见表1。

表1 两组试验区林分基本资料

Table 1 Characteristics of two experimental groups in Young growth forests and Middle aged forests

试验类别 Experimental types	抚育间伐强度 Thinning intensity	坡度 Slope/ (°)	年龄 Age/ a	海拔 Latitude/ m	郁闭度 Canopy density	胸径 DBH / cm	树高 Height/ m	保留株数 Trees number/ (株/hm <sup>2</sup> )
幼龄林试验区 Young growth forests	对照	20	15	490	0.95	5.9	8.0	2710
	轻度间伐			482	0.75	6.0	8.1	1830
	中度间伐			495	0.6—0.7	6.0	8.1	1750
中龄林试验区 Middle age forests	强度间伐			480	0.6	6.1	8.2	1500
	对照	25	35	554	0.9	9.3	11.4	3735
	轻度间伐			540	0.7—0.8	9.5	11.5	2730
中龄林试验区 Middle age forests	中度间伐			550	0.6—0.7	9.5	11.6	2340
	强度间伐			535	0.5—0.6	9.6	11.6	1605

## 1.3 抚育间伐方法

由于抚育对象是同龄单层萌生蒙古栎次生林,所以采取下层抚育法。在选择砍伐木前确定林木的生长级和干形级,依照寺崎分级法将生长级和干形级分为I、II、III、IV和V共5级<sup>[30]</sup>。两组试验区内均设轻度、中度和强度3种强度的抚育间伐区,3种强度间伐区依照如下方案进行实施。

轻度间伐:伐除所有生长级和干形级的V级木和一部分IV级木,生长级虽为I、II、III级,但干形级为V级,在伐后不会出现较大林窗的情况下也一并采伐,间伐掉总株数的25—30%,林分郁闭度在0.7—0.8之间;

中度间伐:伐除所有V级木、大部分IV级木和一部分III级木及干形级为V级生长级为I、II级的林木,间伐掉总株数的35%—40%,林分郁闭度在0.6—0.7之间;

强度间伐:伐除所有IV、V级木,大部分III级木与少量干形级和生长级均为I、II级的林木,间伐掉总株数的45%—50%,林分郁闭度在0.5—0.6之间。

## 1.4 数据分析

利用SPSS16.0对两组试验间伐区和对照区林分平均胸径和材积进行方差分析并多重比较(LSD法)。对林分胸径分布采用三参数Weibull分布概率密度函数进行拟合,利用R语言极大似然估计法进行参数拟合并对其进行χ<sup>2</sup>检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 抚育间伐对胸径生长的影响

两组试验间伐区的林分平均胸径在生长过程中均始终高于对照区(图1)。间伐后幼龄林林分平均胸径

相对于对照均显著增加,且增长量随着林龄增加不断增大;间伐8a后,轻度、中度、强度间伐平均胸径分别比对照大2.1、1.3和2cm;对单木胸径而言,不同强度间伐与对照之间均有极显著差异,强度与轻度、中度间伐之间没有显著差异,而轻度与中度间伐间的差异较显著(图1,表2)。中龄林强度间伐后林分平均胸径和对照相比有显著提高,且增长量同样随着林龄增加而增长,轻度和中度间伐则均没有显著差异;间伐26a后,轻度、中度、强度间伐平均胸径分别比对照高0.3、1.7和5.1cm;各间伐后单木胸径与对照之间均有极显著差异,强度间伐与轻度、中度间伐胸径之间存在极显著的差异,轻度和中度间伐胸径之间存在显著的差异(图1,表2)。

幼龄林各间伐后林分平均胸径定期生长量高于对照,轻度和强度间伐在伐后6a明显高于中度间伐(图2);总体上看,中龄林各间伐后林分平均胸径定期生长量在伐后12a开始明显高于对照,且强度间伐要高于轻度和中度间伐(图2)。间伐后中龄林林分平均胸径定期生长量总体上高于间伐后幼龄林(图2)。

