

水曲柳、胡桃楸、黄菠萝硬阔叶混交林树种组成调整技术研究

孙楠<sup>1,2</sup>, 刘奇<sup>3\*</sup>

(1. 黑龙江省伊春林业科学院, 黑龙江 伊春 153000; 2. 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150040;  
3. 黑龙江省林业科学院, 黑龙江 哈尔滨 150081)

**摘要:**以小兴安岭水曲柳、胡桃楸、黄菠萝硬阔叶混交林为研究对象,在对林分进行不同强度的抚育采伐,改变其原有的树种组成和林分结构,5 a 后对林分的生长进行测定。结果表明,小兴安岭水、胡、黄硬阔叶混交林的最佳的抚育强度为弱度采伐,即株数采伐强度在 20% 左右,蓄积采伐强度在 25% 左右,该林分 5 a 内林分的公顷蓄积增加了  $32.25\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,年平均增加  $6.45\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,该结论有助于提高小兴安岭林区水、胡、黄硬阔叶混交林的分类经营水平。

**关键词:**硬阔叶混交林; 树种组成; 结构调整; 采伐强度

中图分类号: S753.5      文献标志码: A      文章编号: 1001-7461(2015)01-0120-06

Adjusting the Tree Species Composition of Hardwood Broad-leaved Mixed Forests of *Fraxinus mandshurica*, *Juglandis mandshuricae* and *Phyllostachys sulphurea*

SUN Nan<sup>1,2</sup>, LIU Qi<sup>3\*</sup>

(1. Yichun Academy of Forestry, Yichun, Heilongjiang 153000, China; 2. Northeast Forestry University, Haerbin, Heilongjiang 150040, China; 3. Forestry Academy of Heilongjiang Province, Haerbin, Heilongjiang 150081, China)

**Abstract:** Tree species composition and stand structure of hardwood broad-leaved mixed forests of *Fraxinus mandshurica*, *Juglandis mandshuricae* and *Phyllostachys sulphurea* were changed by tending cuttings with different intensities. Relative parameters were measured 5 years after the cutting to examine the influence of tending cutting on the quality of the forest stands. The results showed that, the best cutting intensity was the weak felling, namely, 20% for number cutting intensity, and 25% for accumulation cutting intensity, by which the stock accumulation increased by  $32.25\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  with an average annual increase of  $6.45\text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ . This conclusion is helpful to improve the classification management level of the hardwood broad-leaved mixed forests in the Xiaoxingan Mountains.

**Key words:** hardwood broad-leaved mixed forest; tree species composition; structural adjustment; cutting intensity

林分的树种组成,在很大程度上影响着林分的更新和演替方向,合理的树种组成应该有利于天然更新的完成,促使林分生态系统向着稳定的方向演替,保证森林存在和发展的可持续<sup>[1-2]</sup>。水曲柳、胡桃楸、黄菠萝是东北林区的 3 大硬阔叶树种<sup>[3-4]</sup>,因为优良的木材性质决定了它们特有的用途与价值由于过度采伐,这些珍贵树种的数量日趋渐少,大树已

不多见,目前,水曲柳、胡桃楸、黄菠萝阔叶林大多是次生林,面积较小,分布比较零散,林分中小树、劣质木居多,林分生长量较小<sup>[5]</sup>。因此,如何在保护这些林分的同时对树种组成进行调整,使其达到生态效益和经济效益的最大化,成为当前水、胡、黄硬阔叶林经营的重中之重。

收稿日期: 2014-03-10    修回日期: 2014-04-08  
基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题(2012BAD020501)。  
作者简介: 孙楠,女,副研究员,博士,研究方向: 森林经理与森林培育。E-mail: 66834923@qq.com  
\* 通信作者: 刘奇,女,工程师,硕士,研究方向: 森林培育。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验地设置在黑龙江省伊春市铁力林业局茂林河林场,属小兴安岭南麓山脉,海拔平均 513 m,温带大陆性季风气候。年平均气温 1.4℃,年平均≥0℃有效积温 2 249℃,年均降水量 630 mm,无霜期 128 d。土壤为山地暗棕壤。

