

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.05.002

# 不同措施对川西亚高山桦木天然次生林群落演替进程的影响及综合效益评价

冯秋红<sup>2</sup>, 王毅<sup>5</sup>, 李登峰<sup>1,3</sup>, 刘兴良<sup>1\*</sup>, 谢大军<sup>1</sup>,  
林小洪<sup>1</sup>, 金丹<sup>1</sup>, 张利<sup>4</sup>, 张鑫<sup>6</sup>

(1. 四川省林业科学研究院, 四川卧龙森林生态系统定位站, 四川成都 610081;  
2. 森林和湿地生态恢复与保育四川重点实验室, 四川成都 610081;  
3. 四川农业大学, 四川成都 611130; 4. 阿坝藏族羌族自治州林业科学技术研究所, 四川汶川 623000;  
5. 阿坝藏族羌族自治州川西林业局, 四川理县 623102; 6. 夹江县自然资源局, 四川夹江 614100)

**摘要:**本研究以不同强度疏伐、不同密度补植云杉的桦木天然次生林为研究对象, 通过典型抽样法、收获法和模型模拟法等方法获取和分析了不同处理措施下补植苗木成活情况, 桦木林林分的生物量, 灌、草生物多样性和林地水源涵养能力等指标, 研究不同处理措施对川西亚高山桦木天然次生林正向演替进程的影响, 并利用隶属函数的方法开展评价。结果表明, 与对照措施相比, 疏伐和云杉补植措施均在不同程度上改善了林下更新和灌草的生物多样性, 也对以乔木为主的林分生物量产生了促进作用, 但对林地水源涵养功能的改变不显著。而从1年的短期效应看, S2 + B3 措施, 即按照蓄积量伐除林分20%桦木, 且在林下按照2 000株·hm<sup>-2</sup>的密度进行云杉苗木补植的处理措施对桦木次生林群落的演替进程促进效果最佳。

**关键词:**川西亚高山; 疏伐; 补植; 演替; 评价

中图分类号: S718.54<sup>+</sup>1 文献标识码: A

文章编号: 1003-5508(2019)05-0005-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Evaluation of the Effect of Thinning and Replanting on Succession Process of *Betula* spp. Natural Secondary Forests in Subalpine Regions of Western Sichuan

FENG Qiu-hong<sup>1,2</sup> WANG Yi<sup>5</sup> LI Deng-feng<sup>1,3</sup> LIU Xing-liang<sup>1</sup> XIE Da-jun<sup>1</sup>  
LIN Xiao-hong<sup>1</sup> JIN Dan<sup>1</sup> ZHANG Li<sup>4</sup> ZHANG Xin<sup>6</sup>

(1. Sichuan Academy of Forestry, Wolong Forest Ecosystem Research Station, Chengdu 610081, China;  
2. Key Laboratory of Sichuan Ecological Restoration and Conservation on Forest and Wetland, Chengdu 610081, China;  
3. Chuanxi Forestry Bureau of Aba Tibetan and Qiang Autonomous Prefecture, Lixian 623102, China; 4. Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 5. Forestry Science and Technology Institute of Aba Tibetan and Qiang Autonomous Prefecture, Wenchuan 623000, China; 6. Jiajiang Natural Resources Bureau, Jiajiang 614100, China)

**Abstract:** Survival rate of replanting, total biomass, diversity of shrub and grass layers and water conservation ability of ground cover and soil from different modes (7 modes in all, they are respectively S1 + B1, meaning to do nothing; S2 + B1, meaning cutting down 20% birch according to stock; S2 + B2, cutting 20% birch according to stock and replanting spruce seedlings according to 2 500 trees per hec-

收稿日期: 2019-07-15

基金项目: 四川省科技厅重大专项(2018SZDZX0030, 2018SZDZX0037); 国家重点研发计划(2016YFC0502104-03, 2017YFC0505004-03); 四川省科技计划项目(2016JY0148)