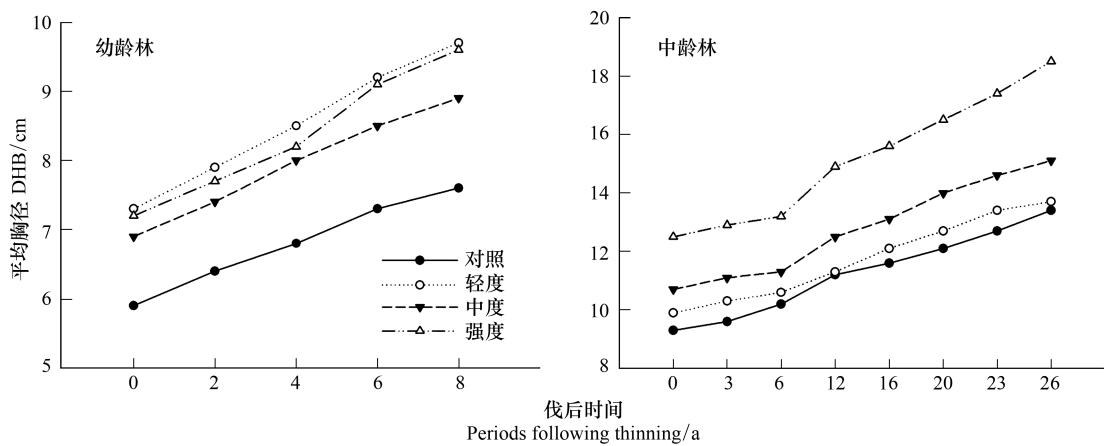


图1 幼龄林和中龄林试验区胸径生长过程

Fig.1 DBH growth process in Young growth forests and Middle aged forests

表2 幼龄林和中龄林试验区单株胸径多重比较

Table 2 Multiple comparison of individual tree diameter in Young growth forests and middle aged forests

试验类别 Experimental types	间伐强度 Thinning intensity	间伐强度 Thinning intensity	平均差 Mean difference	标准误 Standard error	显著性水平 Significance level	置信区间(95%) Confidence interval (95%)	
						下限 Lower	上限 Upper
幼龄林试验区 Young growth forests	轻度间伐	对照	2.0396 ***	0.2698	0	1.5099	2.5693
	中度间伐	对照	1.2412 ***	0.2734	0	0.9545	2.2079
		轻度间伐	-0.7584 *	0.2959	0.064	-1.1292	0.0324
		强度间伐	1.9144 ***	0.2867	0	1.3516	2.4773
	强度间伐	轻度间伐	-0.1252	0.3082	0.685	-0.7302	0.4799
		中度间伐	0.6532	0.3114	0.174	-0.188	1.0345
中龄林试验区 Middle aged forests	轻度间伐	对照	0.3422	0.5964	0.566	-1.5138	0.8294
	中度间伐	对照	1.6543	0.6072	0.125	-0.2588	2.1273
		轻度间伐	1.3765 **	0.6062	0.036	0.0855	2.4675
		强度间伐	5.0550 ***	0.6859	0	3.4775	6.2725
	强度间伐	轻度间伐	4.7672 ***	0.685	0	3.2215	5.913
		中度间伐	3.3907 ***	0.6945	0	1.9263	4.6551

\* 表示在  $\alpha=0.1$  水平上较显著; \*\* 表示在  $\alpha=0.05$  水平上显著; \*\*\* 表示在  $\alpha=0.01$  水平上极显著

三参数 Weibull 分布是进行林木胸径分布拟合最常用的概率密度函数<sup>[31-33]</sup>。幼龄林间伐后单木胸径三参数 Weibull 分布函数形状参数  $c$  的估计值在(2,3.6)之间,各间伐后和对照林木胸径均为单峰左偏山状分布,较正态分布尖峭,且偏度系数和峰度系数均大于0; $\chi^2$ 检验结果表明接受检验百分比为85%。中龄林间伐

后单木胸径三参数 weibull 分布函数形状参数在(1.7, 4.1)之间, 中度间伐和对照林木胸径呈单峰左偏山状分布, 较正态分布尖峭, 轻度和强度间伐林木胸径呈单峰右偏山状分布, 较正态分布平坦;  $\chi^2$  检验结果表明接受检验百分比为 53.1% (表 3)。