1.2 数据收集与分析方法

1.2.1 数据收集 以铁力林业局的茂林河林场硬阔叶混交林为研究对象,2008年采用弱度、中度和

强度 3 种抚育强度(弱度采伐只是对林分的霸王树、枯死木和濒死木进行了清理;中度采伐是在弱度采伐的基础上对一些杂木、干形不好的树进行抚育伐;强度采伐是在中度采伐的基础上对影响目的树种生长的林木进行抚育伐,使株数保持在 600 株·hm<sup>-2</sup>左右)对林分进行干预,部分进行林下更新。共设置固定标准地 7 块,均匀分布在不同采伐强度的林分,并设置对照,伐取解析木 24 株(表 1)。2013 年对林分进行复测,分析不同的采伐强度对林分各生长量的影响,从而为水、胡、黄硬阔叶林可持续经营模式的提出提供有力的数据支撑。

表 1 标准地资料的统计特征

Table 1 The basic characteristics of experiment plots

树种	平均数 /cm	中位数 /cm	方差	标准差	标准误	最小值 /cm	最大值 /cm	偏度	变异系数
水曲柳( <i>Fraxinus mandshurica</i> )	13.22	11.6	26.34	5.13	0.563	7.8	37.30	1.899	0.388
黄菠萝( <i>Phellodendron amurense</i> )	13.27	12.7	17.32	4.16	0.356	7.5	30.0	1.235	0.314
胡桃楸( <i>Juglans mandshurica</i> )	18.53	16.9	57.59	7.57	0.614	8.2	51.1	1.750	0.409
枫桦( <i>Betula costata</i> )	15.12	14.5	21.31	4.62	1.332	9.3	24.0	0.449	0.305
落叶松( <i>Larix gmelinii</i> )	13.33	12.7	14.03	3.75	0.225	7.5	26.5	0.706	0.281
红松( <i>Pinus koraiensis</i> )	12.30	11.2	8.47	2.91	1.680	10.1	15.6	0.595	0.237
云杉( <i>Picea asperata</i> )	51.30	51.3	—	—	—	51.3	51.3	—	—
山杨( <i>Populus davidiana</i> )	16.71	15.5	39.75	6.30	0.985	7.0	35.5	1.210	0.377
柞树( <i>Quercus mongolica</i> )	19.20	19.2	—	—	—	19.2	19.2	—	—
色木槭( <i>Acer mono</i> )	20.90	22.0	93.24	9.66	1.858	8.8	49.4	0.811	0.462
榆树( <i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> )	14.89	13.4	37.55	6.13	0.603	7.5	42.0	1.465	0.412
椴树( <i>Tilia tuan</i> )	14.17	17.5	33.33	5.77	3.333	7.5	17.5	−0.710	0.408
白桦( <i>Betula platyphylla</i> )	16.47	15.9	35.17	5.93	1.294	8.2	29.2	0.427	0.360
大青杨( <i>Populus ussuriensis</i> )	30.50	30.2	86.44	9.29	3.099	10.5	45.0	−0.740	0.305

1.2.2 分析方法 林分直径分布:

$$N=ke^{-aD} \tag{1}$$

式中:  $N$ —株数;  $D$ —径级;  $k$ ,  $a$ —参数。

胡希<sup>[16]</sup>(1979)把  $q$  值与负指数分布联系起来:

$$q=e^{ah} \tag{2}$$

式中:  $q$ —2 个相邻径级株数之比;  $a$ —负指数分布的结构常数;  $h$ —径级距。

2 结果与分析

2.1 水、胡、黄硬阔叶混交林的林分结构

对小兴安岭铁力林业局茂林河林场硬阔叶混交林固定标准地进行统计,经过边缘校正以后,总计 2 816 株,直径按径阶分布的结果见表 2,起测径阶为 8 cm,径阶距为 2 cm。

表 2 标准地径阶分布

Table 2 The diameter distribution of the standard

径阶/cm	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
株数	460	479	428	348	291	188	120	72	50	37	34	17	23
径阶/cm	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	
株数	11	15	2	7	4	4	1	4	5	0	0	1	