作者简介: 冯秋红(1982-), 女, 副研究员, 博士, 主要从事森林生态学研究, e-mail: fqihong@163.com。

\* 通讯作者: 刘兴良(1963-), 男, 研究员, 博士, 主要从事森林生态学研究, e-mail: liuxingliang@126.com。

tare; S2 + B3, cutting down 20% birch according to stock and replanting spruce seedlings according to 2 000 trees per hectare; S3 + B1, meaning cutting down 40% birch according to stock; S3 + B2, means cutting down 40% birch according to stock replanting spruce seedlings according to 2 500 trees per hectare; S3 + B3, cutting down 40% birch according to stock and replanting spruce seedlings according to 2 000 trees per hectare) have been measured and sampled, and Effects of thinning and replanting on Succession process have been analyzed from *Betula* spp. natural secondary forests through representative sampling, harvesting and modeling, evaluated by subordinate function method. The result showed that seedlings, diversity of shrub and grass under forest and the stand biomass that mainly came from tree biomass increased at different level, but not for water conservation ability of ground cover and soil after thinning and replanting 1 years later. S2 + B3 mode was the best one for effecting on succession process of *Betula* spp. natural secondary forests in all of 7 modes.

**Key words:** Subalpine regions of western Sichuan, China, Thinning, Replanting, Succession, Evaluation

川西亚高山林区是我国西南林区的重要组成部分。因其地处青藏高原东南缘,故也是长江上游的重要生态屏障。该区域以云、冷杉为主的原始暗针叶林在经历大规模采伐利用后,以桦木林、桦木冷杉混交林为主的天然次生林已成为该区域的主要森林类型<sup>[1,2]</sup>。但作为长江上游的主要水源涵养林区,占据大面积的桦木天然次生林,其水源涵养能力与云冷杉群落相比,却还有很大的差距<sup>[3,4]</sup>。

一般来说,森林群落的次生演替不但受林下更新的影响,而且立地条件、土壤环境和群落结构等差异也会影响演替的方向和速度<sup>[5]</sup>。如何通过人为措施调整天然次生林群落结构,进而促进群落正向演替,改善以林地水源涵养效应为主的森林生态系统服务功能已经成为生态学家所面临的一个问题<sup>[6]</sup>。前人对川西亚高山天然次生林演替的研究也有了一定的基础,内容主要涉及演替过程及其过程中的群落结构、树种更新、林地水文特征、土壤性质以及微生物情况等方面的动态<sup>[7~11]</sup>。但针对人为措施对天然次生林演替进程的影响评价研究尚未可见。本研究通过疏伐和补植云杉苗木相结合的措施来改善桦木天然次生林林下针叶树种更新以及群落结构等问题<sup>[6]</sup>,从林下更新、灌草生物多样性、林分生物量以及土壤水源涵养能力等方面开展综合评价,尝试寻找可以加速桦木天然次生林群落演替进程的人为措施,为提高川西亚高山地区大面积存在的桦木天然次生林生态系统服务功能奠定科学基础。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于四川省理县米亚罗林区,地理坐标

N31°24′~31°55′, E102°35′~103°4′。该区位于青藏高原东缘褶皱带最外缘部分,具有典型的高山峡谷地貌。气候受高原地形的决定性影响,属冬寒夏凉的高山气候。以海拔 2 760 m 的米亚罗镇为例,全年降水量 700 mm~1 000 mm,年蒸发量 1 000 mm~1 900 mm,1 月均温 8℃,7 月均温 12.6℃,≥10℃的年积温为 1 200℃~1 400℃。

米亚罗林区植被垂直成带明显,其类型和生境随海拔及坡向而分异<sup>[5,12]</sup>。原生森林分布于海拔 2 400 m~4 200 m 之间,以亚高山暗针叶林为主,主要优势树种为岷江冷杉(*Abies faxoniana*)和云杉(*Picea* spp.)。自上世纪 50 年代开始的大规模砍伐活动后,除部分伐区开展了以云杉(*Picea asperata*)为主的造林外,迹地初期多形成悬钩子(*Rubus* spp.)或箭竹(*Sinarundinaria nitida*)灌丛,逐步演替成以红桦、糙皮桦为主的桦木林<sup>[7,13]</sup>。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样地设置与群落调查

2016 年 3 月在米亚罗林区选择海拔、坡度、坡向以及土壤等环境条件一致的桦木次生林(样地具体情况详见表 1),开展了不同强度桦木疏伐处理和云杉补植措施对比试验。疏伐强度依次设定为:S1,对照;S2,20%疏伐(即去除林分内桦木蓄积量的 20%,并将树木残体分解置于林下),S3,40%疏伐(即去除林分内桦木蓄积量的 40%,并将树木残体分解置于林下)。云杉补植梯度依次为:B1,对照处理;B2,补植密度 2 500 株·hm<sup>-2</sup>;B3,补植密度 2 000 株·hm<sup>-2</sup>。共设置梯度处理 7 个,详见表 1。每个处理设置 20 m×20 m 的样方 3 个;分别于 2016 年 6 月和 2017 年 6 月对该样地进行群落学背景调查,每个乔木样方内设置 2 m×2 m 的灌木样方