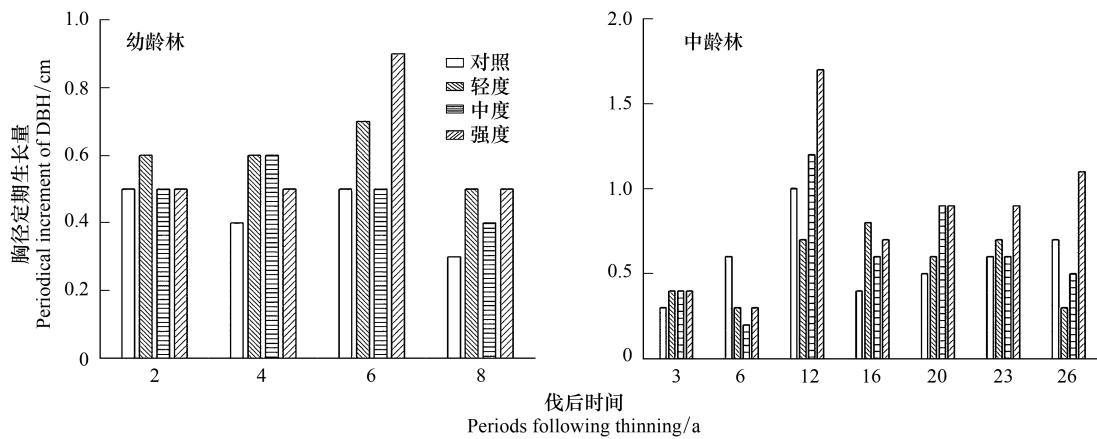


图 2 蒙古栎次生幼龄林和中龄林试验区胸径定期生长量

Fig.2 Periodical DBH increment in Young growth forests and Middle aged forests

表 3 三参数 weibull 胸径分布函数参数估计值及  $\chi^2$  检验结果

Table 3 Parameter estimates and  $\chi^2$  test results of three parameter weibull diameter distribution function

试验类别 Experimental types	间伐强度 Thinning intensity	间伐后历时 Years after thinning	位置参数 thresh a	尺度参数 Scale b	形状参数 Shape c	df	$\chi^2$ 检验值 Test value	$\chi^2$ 理论值 Theoretical value	P
幼龄林试验区 Young growth forests	对照	0	2.00	4.38	2.27	5	1.468	11.07	0.917
		2	2.03	4.89	2.29	5	3.187	11.07	0.671
		4	2.30	5.06	2.10	6	1.765	12.592	0.940
		6	2.41	5.52	2.12	6	2.252	12.592	0.895
	轻度间伐	8	2.24	6.15	2.09	7	3.647	14.067	0.819
		0	2.53	5.31	2.70	4	0.434	9.488	0.980
		2	2.93	5.65	2.53	5	2.071	11.07	0.839
		4	3.37	5.79	2.49	5	1.760	11.07	0.881
	中度间伐	6	3.20	6.74	2.72	6	0.730	12.592	0.994
		8	3.20	6.74	2.72	7	9.665	14.067	0.208
		0	1.95	5.76	2.65	5	0.711	11.07	0.982
		2	2.06	6.26	2.58	6	7.192	12.592	0.303
中龄林试验区 Middle aged forests	对照	4	2.31	6.61	2.54	7	4.552	14.067	0.715
		6	2.32	7.22	2.45	7	21.614	14.067	0.003
		8	2.18	7.88	2.46	8	5.031	15.507	0.754
	强度间伐	0	1.00	8.01	3.68	4	35.191	9.488	0.000
		2	0	8.44	3.35	5	5.282	11.07	0.382
		4	0	9.08	3.10	5	3.563	11.07	0.614
		6	1.11	8.92	3.61	5	3.233	11.07	0.664
	强度间伐	8	1.96	10.21	2.08	6	29.064	12.592	0.000
		0	1.50	7.99	1.72	7	25.558	14.067	0.001
		3	1.55	8.47	1.76	8	11.062	15.507	0.198
		6	1.19	9.67	1.96	8	30.712	15.507	0.000