根据做出径阶的分布图可以看出,图 1 是比较典型的反“J”型分布,按照公式(1)进行模拟,得到  $k=2\,319.252$ ,  $a=0.140$ ,相关系数  $r=0.965$ ,说明硬阔叶混交林的保留株数按直径的分布符合倒“J”形曲线。径阶为 20 cm 以下的林木株数较多,径阶大的株数就较少,最大径阶为 58 cm。

把林木株数对数化后使公式(1)变形为线性(图 2),可以看出拟合效果比较好,前面的计算得出参数  $a=0.140$ ,径阶距  $h=2$  cm,根据公式(2)可以得出  $q=1.32$ ,处于德莱奥古所确定的  $q$  值范围 1.2~1.5 之间,说明小兴安岭铁力林业局茂林河林场株数分布是合理的。

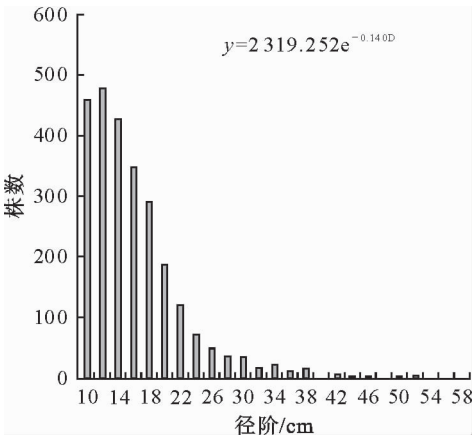


图 1 林木株数的径阶分布

Fig. 1 The diameter distribution of the tree's number

2.2 主要树种的生长规律

选取水曲柳、胡桃楸和黄菠萝 3 种主要树种的标准木做树干解析,并对其胸径的总生长量、平均生长量、连年生长量和生长率进行了分析,作为了解小兴安岭铁力林业局茂林河林场水、胡、黄硬阔叶林分生长情况的依据。

水曲柳胸径、树高和材积的平均生长量都呈现逐渐上升的趋势,胸径的平均生长量 10~20 a 之间

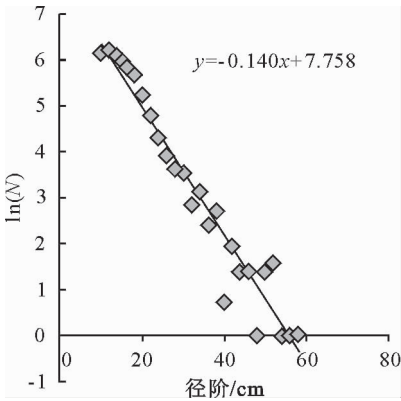
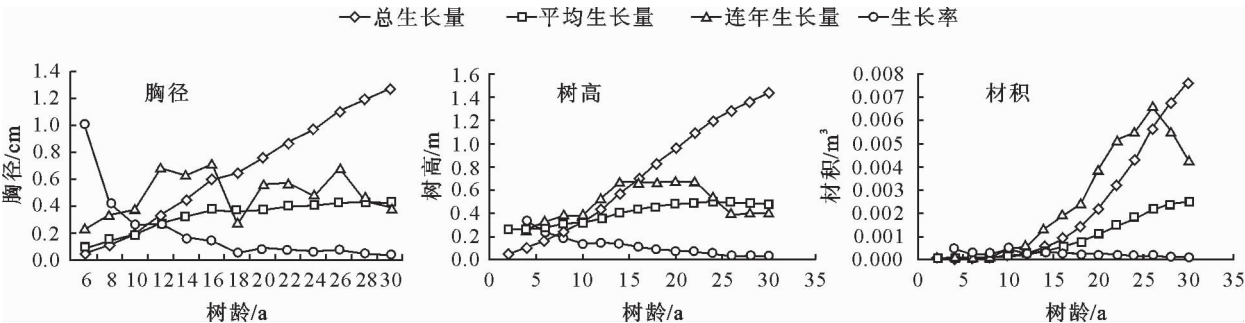


图 2 株数的对数与径阶的线性关系

Fig. 2 The linear relationship between the logarithm of the number and diameter

由 0.2 cm 增加到了 0.4 cm,目前仍有继续上升的趋势,树高的平均生长量在 10~20 a 之间也增加的比较快,由 0.3 m 增加到了 0.5 m,说明该地区水曲柳的生长势头很好,预计在未来的 10 a 内有着很好的生长潜力;连年生长量由于受当年气候条件的影响较大,所以波动比较明显,但从总体上看,还是呈上升的趋势。



