

DOI:10.13332/j.1000-1522.20190046

## 蒙古栎次生林垂直结构特征对目标树经营的响应

张晓红 张会儒

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

**摘要:**【目的】基于单株木的目标树经营技术是实现近自然森林经营的重要途径。为揭示目标树经营对天然次生林垂直结构的影响,以长白山北部蒙古栎次生林为研究对象,探讨各林层林分结构与单木生长对不同目标树抚育间伐强度的响应,为制定科学合理的经营措施提供基础依据。【方法】2013年8月在吉林省汪清林业局设置16块面积0.09 hm<sup>2</sup> (30 m × 30 m)的样地开展目标树经营试验。根据间伐强度设置弱度(5%)、轻度(10%)、中度(20%)和对照4种处理,每种处理4个重复,2016年复测样地。采用树冠光竞争高法(CCH)将林分划分为上林层、中林层和下林层3个林层,比较分析不同抚育间伐强度对各林层高度、树种组成、林木竞争和生长的影响。【结果】(1)各林层树冠光竞争高度分别为上林层15.27~16.12 m、中林层8.76~9.65 m、下林层2.95~3.37 m。间伐提高了上、中林层高度,其中度间伐下上林层平均高度为15.42~17.21 m,显著高于其他处理,而下林层高度基本不变。(2)间伐调整了上林层和中林层各树种所占比重,上林层中白桦下降,蒙古栎提高,且蒙古栎比重随着间伐强度的增大而增大;中林层白桦、杂木比重下降,红松比重增加。(3)上林层平均胸径在中度间伐下得到了提高,增幅达到0.57 cm,而在其他处理下有所下降。中林层平均胸径只在轻度间伐下得到提升,下林层平均胸径的变化与上林层呈现相反的趋势。林分中上林层所占蓄积比重增大,弱度、轻度、中度间伐样地上林层蓄积比重分别增加了1.92%、11.52%、13.15%。(4)间伐显著降低了各林层林木竞争指数,其中下林层对目标树抚育间伐响应最为积极,以弱度间伐的降幅最为显著,林木竞争指数由0.634降为0.455。(5)各林层直径定期生长率和材积定期生长率随林层高度的增加而降低,上、中、下林层的直径生长率分别为1.22%~1.96%、1.94%~2.59%、4.02%~8.17%,材积生长率分别为1.74%~4.10%、3.50%~5.14%、10.12%~18.97%。【结论】目标树经营能够显著影响蒙古栎次生林各林层的生长与结构,但是各林层特征对不同抚育间伐强度的响应不一致。综合来看,中度间伐(间伐强度20%左右)是研究区蒙古栎次生林较为适合的目标树抚育间伐强度,有关具体抚育方式和后续抚育时间还有待林分动态的长期观测。

**关键词:** 目标树经营; 抚育间伐; 垂直结构; 天然次生林; 蒙古栎

**中图分类号:** S758.5<sup>+</sup>3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522-(2019)05-0056-10

**引文格式:** 张晓红, 张会儒. 蒙古栎次生林垂直结构特征对目标树经营的响应 [J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(5):56-65. Zhang Xiaohong, Zhang Huiru. Response of vertical structure characteristics of natural secondary *Quercus mongolica* forest to crop tree release [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(5): 56-65.

### Response of vertical structure characteristics of natural secondary *Quercus mongolica* forest to crop tree release

Zhang Xiaohong Zhang Huiru

(Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** [Objective] Crop tree release (CTR) based on single tree is an important way to realize close-to-nature forest management. In order to reveal influences of CTR on the vertical structure of natural secondary forests, natural secondary *Quercus mongolica* forest in the northern Changbai Mountains was used as research objects, to investigate the response of forest stand structure and single-wood growth to the different

收稿日期: 2019-01-17 修回日期: 2019-02-26

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFC0504101)。

第一作者: 张晓红, 博士, 助理研究员。研究方向: 森林可持续经营理论与技术。Email: zhangxh@ifrit.ac.cn 地址: 100091 北京市海淀区香山麓东小府1号中国林业科学研究院资源信息研究所。

责任作者: 张会儒, 研究员, 博士生导师。研究方向: 森林可持续经营。Email: huiru@ifrit.ac.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

intensity tending, which can provide basic support for developing scientific and rational management. [Method] 16 sample plots of 0.09 ha (30 m×30 m) were set up in the Jilin Wangqing Forestry Bureau in August 2013, to carry out crop tree release and thinning test. According to the thinning intensity, 4 treatments were set as: weak (5%), mild (10%), moderate (20%) and control, each treatment had 4 replicates. All sample plots were resurveyed in 2016. The stands were divided into upper, middle and lower storeys according to the canopy competition height (CCH) in stand. The effects of different tending thinning intensity on each forest storey height, tree species composition, competition and growth were analyzed. [Result] (1) the CCH of upper, middle and lower storeys was 15.27–16.12 m, 8.76–9.65 m and 2.95–3.37 m, respectively. Thinning increased the height of upper and middle forest storeys, upper forest storey height was increased from 15.42 to 17.21 by moderate thinning, which was significantly higher than other treatments, while the height of the lower forest storey remained basically unchanged. (2) Thinning adjusted the proportion of tree species in the upper and middle forest storeys. the proportion of *Betula platyphylla* was decreased while that of *Quercus mongolica* was increased in upper forest storeys, and the proportion of *Quercus mongolica* increased with the increase of thinning intensity. The proportion of other wood decreased while that of *Pinus koraiensis* increased. (3) The average DBH of upper storeys was improved under moderate thinning, with an increase of 0.57 cm, but decreased under other treatments. The average DBH of middle storey was only improved under mild thinning. Changes on average DBH of lower storey was opposite to that of upper forest storey. The proportion of upper and middle forest storeys of forest stands increased. The proportion of forest storeys in the weak, mild and moderate thinned sample plot increased by 1.92%, 11.52% and 13.15%, respectively. (4) Thinning significantly reduced the competition index of forest trees in each forest storey. The lower forest storey had the most positive response to crop tree tending and thinning. The forest competition index of lower storeys by weak thinning decreased from 0.634 to 0.455, which was the most significant. (5) DBH periodic growth rate and volume periodic growth rate of forest storey decreased with the increase of the height of forest storey. The DBH periodic growth rates of the upper, middle and lower forest storey were 1.22%–1.96%, 1.94%–2.59%, 4.02%–8.17%, respectively. The volume growth rate were 1.74%–4.10%, 3.50%–5.14%, 10.12%–18.97%, respectively. [Conclusion] CTR can significantly affect the growth and structure of different forest storeys of secondary *Quercus mongolica* forest. On the whole, moderate thinning (about 20% of thinning intensity) is suitable crop tree thinning intensity for secondary *Quercus mongolica* forest in study area. The specific tending methods and follow-up time are still based on long-term observations of forest stand dynamics.