续表

试验类别 Experimental types	间伐强度 Thinning intensity	间伐后历时 Years after thinning	位置参数 thresh a	尺度参数 Scale b	形状参数 Shape c	df	$\chi^2$ 检验值 Test value	$\chi^2$ 理论值 Theoretical value	P
轻度间伐	轻度间伐	0	0	10.76	3.75	7	14.769	14.067	0.039
		3	0	11.19	3.78	7	17.933	14.067	0.012
		6	0	11.56	3.64	8	17.708	15.507	0.024
		12	0	12.49	3.63	9	8.707	16.919	0.465
		16	0.09	13.12	3.64	10	71.386	18.307	0.000
		20	0	14.07	3.60	10	11.848	18.307	0.295
		23	0	14.81	3.45	11	9.770	19.675	0.551
		26	0	15.30	3.62	11	15.069	19.675	0.179
		0	2.26	9.07	3.85	7	15.574	14.067	0.029
		3	2.53	9.33	3.56	7	12.564	14.067	0.083
中度间伐	中度间伐	6	4.93	7.17	2.57	7	3.250	14.067	0.861
		12	6.50	6.73	2.11	8	1.862	15.507	0.985
		16	6.82	7.06	2.08	8	5.094	15.507	0.748
		20	6.71	8.16	2.27	8	3.077	15.507	0.929
		23	7.02	8.53	2.14	9	12.634	16.919	0.180
		26	6.38	9.79	2.23	10	24.569	18.307	0.006
		0	0.29	13.31	4.02	10	345.976	18.307	0.000
		3	0	14.11	4.22	10	122.762	18.307	0.000
		6	0	14.74	4.09	10	14.559	18.307	0.149
		12	3.00	13.08	3.41	10	13.829	18.307	0.181
强度间伐	强度间伐	16	2.76	14.32	3.37	11	104.663	19.675	0.000
		20	2.10	15.90	3.64	12	73.045	21.026	0.000
		23	4.70	14.19	3.06	11	3.835	19.675	0.975
		26	3.79	16.22	3.37	11	8.213	19.675	0.694

## 2.2 抚育间伐对蓄积生长的影响

幼龄林各间伐后蓄积定期生长量累计和对照相比没有明显增加,伐后6a开始各间伐各林分蓄积量开始高于对照(图3);伐后8a轻度、中度和强度间伐林分内12 cm以上径阶的蓄积定期生长量累计分别是对照的0.97、1.03和1.21倍;对单木材积而言,各间伐后与对照之间均有极显著差异,而各间伐之间均没有显著差异(图3,表4)。中龄林各间伐后蓄积定期生长量累计相对于对照均增加极显著,且增长量随着林龄增加不断增大,强度和中度间伐20a后明显高于轻度间伐;伐后26a轻度、中度和强度间伐林分内12 cm以上径阶的蓄

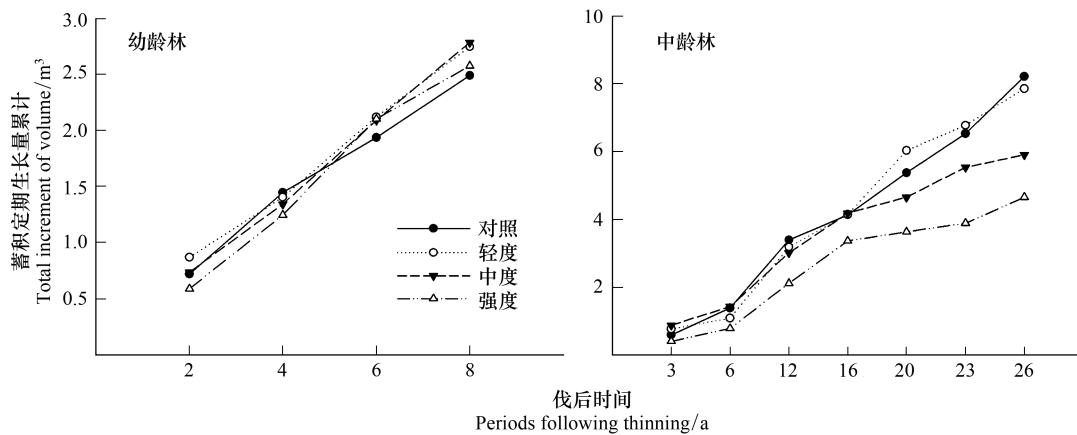


图3 蒙古栎次生幼龄林和中龄林试验区蓄积定期生长量累计

Fig.3 Total increment of volume in Young growth forests and Middle aged forests

积定期生长量累计分别是对照的1.97、1.65和1.63倍；对单木材积而言，强度和轻度间伐后与对照之间分别有极显著和显著差异，中度间伐与对照之间没有显著差异，强度与轻度、中度间伐之间有极显著差异，中度与轻度间伐之间有较显著的差异（图3和表4）。

表4 蒙古栎次生幼龄林和中龄林试验区单株材积多重比较

Table 4 Multiple comparison of individual tree volume in Young growth forests and middle aged forests