注:总生长量缩小 10 倍,生长率缩小 1 000 倍,图 4、图 5 同。

图 3 水曲柳胸径、树高和材积的各生长量指标

Fig. 3 The growth index of DBH, tree height and volume of *F. mandshurica*

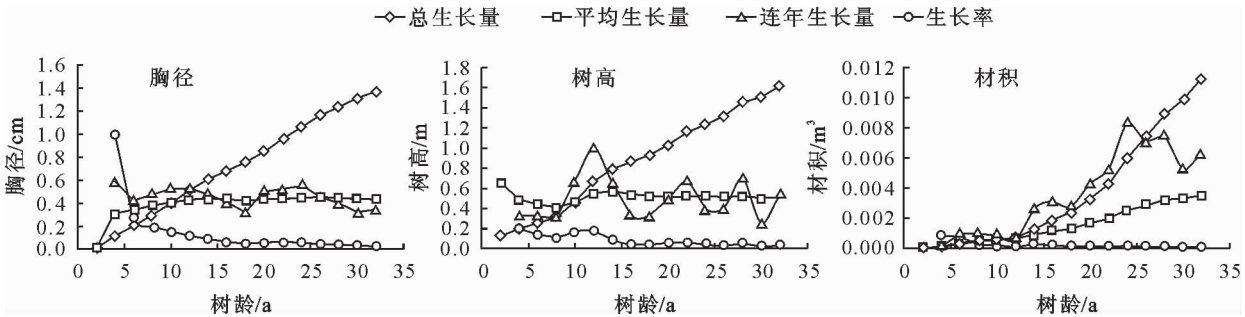


图 4 胡桃楸胸径、树高和材积的各生长量指标

Fig. 4 The growth index of DBH, tree height and volume of *J. mandshurica*

胡桃楸的胸径和树高的平均生长量在 20 龄后比较稳定,胸径的平均生长量维持在 0.4 cm 左右,树高的平均生长量维持在 0.5 m 左右,材积的平均生长量由于胸径和树高的稳步增长而呈现上升的趋

势;同样,胡桃楸各因子的连年生长量波动幅度依然比较大,总体趋势与平均生长量相同,胸径和树高的连年生长量虽然有波动,尤其是树高非常的明显,但总体上没有明显的上升或是下降的趋势。

黄菠萝胸径的平均生长量稳步增长,在5龄后始终保持在0.2 cm以上,17龄后增加到0.3 cm以上,并一直持续到现在,树高的平均生长量始终保持

在0.4 m左右,生长态势良好;黄菠萝各因子的连年生长量波动也比较大,胸径和树高的连年生长量没有什么规律性变化,材积的连年生长量虽然也有波动,但总体上升的趋势非常明显。由于各树种的总生长量曲线为“S”形,所以其生长率均是关于年龄的单调递减函数。

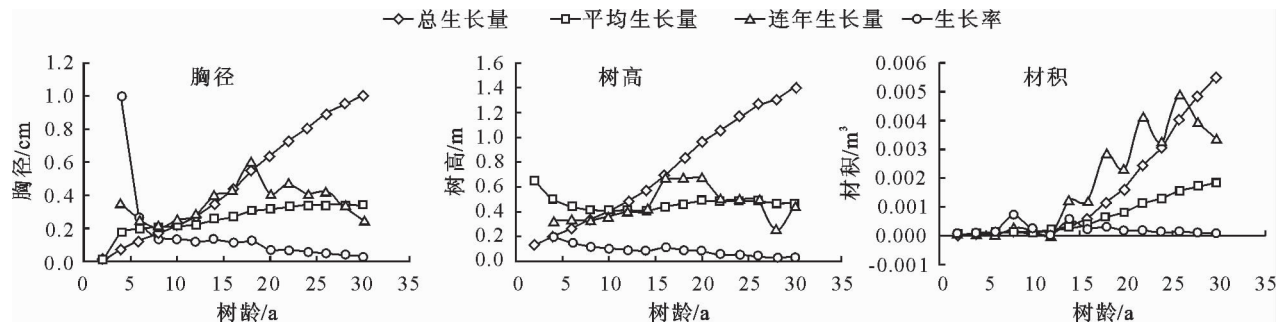


图5 黄菠萝胸径、树高和材积的各生长量指标

Fig. 5 The growth index of DBH, tree height and volume of *Phyllostachys sulphurea*