**Key words:** crop tree release (CTR); tending felling; vertical structure; natural secondary forest; *Quercus mongolica*

蒙古栎(*Quercus mongolica*)次生林是我国东北林区的常见森林类型,多为阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林屡遭破坏后形成的一种处于次生演替阶段的森林群落,存在林地生产力下降和生态功能不断退化等问题<sup>[1-2]</sup>。近年来,随着对栎类资源经济价值和生态价值重要性的逐步认识,如何恢复蒙古栎次生林生态功能和生产力、促进其正向演替,实现生态、经济和社会三大效益最大化的多重目标已成为国内外学者的研究热点<sup>[3-5]</sup>。

基于单株木的目标树经营是一种通过降低邻木冠层竞争、增加目标树生长空间,从而提高单株木质量的营林技术<sup>[6]</sup>,是实现近自然森林经营的重要途径<sup>[7]</sup>。不同于下层间伐、上层间伐和机械间伐等常规抚育间伐,目标树抚育间伐的对象是影响目标树生长的

竞争木、干扰木,而不涉及目标树树冠以下的邻木<sup>[8]</sup>。研究林分生长与结构对目标树经营的响应,有助于理解人为干扰下林分的发展动态,是综合评价森林经营效果、研制森林经营模式的前提。研究表明目标树经营不仅能促进单株目标树的胸径生长<sup>[9-11]</sup>,而且能促进林分的胸径生长<sup>[12]</sup>,其核心是通过调整林分结构,为目标树释放更多的生长空间,以达到充分提高林内的资源利用率和提高林分生产力的目的。以往研究主要关注林分生长对目标树经营的响应,鲜有从垂直结构的角度分析目标树经营对林分的影响,尤其是对天然次生林垂直结构的影响关注较少。林分垂直结构是森林群落中各树种彼此之间为充分利用营养空间而形成的一种适应现象<sup>[13]</sup>,反映了树木之间的竞争势及其空间生态位,在很大程度上

上决定了林分的稳定性、演替方向、发展的可能性和经营空间的大小<sup>[14-15]</sup>。因此,本文以长白山北部蒙古栎次生林为研究对象,通过分析林分垂直结构特征及其对目标树抚育间伐的响应,探讨目标树经营对林分生长与结构的影响机制,为进一步揭示天然次生林树种生长特性和林分发育动态,促进次生林正向演替,制定科学合理的经营措施提供基础依据。

## 1 研究区概况

研究区位于吉林省汪清林业局塔子沟林场。属长白山系老爷岭山脉雪岭支脉,地理坐标为 130°05'~130°20'E, 43°17'~43°25'N。林区地貌属低山丘陵,海拔 300~1 200 m,坡度主要集中在 5°~25°,个别陡坡在 35°以上。该区属季风型气候,1 月份最低平均气温 -32℃,7 月份最高平均气温 32℃,全年平均气温为 3.9℃;年降水量 600~700 mm,且多集中在 7 月份。土壤多为灰棕壤土。

研究区植被主要有蒙古栎、红松、云杉(*Picea jezoensis*)、冷杉(*Abies nephrolepis*)、长白落叶松(*Larix olgensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、大青杨(*Populus ussuriensis*)、枫桦(*Betula costata*)、色木槭(*Acer mono*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、黄菠萝(*Phellodendron amurense*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、榆树(*Ulmus propinqua*)、紫椴(*Tilla amurensis*)等。主要林下小乔木和灌木有毛榛子(*Corylus mandshurica*)、暴马丁香(*Syringa reticulata*)、青楷槭(*Acer tegmentosum*)、花楷槭(*Acer ukurduense*)、山樱桃(*Cerasus sachalinensis*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、忍冬(*Lonicera altamannii*)、刺五加(*Acanthopanax senticosus*)、五味子(*Schisandra chinensis*)、珍珠梅(*Sorbaria xirilowii*)、山梅花(*Philadelphus incanus*)、柳叶绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、粉枝柳(*Salix rorida*)、刺梅蔷薇(*Rosa acicularis*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计

2013 年 8 月在研究区选择立地条件和生长情况基本一致的蒙古栎次生林,设置 16 块面积 0.09 hm<sup>2</sup> (30 m × 30 m)的样地,其中间伐样地 12 块、对照样地 4 块。间伐样地按照目标树经营(CTR)作业体系,选择并标记目标树和干扰树,目标树选择生活力旺盛(有良好生长趋势的冠形)、干形通直、无损伤和病虫害痕迹,且位于主林层的林木,包括蒙古栎、紫椴、黄菠萝等树种;同时选择对森林生态系统具有生物多样性保护等重要生态意义的林木为特殊目标树,

如乡土树种或顶级树种,包括红松、水曲柳、黄菠萝等树种;干扰树为冠层影响到目标树生长的林木。间伐强度按照采伐木蓄积占林分总蓄积的比例进行设计,分为弱度(5%)、轻度(10%)、中度(20%)3 级,每种间伐强度 4 个重复。在间伐强度控制下,从干扰树中随机选择采伐木,12 月进行间伐作业。对照样地(CT)只选择并标记目标树和干扰树,不进行间伐作业。

### 2.2 外业调查

2013 年 8 月在间伐前对样地进行本底调查,检尺所有胸径在 1 cm 以上的林木胸径、树高、枝下高、冠幅等,并按照相邻格子法将样地划分为 9 个 10 m × 10 m 的小样方,用皮尺测定每株林木的空间位置信息,并进行编号。各样地基本信息见表 1。2013 年 11 月核实并记录间伐样地内保留木和采伐木的编号。2016 年 9 月对所有样地进行复测。

### 2.3 林层划分

采用树冠光竞争高度(Canopy competition height, CCH)的方法划分林分垂直分层:采用林木的树高和冠长确定每一林层的高度值,再将林分的每一株林木划入相应林层的方法和过程<sup>[16-18]</sup>。具体计算公式为:

$$CCH = aC_1 + H_w \quad (1)$$

式中:CCH 为树冠光竞争高度(m);*a* 为截止系数,取值范围通常在 0.3~0.5 之间;*C*<sub>1</sub> 为树冠长度(m);*H*<sub>w</sub> 为枝下高(m)。