试验类别 Experimental types	间伐强度 Thinning intensity	间伐强度 Thinning intensity	平均差 Mean difference	标准误差 Standard error	显著性水平 Significance level	置信区间(95%) Confidence interval(95%)	
						下限 Lower	上限 Upper
幼龄林试验区 Young growth forests	轻度间伐	对照	0.0157 ***	0.0024	0	0.0111	0.0204
	中度间伐	对照	0.0123 ***	0.0024	0	-0.0086	0.0169
		轻度间伐	-0.0035	0.0026	0.18	-0.0078	0.0016
		强度间伐	对照 0.0147 ***	0.0025	0	0.0097	0.0196
	强度间伐	轻度间伐	-0.0011	0.0027	0.694	-0.0064	0.0042
		中度间伐	0.0024	0.0027	0.377	-0.0029	0.0078
中龄林试验区 Middle aged forests	轻度间伐	对照 -0.0205 **	0.0099	0.038	-0.04	-0.0011	
	中度间伐	对照 -0.0022	0.0101	0.827	-0.022	0.0176	
		轻度间伐 0.0184 *	0.0101	0.068	-0.0014	0.0381	
		强度间伐 对照 0.0619 ***	0.0114	0	0.0396	0.0842	
	强度间伐	轻度间伐 0.0824 ***	0.0114	0	0.0601	0.1047	
		中度间伐 0.0641 ***	0.0115	0	0.0415	0.0867	

幼龄林各间伐后蓄积定期生长量在伐后6a开始明显高于对照，轻度间伐在伐后2a时高于中度和强度间伐，之后中度、强度间伐始终高于轻度间伐（图4）；中龄林各间伐蓄积定期生长量总体上高于对照，且强度间伐要高于轻度、中度间伐。间伐后中龄林林分蓄积定期生长量总体上高于间伐后幼龄林（图4）。

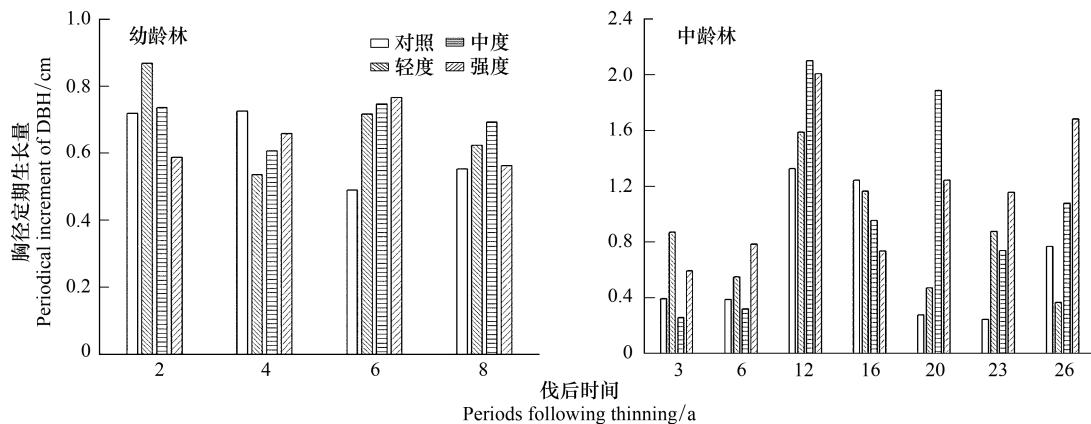


图4 蒙古栎次生幼龄林和中龄林试验区蓄积定期生长量

Fig.4 Periodical increment of volume in Young growth forests and Middle aged forests

### 2.3 抚育间伐对林木枯损的影响

幼龄林轻度、中度、强度间伐8a后林分枯损木株数分别为对照的69.81、35.85和43.4%；中龄林轻度、中度、强度间伐26a后林分枯损木株数分别为对照的38.14、21.64和19.59%。间伐区枯损木株数均明显少于对照区，可见抚育间伐可以明显的减少林木的枯损，枯损木株数随着间伐强度增加而明显减少（图5）。

## 3 结论与讨论

### 3.1 林分生长和结构对抚育间伐的响应

不同的抚育间伐措施会对林分生长和林分结构产生不同的影响<sup>[2,4-26,31-36]</sup>。对于幼龄林而言，间伐后随着林木生长各间伐的林分平均胸径及定期生长量相对于对照均有极显著增加<sup>[8,10]</sup>，轻度、中度、强度间伐后