2.3 水、胡、黄硬阔叶林树种组成结构调整

小兴安岭铁力林业局茂林河林场硬阔叶林的树种有14种,其中水曲柳、胡桃楸、黄菠萝3大硬阔所占比比较大,占林分组成的4层以上,株数在575~1 094株·hm<sup>-2</sup>之间,平均796株·hm<sup>-2</sup>,蓄积在76.31~134.81 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>之间,平均蓄积为116.29

m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;进行林分调整后,总的树种仍为14种,其中3大硬阔的比例加大,最大的达到了7层,株数在469~725株·hm<sup>-2</sup>之间,平均株数602株·hm<sup>-2</sup>,减少了24.31%,蓄积在50.15~99.29 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>之间,平均蓄积71.88 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,降低了38.19%(表3)。

表3 调整前后硬阔叶林树种组成结构变化情况

Table 3 Changes situation of the species composition of the hardwood broad-leaved mixed forests before and after the adjustment

调整前树种组成				
标准地	树种组成	树种数/m	蓄积/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )
弱度采伐不更新	3榆2黄2胡1水1落1白	10	118.72	744
中度采伐不更新	2水2落2榆2胡1黄1柳	10	76.31	569
强度采伐不更新	3胡3落2榆1水1黄	9	123.77	575
弱度采伐更新	4落2胡1黄1水1白1杨	9	113.95	850
中度采伐更新	5落2黄1胡1水1榆	12	122.47	1 094
强度采伐更新	2黄2杨1胡1落1水1枫1榆1色	13	134.81	806
对照	4落2胡2黄1色1水	11	124.00	931
调整后树种组成				
标准地	树种组成	树种数/m	蓄积/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )
弱度采伐不更新	3榆2黄2胡2水1落	7	99.29	669
中度采伐不更新	3水2榆2落2胡1黄	10	53.15	469
强度采伐不更新	3落3榆2胡2水+黄	7	70.11	519
弱度采伐不新	3落3胡2水2黄	8	73.89	618
中度采伐更新	5落3黄1水1胡	10	69.88	725
强度采伐更新	2黄2胡1水1杨1落1枫1椴1榆	11	64.96	613
对照	4落2胡2黄1色1水	11	124.00	931

弱度采伐的林分平均每公顷株数减少了154株,占原来株数的19.26%,平均每公顷蓄积减少了29.75 m<sup>3</sup>,占原来蓄积的25.57%;中度采伐的林分平均每公顷株数减少了235株,占原来株数的

28.20%,平均每公顷蓄积减少了37.88 m<sup>3</sup>,占原来蓄积的38.11%;强度采伐的林分平均每公顷株数减少了125株,占原来株数的18.03%,平均每公顷蓄积减少了61.76 m<sup>3</sup>,占原来蓄积的47.76%(表3)。

2.4 树种组成调整后林分生长情况

树种组成调整后 5 a 对林分进行复测,各经营方式下林分的树种组成和树种数没有变化,仍与刚采伐时保持一致。

林分密度有所下降,其中未被采伐的对照林分密度下降的最多,由原来的 931 株·hm<sup>-2</sup>降低到 750 株·hm<sup>-2</sup>,占原来株数的 19.44%;在采伐过的林分中,强度采伐的林分由于采伐时对林分的干扰过大,林分的株数减少的比较多,占原来株数的 15%左右;中度采伐和弱度采伐的林分密度也稍有

降低,但不是很明显。

对水、胡、黄硬阔叶林进行树种组成结构调整 5 a 后,各经营方式下林分的蓄积发生了不同的变化。未采伐林分的蓄积增加了 21.92 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,占原来蓄积的 17.68%,平均每年增长 4.38 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;在采伐的林分中,强度采伐的林分蓄积增长的最小,年平均增加 4.82 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;中度采伐的林分 5 a 增加了 30 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>左右,年平均增加 6.26 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;弱度采伐的林分蓄积增长的最快,5 a 增加了 32.25 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,年平均增加 6.45 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>。