根据研究区林分结构特征和实际观测情况,参考相关研究结果<sup>[19]</sup>,将研究区林分划分为上林层、中林层和下林层 3 个垂直层。以树高和冠长最大的林木 CCH 值作为划分林层的依据,依次计算出各林层高度,即各林层高度最低点,树高大于等于该林层高度时,将其划入该林层,直至将所有林木划入相应林层。本研究截止系数 *a* 取值 0.5。

### 2.4 数据分析

采用惠刚盈等<sup>[20-21]</sup>提出的混交度和基于交角的林木竞争指数,说明树种隔离程度和林木竞争大小的变化。采用直径和材积定期生长率来说明林木生长变化,生长率采用普雷斯特公式<sup>[22]</sup>计算。利用 SPSS17.0 软件对 CTR 不同间伐强度和对照间林分因子和单木因子进行方差分析,并进行多重比较 ( $P < 0.05$ , LSD, *t* 检验)。

## 3 结果与分析

### 3.1 林层高度变化

抚育间伐前后各林层高度见表 2。伐前 4 种处理的上林层的树冠光竞争高度为 15.27~16.12 m,

表 1 蒙古栎次生林样地基本情况

Tab. 1 Basic situation of secondary *Quercus mongolica* forest sample plots

样地号 Sample plot No.	面积 /hm <sup>2</sup> Area/ha	海拔 Altitude/ m	坡向 Slope aspect	坡度 Grade/ (°)	林分密度/ (株·hm <sup>-2</sup> ) Stand density/ (tree·ha <sup>-1</sup> )	断面积/ (m <sup>2</sup> ·hm <sup>-2</sup> ) Basal area/ (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	蓄积/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> ) Stock volume/ (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	树种组成 Composition of tree species	目标树密度/ (株·hm <sup>-2</sup> ) Density of crop tree/ (tree·ha <sup>-1</sup> )	处理 Treatment
1	900	675	东南 Southeast	8	2 367	20.61	149.82	4Q1P1Bp1F1P1Pu1O	102	弱度 Weak
2	900	750	东南 Southeast	7	1 533	22.48	150.78	4Q2Pu1A1Bp1T1P	85	弱度 Weak
3	900	675	东南 Southeast	8	1 833	23.9	175.57	3Q1Bp1Pu1Q1T1P1O	99	弱度 Weak
4	900	750	东南 Southeast	7	2 044	23.21	193.74	5Q3Bp1P1An	86	弱度 Weak
5	900	675	东南 Southeast	8	1 667	26.37	204.36	6Q1Bp1P1Bd1O	76	轻度 Mild
6	900	675	东南 Southeast	8	1 844	22.39	176.31	4Q3Bp1P1O1L	89	轻度 Mild
7	900	750	东南 Southeast	7	2 033	22.38	180.23	6Q1Bp1Bd1P1An	93	轻度 Mild
8	900	705	东南 Southeast	10	1 289	21.05	159.76	4Q2T1A1T1P1Bp	87	轻度 Mild
9	900	765	东南 Southeast	6	1 433	21.25	171.34	2Q2Bp1Bd1OLQ1P1O1An	88	中度 Moderate
10	900	705	东南 Southeast	10	2 356	22.01	170.62	3Q3Bp1P1O1Pu1Bd	85	中度 Moderate
11	900	725	东南 Southeast	8	1 433	20.48	153.49	4Q1Bp2O1P1Bd1A	94	中度 Moderate
12	900	675	东南 Southeast	8	1 844	21.81	176.01	3Q3Bp1An1A1P1O	92	中度 Moderate
13	900	705	东南 Southeast	10	878	21.76	160.02	5Q2T1Bp1P1A	110	对照 Control (CT)
14	900	705	东南 Southeast	10	1 833	23.67	174.66	5Q1Bd1A1T1F1Q	96	对照 Control (CT)
15	900	705	东南 Southeast	10	1 343	24.4	171.54	5Q1A1T1Bp1P1O	180	对照 Control (CT)
16	900	715	东南 Southeast	8	1 333	23.18	170.81	6Q1A1T1P1Bp	122	对照 Control (CT)

注: Q. 蒙古栎; P. 红松; Pu. 大青杨; Bp. 白桦; Bd. 黑桦; T. 紫椴; A. 色木槭; F. 水曲柳; Af. 冷杉; L. 长白落叶松; O. 杂木, 杂木是指达到检尺直径的小乔木, 包括暴马丁香、青楷槭、花楷槭等。表4同此。Notes: Q, *Quercus mongolica*; P, *Pinus koraiensis*; Pu, *Populus ussuriensis*; Bp, *Betula platyphylla*; Bd, *Betula dahurica*; T, *Tilla amurensis*; A, *Acer mono*; F, *Fraxinus mandshurica*; Af, *Abies nephrolepis*; L, *Larix olgensis*; O, other species refer to other small trees with diameter reaching 1 cm, including *Syringa reticulata*, *Acer tegmentosum*, *Acer ukurunduense*, et al. The same as Tab. 4.

表 2 蒙古栎次生林样地抚育间伐前后林层高度变化

Tab. 2 Changes on CCH of sample plots in secondary *Quercus mongolica* forest

m

CTR处理 CTR treatment	上林层 Upper canopy layer		中林层 Middle canopy layer		下林层 Lower canopy layer	
	伐前 Before thinning	伐后3年 3 years after thinning	伐前 Before thinning	伐后3年 3 years after thinning	伐前 Before thinning	伐后3年 3 years after thinning
CT	15.86 ± 0.39a	15.60 ± 0.25a	9.31 ± 0.38a	8.98 ± 0.13a	3.22 ± 0.25a	3.12 ± 0.19a
弱度 Weak	15.27 ± 0.55a	15.42 ± 0.46b	8.76 ± 0.33b	8.85 ± 0.28a	2.95 ± 0.11b	3.09 ± 0.09a
轻度 Mild	16.12 ± 0.47a	16.40 ± 0.49c	9.30 ± 0.28a	9.43 ± 0.30b	3.14 ± 0.09b	3.18 ± 0.10a
中度 Moderate	15.63 ± 0.51a	17.21 ± 0.45d	9.65 ± 0.21a	9.95 ± 0.26c	3.37 ± 0.12a	3.29 ± 0.11b
F	1.302	14.726	5.882	15.634	4.907	6.603
P	0.319	0.000	0.010	0.000	0.019	0.007

注: CTR. 目标树经营; CT. 对照; 不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ , LSD,  $t$ 检验)。下同。Notes: CTR, crop tree release; CT, control; different lowercase letters show significant differences ( $P < 0.05$ ). The same below.