8a 分别比对照区大 2.1、1.3 和 2 cm, 间伐明显增加了林木胸径的增长<sup>[4,8-12,33-35]</sup>; 强度间伐单木胸径与轻度、中度间伐之间均没有显著差异, 而轻度与中度间伐胸径的差异较显著; 轻度和强度间伐林分平均胸径定期生长量在伐后 6a 明显高于中度间伐, 幼龄林轻度间伐更有利林分胸径的生长; 各间伐蓄积定期生长量累计量及定期生长量和对照相比没有显著的增加, 各间伐之间的单木材积也均没有显著差异, 抚育间伐对蓄积生长没有明显的促进作用<sup>[3]</sup>; 各个间伐和对照林分胸径分布均呈左偏单峰山形, 较正态分布尖峭, 林分仍然以小径阶树木为主, 而大径阶树木偏少。对于中龄林而言, 间伐后强度间伐林分平均胸径及定期生长量和对照相比随着林龄的增加有显著增加, 而轻度、中度间伐和对照则均没有显著增加, 伐后 26a 轻度、中度、强度间伐胸径分别比对照高 0.3、1.7 和 5.1 cm, 抚育间伐也明显促进了林分胸径的生长<sup>[4,8-12,33-35]</sup>; 强度间伐单木胸径与轻度、中度间伐之间存在极显著的差异, 轻度和中度间伐胸径之间也存在显著的差异, 并且强度间伐林分平均胸径定期生长量要高于轻度和中度间伐, 抚育间伐对胸径生长的促进作用随着间伐强度的增大而增大<sup>[4,34]</sup>; 轻度和强度间伐蓄积定期生长量累计及定期生长量相对于对照随着林木的生长有极显著和显著的增加, 而中度间伐没有显著增加, 强度间伐蓄积定期生长量累计及定期生长量要高于轻度和中度间伐, 抚育间伐明显地增加了林分的蓄积积累, 并且强度间伐最有利于增加林分蓄积<sup>[4,7-11,16,34-35]</sup>; 轻度和强度间伐区呈单峰右偏山状分布, 较正态分布平坦, 林分的大径阶树木占绝对优势, 小径阶树木偏少, 林分结构得以优化并且趋于稳定<sup>[35]</sup>, 而中度间伐和对照胸径分布呈单峰左偏山状分布, 较正态分布尖峭。通过抚育间伐为蒙古栎次生林内的保留木创造了营养空间, 加速了林分胸径和蓄积的生长进程, 增加了大径阶林木株数, 改善了林分结构, 提高了林分质量<sup>[2,4-26,31-36]</sup>。