表 4 林分树种调整后 5 a 硬阔叶林树种组成及生长情况

Table 4 The species composition and the growth of the hardwood broad-leaved mixed forests after adjusting 5 years

标准地	树种组成	树种数/m	蓄积/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )
弱度采伐不更新	3 榆 2 黄 2 胡 2 水 1 落	7	129.38	612
中度采伐不更新	3 水 2 榆 2 落 2 胡 1 黄	10	80.79	450
强度采伐不更新	3 落 3 榆 2 胡 2 水+黄	7	93.25	419
弱度采伐不新	3 落 3 胡 2 水 2 黄	8	108.39	588
中度采伐更新	5 落 3 黄 1 水 1 胡	10	103.86	694
强度采伐更新	2 黄 2 胡 1 水 1 杨 1 落 1 枫 1 椴 1 榆	11	89.99	525
对照	4 落 2 胡 2 黄 1 色 1 水	11	145.92	750

3 结论与讨论

小兴安岭水、胡、黄硬阔叶林的树种多样性良好,但是阔叶多,针叶少,低价树种多,珍贵树种少,经营价值不大;从表面上看,林分的蓄积量很大,但由于次生林中非目的树种、生长衰弱木和病害木比较多,实际出材率很低;主要目的树种水曲柳、胡桃楸和黄菠萝的连年生量目前保持着比较平稳的生长态势,这是对水、胡、黄硬阔叶林进行树种组成及林分结构改造的重要的前提因素。

对小兴安岭水、胡、黄硬阔叶林进行不同强度的抚育采伐后,在树种多样性上没有改变,仍保持 14 种;在树种组成上,水曲柳、胡桃楸和黄菠萝等珍贵树种的比例大幅度上升,最大的林分占到了 7 层;采伐后,林分的每公顷株数有所下降,平均株数为 602 株·hm<sup>-2</sup>。树种组成调整后 5 a,不同的采伐强度对林分的改造有了相对明显的效果,未被采伐的林分株数下降了将近 20%,公顷蓄积平均每年增长 4.38 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;强度采伐的林分株数减少 15%左右;公顷蓄积年平均增加 4.82 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;中度采伐和弱度采伐的林分株数减少幅度不大,中度采伐的林分公顷蓄积年平均增加 6.26 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>;弱度采伐的林分公顷蓄积增长的最快,年平均增加 6.45 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>。

对小兴安岭水、胡、黄硬阔叶林进行不同强度的抚育采伐后,不但提高了林分的质量,而且还增加了林分的经济效益,其中,弱度采伐的林分效果最明

显。因此,建议生产部门今后在对水、胡、黄硬阔叶林分进行经营时,要对林分内的霸王树、枯死木和濒死木进行清理,株数采伐强度在 20%左右,蓄积采伐强度在 25%左右,在改善林内卫生的同时,给主要树种的生长提供充足的营养空间,从而提高小兴安岭林区水、胡、黄硬阔叶林的分类经营水平。

参考文献:

[1] 乌吉斯古楞. 长白山过伐林区云冷杉针叶混交林经营模式研究[D]. 北京:北京林业大学,2010.

[2] 胡文力. 长白山过伐林区云冷杉针阔混交林林分结构的研究[D]. 北京:北京林业大学,2003.

[3] 周晓峰,李俊清. 次生黄菠萝林的研究[J]. 东北林业大学学报,1991,27(Supp.):140-146.

ZHOU X F, LI J Q. A Study on the secondary amur cork-tree forest[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1991,27 (Supp.):140-146 . (in Chinese)

[4] 丁宝永,沈海龙,刘强,等. 天然水曲柳林生长发育规律及抚育间伐的研究[J]. 东北林业大学学报, 1991,27(Supp.):147-156. (in Chinese)

DING B Y, SHEN H L, LIU Q, *et al.* Preliminary Studies on the characters of growth and development and the method of tending thinning for manchurian ash natural secondary forest [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1991, 27 (Supp.):147-156 (in Chinese)

[5] 舒华铎,石磊,甘兆华,等. 水胡黄天然次生林分紫椴更新技术[J]. 林业科技情报,2011,43(3):1-3.