各处理间无显著差异; 中林层高度为 8.76 ~ 9.65 m, 表现出中度 > CT > 轻度 > 弱度的排序, 且弱度间伐显著低于其他处理; 下林层高度为 2.95 ~ 3.37 m, 中度间伐和对照显著高于轻度和弱度, 具体排序为中

度 > CT > 轻度 > 弱度。经过抚育间伐 3 年后, 上、中、下林层高度对各处理呈现不同的响应。上、中林层在间伐样地中有所增加, 在对照样地有所下降。其中: 上林层的变化最为显著, 平均高度为 15.42 ~

17.21 m, 表现出中度 > 轻度 > 弱度 > CT 的排序, 且各处理间存在显著差异, 上林层高度随着间伐强度的增加而增加; 下林层高度变幅较小, 在轻度间伐和弱度间伐中略有提高, 而在中度间伐和对照样地中

略有降低。经  $F$  检验, 伐前和伐后各林层之间高度在 0.01 水平上存在极显著差异(表 3), 表明林分分层效果较好。

表 3 蒙古栎次生林样地抚育间伐前后林层高度方差分析

Tab. 3 ANOVA of CCH in secondary *Quercus mongolica* forest sample plots before and after thinning

阶段 Period	CTR处理 CTR treatment	方差来源 Source of variation	离差平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square	$F$	Sig.
伐前 Before thinning	CT	组间 Between groups	319.421	2	159.711	1 360.430	<0.001
		组内 Within group	1.057	9	0.117		
		总和 Total	320.478	11			
	弱度 Weak	组间 Between groups	303.645	2	151.823	1 060.069	<0.001
		组内 Within group	1.289	9	0.143		
		总和 Total	304.934	11			
	轻度 Mild	组间 Between groups	377.026	2	188.513	1 817.673	<0.001
		组内 Within group	0.933	9	0.104		
		总和 Total	377.959	11			
	中度 Moderate	组间 Between groups	432.180	2	216.090	1 342.081	<0.001
		组内 Within group	1.449	9	0.161		
		总和 Total	433.629	11			
伐后3年 3 years after thinning	CT	组间 Between groups	312.125	2	156.063	3 983.733	<0.001
		组内 Within group	.353	9	0.039		
		总和 Total	312.478	11			
	弱度 Weak	组间 Between groups	344.794	2	172.397	1 703.527	<0.001
		组内 Within group	.911	9	.101		
		总和 Total	345.705	11			
	轻度 Mild	组间 Between groups	387.254	2	193.627	1 714.232	<0.001
		组内 Within group	1.017	9	0.113		
		总和 Total	388.271	11			
	中度 Moderate	组间 Between groups	382.311	2	191.156	1 953.226	<0.001
		组内 Within group	0.881	9	0.098		
		总和 Total	383.192	11			

### 3.2 林层树种组成变化

林分各层树种组成差异较大(表 4)。上林层以白桦、蒙古栎、紫椴、黑桦等阔叶树种为主。由于上林层是受采伐活动等人为干扰直接影响发育形成的林分, 因此红松等地带性植被已经降在下林层, 取而代之的是白桦、黑桦等喜光、生长快的先锋树种。中林层树种组成较为复杂, 既有蒙古栎、白桦、杂木等阔叶树种, 也开始出现红松、冷杉等针叶树种, 但蒙古栎在中林层中占有明显的优势地位。下林层中蒙古栎比重下降、红松比重增加, 且白桦、黑桦等先锋树种不再占优势地位。从间伐前后各树种在各林层所占的比重来看, 抚育间伐并未改变各林层的主要树种组成, 只是在一定程度上调整了树种所占比重,

降低了上林层中白桦的比重, 提高了蒙古栎的比重, 并且随着间伐强度的增大, 蒙古栎所占比重逐渐增加。中林层对抚育间伐也有一定响应, 特别是红松的比重有所增加, 下林层树种组成基本不变, 这是由于目标树抚育间伐的伐除对象主要是影响目标树生长, 且树冠触及目标树的干扰木。

### 3.3 林层平均胸径和蓄积量变化

间伐前后林分垂直各层次平均胸径均随着林层高度的增加而增大(图 1)。间伐前上、中、下林层平均胸径分别为 30.12 ~ 31.64 cm、13.90 ~ 17.8 cm、4.51 ~ 5.65 cm。经方差分析  $F$  检验, 上林层平均胸径在各处理间无显著差异, 弱度间伐的中林层平均胸径显著低于其他处理, 而中度、强度间伐与对照之

表 4 蒙古栎次生林样地抚育间伐前后林层主要树种组成变化

Tab. 4 Changes on the tree species composition of each storey in secondary *Quercus mongolica* forest sample plots

CTR处理 CTR treatment	林层 Canopy layer	伐前 Before thinning	伐后3年 3 years after thinning
CT	上林层 Upper canopy layer	Q (45.47%) T (24.69%) Bp (9.55%) A (9.21%)	Q (40.23%) T (23.88%) Bp (15.17%) A (9.93%)
	中林层 Middle canopy layer	Q (73.78%) A (8.28%) T (4.77%) Bp (4.81%)	Q (69.62%) A (9.90%) Bp (6.67%) T (3.14%)
	下林层 Lower canopy layer	Q (40.35%) P (37.40%) A (13.11%) O (2.95%)	Q (29.30%) P (44.49%) A (16.74%) O (2.29%)
弱度 Weak	上林层 Upper canopy layer	Bp (39.31%) Q (23.61%) Pu (16.63%) T (9.35%)	Bp (38.11%) Q (26.30%) Pu (11.59%) T (9.24%)
	中林层 Middle canopy layer	Q (57.93%) Pu (19.89%) Bp (5.65%) P (3.60%)	Q (62.07%) Pu (14.16%) Bp (5.20%) P (4.38%)
	下林层 Lower canopy layer	Q (57.93%) A (20.81%) P (18.35%) O (11.52%)	Q (29.69%) A (21.87%) P (17.80%) O (12.82%)
轻度 Mild	上林层 Upper canopy layer	Bp (41.12%) Q (22.39%) T (12.94%) Bd (10.80%)	Bp (36.12%) Q (30.72%) T (15.68%) Bd (6.80%)
	中林层 Middle canopy layer	Q (79.29%) Bp (4.77%) P (3.62%) A (3.56%)	Q (79.87%) Bp (4.70%) P (4.84%) A (3.07%)
	下林层 Lower canopy layer	Q (41.47%) P (38.36%) O (9.76%) A (3.33%)	Q (36.09%) P (39.76%) O (10.49%) A (4.15%)
中度 Moderate	上林层 Upper canopy layer	Bp (63.76%) Bd (14.47%) Q (13.17%) L (6.53%)	Bp (46.99%) Q (27.12%) Bd (15.33%) L (7.51%)
	中林层 Middle canopy layer	Q (67.64%) O (11.22%) Af (5.57%) P (4.70%)	Q (72.78%) O (9.14%) P (6.20%) Af (5.35%)
	下林层 Lower canopy layer	Q (33.61%) P (31.91%) O (20.82%) A (3.93%)	Q (30.33%) P (33.46%) O (22.12%) A (3.52%)