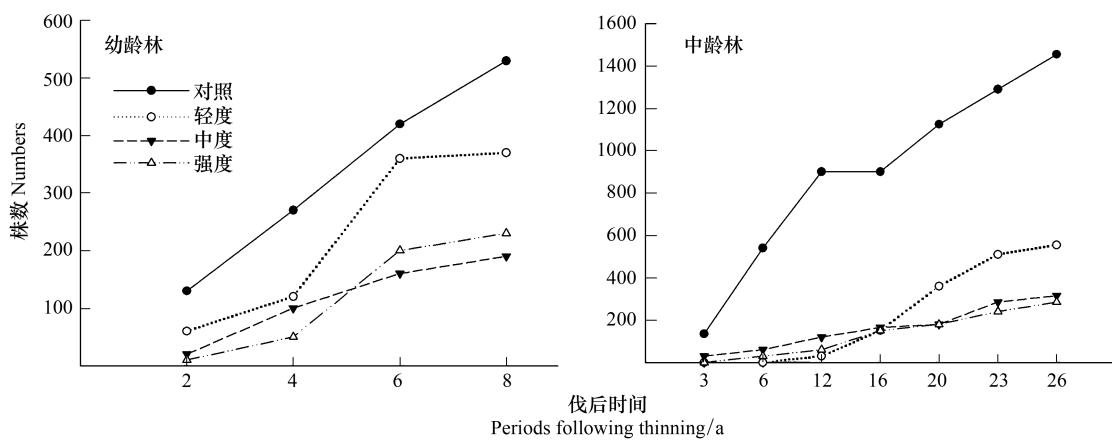


图 5 蒙古栎次生幼龄林和中龄林试验区枯损木株数累计

Fig.5 Total number of dead wood in Young growth forests and Middle aged forests

间伐改变了林分的密度, 调整了林木之间的关系, 改善了林分的生长环境, 从而促进林分生长, 密度是否合适直接影响到林分生产力的提高和功能的最大发挥<sup>[4,11]</sup>。由抚育间伐的综合效应可以得出, 蒙古栎天然次生林幼龄阶段时采用轻度、中度、强度间伐均可, 中龄时应进行强度间伐以加快蓄积的积累, 间伐以每公顷保留 1600 株的密度为宜。蒙古栎次生幼龄林、中龄林抚育间伐试验结果表明, 间伐短期内对林分蓄积量影响较小, 随着年限的增加, 对蓄积量的影响越明显<sup>[4]</sup>。幼龄林各间伐蓄积定期生长量与对照相比表现出随年龄增长其差距减小的趋势, 这是因为幼龄林林木正处于速生阶段, 间伐后经过一段时间的生长, 间伐与对照林冠郁闭度能够迅速增长的结果, 因此还需要针对幼龄林进行下一次抚育间伐, 促进林木更快的生长, 实现高效、稳定、可持续的森林经营管理。

### 3.2 林木枯损对抚育间伐的响应

林分在自然生长过程中由于树冠扩展, 林分郁闭度不断增加, 使林木对营养空间造成竞争, 必然会使一些林木由于营养空间不足、生长不良而枯损, 从而使林木株数不断减少, 形成自然稀疏。萌生蒙古栎树木常在伐根周围呈团聚状分布, 因此树木生长在伐根周围团聚状的局部竞争更加明显, 竞争的结果最终导致只有 1—2

株能良好生长。在保证林分正常生长的前提下,通过抚育间伐,调整林木株数,扩大保留木的营养空间,各间伐的枯损木累计株数均明显低于对照,尤其中龄林在间伐后26a枯损木株数仅相当于对照的19.59—38.14%,明显减少了枯损木的产生<sup>[36]</sup>,提高了林分的质量。