SHU H D,SHI L,GAN Z H, *et al.* Regeneration technique of *Tilia amurensis* in broad-leaved natural secondary forest[J]. Forestry Science and Technology Information, 2011,43(3):1-3. (in Chinese)

[6] 康迎昆,侯振军.天然阔叶混交林林分结构调整技术研究[J].林业科技,2013,38(1):9-12.  
KANG Y K, HOU Z J. Research on the stand structure adjustment technology of natural broad-leaved mixed forest[J]. Forestry Science & Technology, 2013,38(1):9-12. (in Chinese)

[7] 孙楠,李亚洲,张怡春. 笑山林场天然阔叶混交林资源现状[J].林业科技,2010, 35(6) : 20-23.  
SUN N, LI Y H, ZHANG Y C. The Resources of natural broad-leaved mixed forest of Xiaoshan Farm[J]. Forestry Science & Technology, 2010,35 (6) : 20-23. (in Chinese)

[8] 刘红民,邢兆凯,顾宇书,等. 辽东山区天然次生阔叶混交林空间结构的研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(3):150-154.  
LIU H M, XING Z K, GU Y S, *et al.* Spatial structure of natural secondary broad-leaved mixed forest in eastern mountainous area of Liaoning Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012,27(3):150-154. (in Chinese)

[9] 宁杨翠,郑小贤,蒋桂娟,等. 长白山天然云冷杉异龄林林分结构动态变化研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(2):169-174.  
NING Y C, ZHENG X X, JIANG G J, *et al.* Dynamic change of spruce-fir natural forests in Changbai Mountain[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012,27(2):169-174. (in Chinese)

[10] 玉宝,乌吉斯古楞,王百田,等. 兴安落叶松天然林不同林分结构林木水平分布格局特征研究[J]. 林业科学研究,2010,23(1):83-88.  
YU B, WU J S G L, WANG B T, *et al.* Study on the distribution pattern characteristics of different stand structures in *Larix gmelinii* natural forest[J]. Forest Research, 2010,23(1):83-88. (in Chinese)

[11] 巫志龙,周成军,周新年,等. 杉阔混交人工林林分空间结构分析[J]. 林业科学研究,2013,26(5):609-615.  
WU Z L, ZHOU C J, ZHOU X N, *et al.* Analysis of stand spatial structure of *Cunninghamia lanceolata*-broadleaved mixed plantation[J]. Forest Research, 2010,23(1):83-88(in Chinese)

[12] 徐振邦,代力民,陈吉泉,等. 长白山红松阔叶混交林森林天然更新条件的研究[J]. 生态学报,2001,21(9):1413-1420.  
XU Z B, DAI L M, CHEN J Q, *et al.* Natural regeneration condition in *Pinus koraiensis* broad-leaved mixed forest[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001,21(9):1413-1420. (in Chinese)

[13] 苗雅杰,殷秀琴. 小兴安岭红松阔叶混交林土壤动物群落研究[J]. 林业科学,2005,41(2):65-72.  
MIAO Y J, YIN X Q. Study on soil animals community of *Pinus koraiensis* broad-leaved mixed forest in Xiaoxing' an Mountain[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005,41(2):65-72. (in Chinese)

[14] 张志环,王若森,张佰顺,等. 伊春新青林业局天然阔叶混交林乔木层现状分析[J]. 林业科技情报,2010,42(3):1-3.  
ZHANG Z H, WANG R S, ZHANG B S, *et al.* Actuality analysis of arbor in nature broad-leaved mixed forest in Xingqing Forestry Bureau[J]. Forestry Science and Technology Information, 2010,42(3):1-3. (in Chinese)

[15] 柏广新,牟长城. 抚育对长白山幼龄次生林群落结构与动态的影响[J]. 东北林业大学学报,2012,40(10):48-54.  
BAI G X, MU C C. Effect of thinning on the structure and succession of secondary forest communities in Changbai Mountains of China[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012,40(10):48-54. (in Chinese)

[16] 胡希 B. 测树学[M]. 测树学翻译组,译. 北京:中国农业出版, 1979.