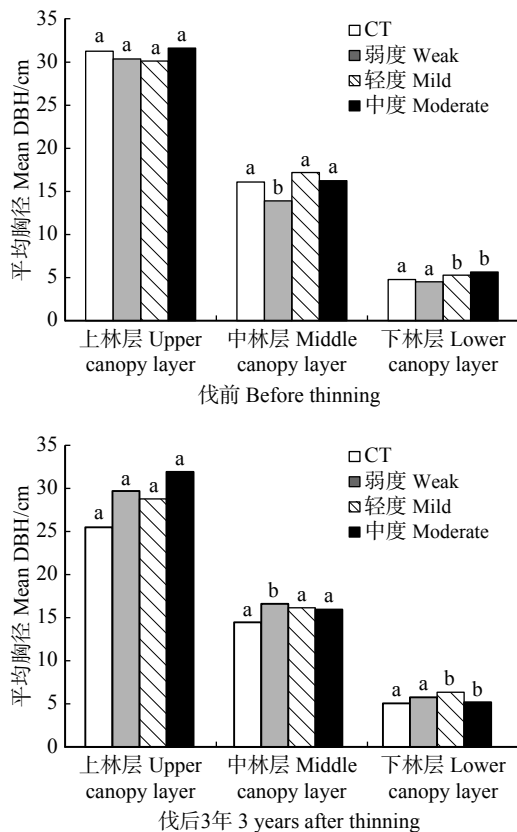


图 1 蒙古栎次生林样地抚育间伐前后林层平均胸径变化  
Fig. 1 Changes on mean DBH of each storey in secondary *Quercus mongolica* forest sample plots

间不存在显著差异。抚育间伐后,各林层平均胸径对不同强度的抚育间伐处理的响应不一致,上林层平均胸径在中度间伐下得到了提高,增幅达到 0.57 cm,而在其他处理下有所下降。中林层平均胸径只在轻度间伐下得到提升;下林层平均胸径的变化与上林层呈现相反的趋势,在中度间伐下有所下

降,而在其他处理下增大。由此可以看出,中度间伐在促进上层林木胸径生长的同时,会引起中、下林层的平均胸径下降;轻度间伐提高了中林层的平均胸径,降低了上、下林层的平均胸径;弱度间伐促进了中、下林层平均胸径的生长,抑制了上层平均胸径的生长;对对照样地的上、中林层平均胸径均有所下降,只有下林层略有提高。

各林层平均胸径直接影响各林层蓄积量。林分垂直各层次蓄积量变化较大,中、上层蓄积量之和占林分总蓄积量的 90% 以上,下林层蓄积比例仅占 5% ~ 9.75%。间伐样地中林层蓄积比例均高于上层,而对对照地上林层蓄积量高于中林层,这是由间伐样地中林层株数较主林层多而引起的(表 5)。抚育间伐调整了林分各垂直层的蓄积量,表现为上层蓄积量增大、中林层蓄积量减少的趋势,并且间伐强度越大,上层蓄积增量越大,弱度、轻度、中度间伐样地上林层蓄积量分别增加了 1.92%、11.52%、13.15%;而对对照地上、中林层蓄积量的响应与间伐样地相反,呈现上层蓄积量减少、中林层蓄积量增大的趋势。

### 3.4 各林层林木竞争指数变化

各林层林木竞争指数随林层高度的增加,呈现逐级下降的趋势,且降幅较为明显(图 2)。伐前各样地上、中、下林层的平均林木竞争指数为 0.129 ~ 0.147、0.335 ~ 0.398、0.599 ~ 0.685,下林层是中林层的 1.51 ~ 2.04 倍,中林层是上林层的 2.28 ~ 3.08 倍。目标树抚育间伐显著降低了各林层林木竞争指数,缓解了林木之间的竞争压力。各林层林木竞争状况对于不同强度的间伐处理的响应不一致,下林

表5 蒙古栎次生林样地抚育间伐前后各林层蓄积量比值变化

Tab. 5 Changes on volume ratio of each storey in secondary *Quercus mongolica* forest sample plots

%

CTR处理 CTR treatment	伐前 Before thinning			伐后3年 3 years after thinning		
	上林层 Upper canopy layer	中林层 Middle canopy layer	下林层 Lower canopy layer	上林层 Upper canopy layer	中林层 Middle canopy layer	下林层 Lower canopy layer
	CT	54.60 ± 3.00a	40.40 ± 0.93a	5.00 ± 0.17a	48.03 ± 3.58	46.88 ± 2.57a
弱度 Weak	44.30 ± 1.95b	49.70 ± 4.34b	5.84 ± 0.44b	46.22 ± 3.16	46.71 ± 1.12a	7.07 ± 1.59b
轻度 Mild	36.13 ± 1.85c	56.83 ± 2.79c	6.91 ± 0.51c	47.65 ± 3.70	42.96 ± 0.80b	9.64 ± 0.17c
中度 Moderate	44.82 ± 4.43b	45.43 ± 0.86d	9.75 ± 0.51d	57.97 ± 3.50	37.82 ± 0.40c	4.21 ± 0.27a