#### 参考文献(References) :

- [1] 王文权. 辽宁森林资源. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [2] 苏芳莉, 刘明国, 谭学仁, 胡万良, 丁磊. 辽东山区天然次生林间伐强度研究. 西北林学院学报, 2007, 22(4): 106-109.
- [3] 杜纪山, 唐守正. 抚育间伐对林分生长的效应及其模型研究. 北京林业大学学报, 1996, 18(1): 79-83.
- [4] 马履一, 李春义, 王希群, 徐昕. 不同强度间伐对北京山区油松生长及其林下植物多样性的影响. 林业科学, 2007, 43(5): 1-9.
- [5] 段勤, 马履一, 贾黎明, 贾忠奎, 公宁宁, 车文瑞. 抚育间伐对侧柏人工林及林下植被生长的影响. 生态学报, 2010, 30(6): 1431-1441.
- [6] 李春明, 杜纪山, 张会儒. 抚育间伐对森林生长的影响及其模型研究. 林业科学研究, 2003, 16(5): 636-641.
- [7] 徐金良, 毛玉明, 郑成忠, 范荣德, 周世水, 陈永辉, 成向荣, 虞木奎. 抚育间伐对杉木人工林生长及出材量的影响. 林业科学研究, 2014, 27(1): 99-107.
- [8] 潘辉, 张金文, 林顺德, 赖银华, 王丽梅. 不同间伐强度对巨尾桉林分生产力的影响研究. 林业科学, 39(专利1): 106-111.
- [9] 童雀菊, 张述垠. 抚育间伐对北美短叶松的生长及材质的影响. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2005, 29(6): 73-76.
- [10] 孙志虎, 王庆成, 梁淑娟. 间伐和修枝对白桦天然林林木生长的影响. 东北林业大学学报, 2004, 32(6): 11-12, 18-18.
- [11] 曹云, 杨勍, 宋炳煌, 黄和平, 杨明博, 郑敏. 人工抚育措施对油松林生长及结构特征的影响. 应用生态学报, 2005, 16(3): 397-402.
- [12] 潘建华, 孙杰, 郑林水, 陈惠明, 叶慧群, 吴礼栋. 抚育间伐对成熟期杉木人工纯林生长量的影响. 浙江农林大学学报, 2014, 31(2): 291-295.
- [13] Juodvalkis A, Kairiukstis L, Vasiliauskas R. Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania. European Journal of Forest Research, 2005, 124(3): 187-192.
- [14] Tong Q J, Zhang S Y. Impact of initial spacing and precommercial thinning on jack pine tree growth and stem quality. The Forestry Chronicle, 2005, 81(3): 418-428.
- [15] Cañellas I, Del Río M, Roig S, Montero G. Growth response to thinning in *Quercus pyrenaica* Willd. coppice stands in Spanish central mountain. Annals of Forest Science, 2004, 61(3): 243-250.
- [16] Crecente-Campo F, Pommerening A, Rodríguez-Saalleiro R. Impacts of thinning on structure, growth and risk of crown fire in a *Pinus sylvestris* L. plantation in northern Spain. Forest Ecology and Management, 2009, 257(9): 1945-1954.
- [17] Montero G, Cañellas I, Ortega C, Del Rio M. Results from a thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Sistema Ibérico Mountain Range (Spain). Forest Ecology and Management, 2001, 145(1/2): 151-161.
- [18] Parrotta J A, Francisa J K, Knowles O H. Harvesting intensity affects forest structure and composition in an upland Amazonian forest. Forest Ecology and Management, 2002, 169(3): 243-255.
- [19] 周建云, 李荣, 张文辉, 何景峰. 不同间伐强度下辽东栎种群结构特征与空间分布格局. 林业科学, 2012, 48(4): 149-155.
- [20] He Z B, Zhao W Z, Liu H, Zhang Z H. Successional process of *Picea crassifolia* forest after logging disturbance in semiarid mountains: a case study in the Qilian Mountains, northwestern China. Forest ecology and management, 2010, 260(3): 396-402.
- [21] Meier E, Paal J. Cryptogams in Estonian alvar forests: species composition and their substrata in stands of different age and management intensity. Annales Botanici Fennici, 2009, 46(1): 1-20.
- [22] Crow T R, Buckley D S, Nauertz E A, Zasada J C. Effects of management on the composition and structure of northern hardwood forests in Upper Michigan. Forest Science, 2002, 48(1): 129-145.
- [23] 于立忠, 朱教君, 孔祥文, 胡万良, 谭学仁. 人为干扰(间伐)对红松人工林林下植物多样性的影响. 生态学报, 2006, 26(11): 3757-3764.
- [24] Montes F, Cañellas I, del Río M, Calama R, Montero G. The effects of thinning on the structural diversity of coppice forests. Annals of Forest Science, 2004, 61(8): 771-779.
- [25] Sullivan T P, Sullivan D S, Lindgren P M F. Stand structure and small mammals in young lodgepole pine forest: 10-year results after thinning. Ecological Applications, 2001, 11(4): 1151-1173.
- [26] 明安刚, 张治军, 谌红辉, 张显强, 陶怡, 苏勇. 抚育间伐对马尾松人工林生物量与碳贮量的影响. 林业科学, 2013, 49(10): 1-6.
- [27] 贾忠奎, 温志勇, 贾芳, 公宁宁, 游伟斌, 汪加魏, 马履一. 北京山区侧柏人工林水源涵养功能对抚育间伐的响应. 水土保持学报, 2012, 26(1): 62-66, 71-71.
- [28] 刘保新, 汪金松, 康峰峰, 尚宝山, 赵秀海. 太岳山油松人工林土壤呼吸对抚育强度的响应. 应用与环境生物学报, 2012, 18(1): 17-22.
- [29] 漆良华, 刘广路, 范少辉, 岳祥华, 张华, 杜满义. 不同抚育措施对闽西毛竹林碳密度、碳贮量与碳格局的影响. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1482-1488.
- [30] 孙时轩. 造林学. 北京: 中国林业出版社, 1992: 338-341.
- [31] 董希斌, 李耀翔, 姜立春. 间伐对兴安落叶松人工林林分结构的影响. 东北林业大学学报, 2000, 28(1): 16-18.
- [32] 董文宇, 邢志远, 惠淑荣, 刘强, 周海峰. 利用Weibull分布描述日本落叶松的直径结构. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(2): 225-228.
- [33] 姜磊, 陆元昌, 廖声熙, 李昆, 李根前. 滇中高原云南松林分直径结构研究. 林业科学研究, 2008, 21(1): 126-130.
- [34] Lei X D, Lu Y C, Peng C H, Zhang X P, Chang J, Hong L X. Growth and structure development of semi-natural larch-spruce-fir (*Larix olgensis-Picea jezoensis-Abies nephrolepis*) forests in northeast China: 12-year results after thinning. Forest Ecology and Management, 2007, 240(1/3): 165-177.
- [35] 段爱国, 张建国, 童书振, 保尔江, 何彩云. 杉木人工林林分直径结构动态变化及其密度效应的研究. 林业科学研究, 2004, 17(2): 178-184.
- [36] 孙洪志, 屈红军, 石丽艳, 张杰, 任青山. 次生林抚育改造的效果. 东北林业大学学报, 2004, 32(2): 97-98.