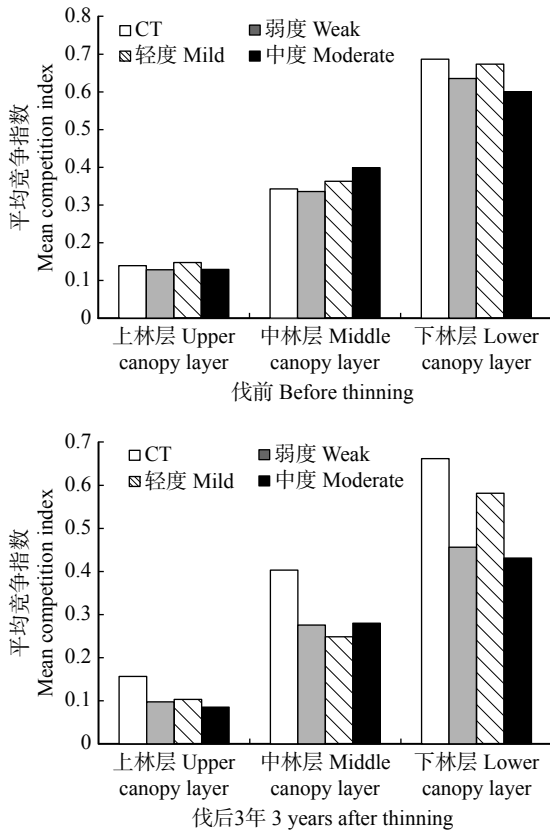


图2 蒙古栎次生林样地抚育间伐前后林层林木竞争指数变化

Fig. 2 Changes on mean competition index of each storey in secondary *Quercus mongolica* forest sample plots

层对目标树抚育间伐响应最为积极,其中以弱度间伐的降幅最为显著,林木竞争指数由0.634降为

0.455;中林层林木竞争对间伐的响应仅次于下林层,而上林层对于目标树抚育间伐的响应最弱。这是由于上林层林木多为林分中的优势木或亚优势木,抚育间伐对其生长影响较小,而中、下林层的林木由于间伐活动获得了更多的生长空间,因此林木之间的竞争压力减小。相比间伐样地,对照样地的中、上林层林木竞争压力增大。

### 3.5 林层单木生长情况

蒙古栎次生林各林层直径定期生长率和材积定期生长率随林层高度的增加而降低,抚育间伐3年后,上、中、下林层的直径生长率分别为1.22%~1.96%、1.94%~2.59%、4.02%~8.17%,材积生长率分别为1.74%~4.10%、3.50%~5.14%、10.12%~18.97%。与对照林分相比,目标树抚育间伐显著促进了上、中林层的单木直径定期生长率和材积定期生长率(表6),但是不同间伐强度对林分生长的影响不同。从上林层的林木生长来看,单木直径和材积生长随间伐强度的增加而增大,中度间伐对单木直径和材积生长的促进作用显著高于弱度和轻度间伐,单木直径、材积生长率分别达到对照的1.61倍、2.34倍,而弱度和轻度之间差异不显著;中林层单木直径和材积的生长率对轻度间伐的响应最大,分别为对照的1.33倍、1.45倍,但是3种间伐强度间不存在显著差异;下林层单木直径和材积生长呈现出对照>轻度>弱度>中度的排序,不同处理对下林

表6 蒙古栎次生林各林层单木直径定期生长率和材积定期生长率

Tab. 6 DBH periodic growth rate and volume periodic growth rate of each storey in secondary *Quercus mongolica* forest

%

CTR处理 CTR treatment	直径定期生长率 DBH periodic growth rate			材积定期生长率 Volume periodic growth rate		
	上林层 Upper canopy layer	中林层 Middle canopy layer	下林层 Lower canopy layer	上林层 Upper canopy layer	中林层 Middle canopy layer	下林层 Lower canopy layer
	CT	1.22 ± 0.16a	1.94 ± 0.46a	8.17 ± 0.40a	1.74 ± 0.59a	3.50 ± 0.34a
弱度 Weak	1.42 ± 0.17b	2.43 ± 0.97b	5.02 ± 0.18b	2.46 ± 0.51b	5.06 ± 0.26b	12.27 ± 0.44b
轻度 Mild	1.49 ± 0.21b	2.59 ± 0.57b	6.03 ± 0.28c	2.52 ± 0.38b	5.14 ± 0.68b	14.75 ± 0.64c
中度 Moderate	1.96 ± 0.28c	2.32 ± 0.78b	4.02 ± 0.15d	4.10 ± 0.92c	4.94 ± 0.28b	10.12 ± 0.37d
F	8.725	3.467	44.849	9.392	5.154	40.426
P	0.006	0.016	0.000	0.001	0.002	0.000

层单木直径和材积生长率的影响差异显著, 对照样地下林层单木生长显著高于间伐样地, 原因可能是对照样地上层林木因生长受到抑制而出现更多的枯损木, 为下层林木提供了更多生长空间。

#### 4 结论与讨论

林分垂直结构是林分某个特定阶段各物种对复杂生境适应性的垂直分化特征, 随着林龄增长, 在不同生长阶段的垂直结构将会发生变化<sup>[23]</sup>, 所以如何动态表述林分垂直结构特征是森林经营研究的重点。蒙古栎次生林的垂直结构可分为3层, 树冠光竞争高度分别为上林层 15.27 ~ 16.12 m、中林层 8.76 ~ 9.65 m、下林层 2.95 ~ 3.37 m。经过目标树抚育间伐3年后, 林分垂直结构变化相对复杂, 各林层对于不同强度的间伐处理的响应也存在差异。上林层通过间伐降低了林木之间的竞争, 在中度间伐强度下, 树冠光竞争高度增大, 单木直径和材积生长率都显著高于中林层和下林层, 进而平均胸径和蓄积量也显著高于其他林层。中林层在间伐处理下林木竞争压力减小, 但是单木直径和材积生长率在各间伐强度间并无显著差异, 这是由于中林层的发展除了受抚育强度的影响外, 还与上层林木的生长动态紧密相关。上林层对整个林分树种组成和蓄积量等结构特征起到关键性作用<sup>[24]</sup>, 在为林分更新起到遮荫、庇护和母树作用的同时, 还影响着光照资源的分配。随着上层层蒙古栎、白桦、紫椴、黑桦等阔叶树种的生长, 中林层的喜光阔叶树种的生长将会受到抑制, 这也为红松等耐荫树种提供了更多的生长空间, 形成中林层红松蓄积比例上升的发展趋势。从下林层林木发展动态来看, 间伐对单木直径和材积生长起到了抑制作用, 并且这种抑制作用在中度间伐下更为显著, 因此针对上林层的目标树抚育间伐还要同时考虑下林层的现状和可能的演替方向, 通过采取补植和人工辅助天然更新等措施来促进下林层林分的生长。

抚育间伐是人为主动调整林分生长、林分结构和总收获量的主要营林措施<sup>[25-27]</sup>, 间伐方式、间伐强度、间伐时间等关键技术参数的确定要因林分类型而异<sup>[28]</sup>。目标树经营的核心是单株重点经营, 林木个体大小差异是目标树经营的基础<sup>[29]</sup>。从不同林层对目标树经营的响应来看, 很难给出一个同时促进3个林层生长与调整结构的抚育间伐强度, 但是从上林层林木生长与结构的响应来看, 中度间伐(间伐强度20%左右)是研究区蒙古栎次生林较为适合的抚育强度, 其原因是林分整体价值绝大部分都集中于相对少量的林木个体上, 能够提供森林经营物质的

收获主体是少量的优势上层林木而不是众多小林木<sup>[30-31]</sup>。因此, 抚育的重心放在所有具有较大生长潜力和经济价值的少量、易于管理的目标树上, 才能够满足木材生产、生物多样性保护或景观游憩等经营目标, 但是具体的间伐措施还应依据目标树的密度与选择标准而定。

从垂直结构的视角分析林分对目标树经营的响应, 能够很好地分析目标树抚育间伐的经营效果, 但是本文的研究结果是间伐3年后的林分的短期变化。林分的分层差异是各树种之间以及树种与环境之间相互竞争和相互选择的结果, 林分中各林层对林分整体的结构与功能发挥着各自不同的作用<sup>[32]</sup>, 各林层对人为干扰的响应直接影响森林经营措施的经营效果。目前有关目标树经营对林分生长和结构的短期影响结论相对一致, 即目标树经营能够提高目标树的邻体竞争力<sup>[33]</sup>, 提高亚优势木和中等木的成活率<sup>[34]</sup>, 能在短期内改变林分密度、结构和物种组成<sup>[35]</sup>。但从长期来看, 有学者认为目标树经营对林分结构和物种组成的影响, 与对照处理无明显差异<sup>[36]</sup>, 特别是在目标树经营对树高的影响方面。Lamson<sup>[37]</sup>曾指出目标树经营对橡树(*Quercus rubra*)树高的影响分两个阶段, 前5年的树高生长量是下降的, 但是10年后的树高生长量与未经释放的橡树相比无明显差异。因此, 关于目标树经营对林分的长期影响还有待进一步观测, 关于如何通过抚育措施最大程度地扩大树种利用环境的范围, 缓解树种之间争夺光照、水分和生长空间的矛盾, 如何调整各林层树种的大小差异更有利于林下植被更新, 以及后续调整垂直结构的时间等问题还有待进一步研究。

#### 参 考 文 献

- [1] 樊后保, 臧润国, 李德志. 蒙古栎种群天然更新的研究[J]. 生态学杂志, 1996, 15(3): 15-20.  
Fan H B, Zang R G, Li D Z. Natural regeneration of Mongolian oak population[J]. Chinese Journal of Ecology, 1996, 15(3): 15-20.
- [2] 王文权. 辽宁森林资源. 北京[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.  
Wang W Q. Forest resources in Liaoning Province[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007.
- [3] 何友均, 梁星云, 覃林, 等. 南亚热带马尾松红椎人工林群落结构、物种多样性及基于自然的森林经营[J]. 林业科学, 2013, 49(4): 24-33.  
He Y J, Liang X Y, Qin L, et al. Community structure, species diversity of *Pinus massoniana* and *Castanopsis hystrix* plantation and the nature-based forest management in the southern subtropical China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(4): 24-33.
- [4] Demirc M, Bettinger P. Using mixed integer multi-objective goal programming for stand tending block designation: a case study



- from Turkey[J]. *Forest Policy and Economics*, 2015, 55: 28–36.
- [5] 盛炜彤. 我国应将天然次生林的经营放在重要位置[J]. 林业科技通讯, 2016(2): 10–13.
- Sheng W T. China should put an important position for the management of natural secondary forests[J]. *Forest Science and Technology*, 2016(2): 10–13.
- [6] Miller G W, Stringer J W, Mercker D C. Technical guide to crop tree release in hardwood forests[R/OL]//The University of Tennessee Agricultural Extension Service Publication Series. Knoxville: University of Tennessee, 2007: 1–24. [2018–10–10]. [http://trace.tennessee.edu/utk\\_agexfores/19](http://trace.tennessee.edu/utk_agexfores/19).
- [7] 陆元昌. 近自然森林经营理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- Lu Y C. Theory and practice of close-to-nature forest management[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [8] Healy W M, Lewis A M, Boose E F. Variation of red oak acorn production[J]. *Forest Ecology and Management*, 1999, 116(1–3): 1–11.
- [9] 宁金魁, 陆元昌, 赵浩彦, 等. 北京西山地区油松人工林近自然化改造效果评价[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(7): 42–44.
- Ning J K, Lu Y C, Zhao H Y, et al. Assessment on close-to-nature transformation of *Pinus tabulaeformis* plantations in Xishan Region, Beijing[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(7): 42–44.
- [10] 王懿祥, 张守攻, 陆元昌, 等. 干扰树间伐对马尾松人工林目标树生长的初期效应[J]. *林业科学*, 2014, 50(10): 67–73.
- Wang Y X, Zhang S G, Lu Y C, et al. Initial effects of crop trees growth after crop tree release on *Pinus massoniana* plantation[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2014, 50(10): 67–73.
- [11] 李婷婷, 陆元昌, 姜俊, 等. 马尾松人工林森林经营模式评价[J]. *西北林学院学报*, 2015, 30(1): 164–171.
- Li T T, Lu Y C, Jiang J, et al. Assessment of forest management model of *Pinus massoniana* plantation[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2015, 30(1): 164–171.
- [12] 张晓红, 张会儒, 卢军, 等. 美国目标树经营体系及其经营效果研究进展[J]. *世界林业研究*, 2016, 29(2): 91–96.
- Zhang X H, Zhang H R, Lu J, et al. Crop tree release in United States and progress on management effect[J]. *World Forestry Research*, 2016, 29(2): 91–96.
- [13] 李俊清, 牛树奎, 刘艳红. 森林生态学[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- Li J Q, Niu S K, Liu Y H. Forest ecology[M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2017.
- [14] 臧润国, 杨彦承, 蒋有绪. 海南岛霸王岭热带山地雨林群落结构及树种多样性特征的研究[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 270–275.
- Zang R G, Yang Y C, Jiang Y X. Community structure and tree species diversity characteristics in a tropical montane rain forest in bawangling nature reserve, Hainan Island[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(3): 270–275.
- [15] 惠刚盈, Gadow K V, 胡艳波, 等. 结构化森林经营[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- Hui G Y, Gadow K V, Hu Y B, et al. Structure based forest management[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007.
- [16] Latham P A, Zuuring H R, Coble D W. A method for quantifying vertical forest structure[J]. *Forest Ecology and Management*, 1998, 104(1): 157–170.
- [17] Ishii H T, Tanabe S, Hiura T. Exploring the relationships among canopy structure, stand productivity, and biodiversity of temperate forest ecosystems[J]. *Forest Science*, 2004, 50(3): 342–355.
- [18] 郑景明, 张春雨, 周金星, 等. 云蒙山典型森林群落垂直结构研究[J]. *林业科学研究*, 2007, 20(6): 768–774.
- Zheng J M, Zhang C Y, Zhou J X, et al. Study on vertical structure of forest communities in Yunmengshan[J]. *Forest research*, 2007, 20(6): 768–774.
- [19] 玉宝, 张秋良, 王立明. 中幼龄兴安落叶松过伐林垂直结构综合特征[J]. *林业科学*, 2015, 51(1): 132–139.
- Yu B, Zhang Q L, Wang L M. Comprehensive characteristics of the vertical structure of middle young over cutting forest of *Larix gmelinii*[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2015, 51(1): 132–139.
- [20] 惠刚盈, 胡艳波, 赵中华, 等. 基于交角的林木竞争指数[J]. *林业科学*, 2013, 49(6): 68–73.
- Hui G Y, Hu Y B, Zhao Z H, et al. Forest competition index based on intersection angle[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2013, 49(6): 68–73.
- [21] 惠刚盈. 基于相邻木关系的林分空间结构参数应用研究[J]. *北京林业大学学报*, 2013, 35(4): 1–9.
- Hui G Y. Studies on the application of stand spatial structure parameters based on the relationship of neighborhood trees[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2013, 35(4): 1–9.
- [22] 孟宪宇. 测树学[M]. 3版. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- Meng X Y. Forest mensuration[M]. 3rd ed. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006.
- [23] 吕勇, 臧颢, 万献军, 等. 基于林层指数的青桐混交林林层结构研究[J]. *林业资源管理*, 2012(3): 81–84.
- Lü Y, Zang H, Wan X J, et al. Storey structure study of *Cyclobalanopsis myrsinaefolia* mixed stand based on storey index[J]. *Forest Resources Management*, 2012(3): 81–84.
- [24] 陈科屹, 张会儒, 雷相东, 等. 云冷杉过伐林垂直结构特征分析[J]. *林业科学研究*, 2017, 30(3): 450–459.
- Chen K Y, Zhang H R, Lei X D, et al. Analysis of vertical structure characteristics for spruce-fir over-cutting forest[J]. *Forest Research*, 2017, 30(3): 450–459.
- [25] 马履一, 李春义, 王希群, 等. 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[J]. *林业科学*, 2007, 43(5): 1–9.
- Ma L Y, Li C Y, Wang X Q, et al. Effects of thinning on growth and diversity of undergrowth of *Pinus tabulaeformis* plantation in Beijing Mountainous Areas[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(5): 1–9.
- [26] 段劼, 马履一, 贾黎明, 等. 抚育间伐对侧柏人工林及林下植被生长的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(6): 1431–1441.
- Duan J, Ma L Y, Jia L M, et al. Effects of thinning on growth of *Platycladus orientalis* plantation and undergrowth vegetations[J].

- Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6): 1431–1441.
- [27] 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]. 林业科学研究, 2014, 27(1): 99–107.
- Xu J L, Mao Y M, Zheng C Z, et al. Effect of thinning on growth and timber qutturn in *Cunninghamia lanceolate* plantation[J]. Forest Research, 2014, 27(1): 99–107.
- [28] 尤文忠, 赵刚, 张慧东, 等. 抚育间伐对蒙古栎次生林生长的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35(1): 56–64.
- You W Z, Zhao G, Zhang H D, et al. Effects of thinning on growth of mongolian oak (*Quercus mongolica*) secondary forests[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(1): 56–64.
- [29] Miller G W, Kochenderfer J N, Fekedulgn D B. Influence of individual reserve trees on nearby reproduction in two-aged appalachian hardwood stands[J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 224(3): 241–251.
- [30] 陆元昌, 张守攻, 雷相东, 等. 人工林近自然化改造的理论基础和实施技术 [J]. 世界林业研究, 2009, 22(1): 20–27.
- Lu Y C, Zhang S G, Lei X D, et al. Theoretical basis and implementation techniques on close-to-nature transformation of plantations[J]. World Forestry Research, 2009, 22(1): 20–27.
- [31] Gary D L. Ten year growth response of red and white oak crop trees to intensity of crown release[R]//Walrop T A. General technical report (SRS-20). Asheville: Department of Agriculture, Forestry Service, Southern Research Station, 1998: 163–167.
- [32] Lin Y C, Chang L W, Yang K C, et al. Point patterns of tree distribution determined by habitat heterogeneity and dispersal limitation[J]. *Oecologia*, 2011, 165(1): 175–184.
- [33] Shchuler T M. Crop tree release improves competitiveness of northern red oak growing in association with black cherry[J]. Northern Journal of Applied Forestry, 2006, 23(2): 77–82.
- [34] Ward J S. Intensity of precommercial crop tree release increases diameter growth and survival of upland oaks[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2009, 39(1): 118–130.
- [35] Ward J S. Precommercial crop tree release increases upper canopy persistence and diameter growth of oak saplings[J]. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2013, 30(4): 156–163.
- [36] Leak W B, Smith M L. Long-term species and structural changes after cleaning young even-aged northern hardwoods in New Hampshire, USA [J]. *Forest Ecology and Management*, 1997, 95(1): 11–20.
- [37] Lamson N I. Precommercial thinning increases diameter growth of Appalachian hardwood stump sprouts[J]. Southern Journal of Applied Forestry, 1983, 7(2): 93–97.

(责任编辑 冯秀兰  
责任编辑 惠刚盈)