5 个,1 m × 1 m 草本样方 5 个。调查内容具体包括对各样方中的植物种类、数量、高度、盖度等性状进行记录,并对样地中林下人工补植云杉苗木的成活情况进行了实地调查。

2017 年 6 月还进行水文指标的采集,即在各处样地随机设置小样方,每个乔木样方设置 1 m × 1 m 的样方 3 个,每个处理取样 9 份,共取样 63 份。分别收集地表的苔藓和枯落物,现场称重后,区分样品装布袋带回;挖 0 ~ 40 cm 土壤剖面,用环刀分别从 0 ~ 20 cm,20 cm ~ 40 cm 两层取原状土壤样本。

表 1 桦木次生林样地情况以及处理措施表

Tab.1 Sample plots of *Betula* spp. secondary forests and treatment measures

名称	海拔 /m	林分组成	密度 / (株 · hm <sup>-2</sup> )	坡向	坡度 /°	郁闭度
S1 + B1	3435	1 岷 9 桦	1 119	W	20 ~ 25	0.8
S2 + B1	3445	10 桦	1 117	W	20 ~ 25	0.8
S2 + B2	3450	1 岷 9 桦	1 138	W	20 ~ 25	0.75
S2 + B3	3435	10 桦	1 129	W	15 ~ 20	0.75
S3 + B1	3445	10 桦	1 155	W	20 ~ 25	0.8
S3 + B2	3450	10 桦	1 128	W	20 ~ 25	0.75
S3 + B3	3450	10 桦	1 114	W	15 ~ 20	0.8

注:S1 + B1:对照;S2 + B1:按照蓄积量去除林分 20% 桦木;S2 + B2:按照蓄积量去除林分 20% 桦木,且在林下按照 2 500 株 · hm<sup>-2</sup> 的密度进行云杉苗木补植;S2 + B3:按照蓄积量去除林分 20% 桦木,且在林下按照 2 000 株 · hm<sup>-2</sup> 的密度进行云杉苗木补植;S3 + B1:按照蓄积量去除林分 40% 桦木;S3 + B2:按照蓄积量去除林分 40% 桦木,且在林下按照 2 500 株 · hm<sup>-2</sup> 的密度进行云杉苗木补植;S3 + B3:按照蓄积量去除林分 40% 桦木,且在林下按照 2 000 株 · hm<sup>-2</sup> 的密度进行云杉苗木补植;下同。

### 1.2.2 林下更新

在乔木样方中设置 3 个 5 m × 5 m 的小样方,分别于 2016 年 7 月和 2017 年 7 月对桦木次生林开展了林下云杉人工更新的成活率以及保存率开展了调查。

$$\text{苗木成活率} = \frac{\text{栽植 3 个月后成活苗木数量}}{\text{苗木栽植总数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{苗木保存率} = \frac{\text{栽植 1 年后成活苗木数量}}{\text{苗木栽植总数}} \times 100\% \quad (2)$$

### 1.2.3 生物多样性

采用下述方法测定云杉人工群落的物种多样性<sup>[14,15]</sup>:

Shannon-Weiner 指数( $H'$ ):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (3)$$

Simpson 指数(D):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)} \quad (4)$$

Pielou 均匀度指数( $J$ ):

$$J = \frac{H'}{\ln S} \quad (5)$$

在上式中, $S$  为物种数目, $N$  为所有物种个体数之和。 $N_i$  为第  $i$  个种的个体数, $P_i$  是第  $i$  个物种的个体数占所有物种个体数的比例,即  $P_i = N_i/N$ 。

### 1.2.4 林分乔木生长量

对研究对象的乔木进行了生物量调查。对乔木样方内的乔木进行植物种类、高度、胸径、冠幅、枝下高等调查,通过“模型法”推算生物量,具体模型如表 2<sup>[16,17]</sup>:

表 2 次生林乔木地上生物量异速生长模型

Tab.2 Allometric growth model of above-ground biomass from secondary forest trees

树种名称	地上部分器官	异速生长方程	相关系数
桦木	干	$W = 0.14114(D^2H)^{0.7234}$	$R^2 = 0.9801$
	枝	$W = 0.01513(D^2H)^{1.0225}$	$R^2 = 0.7744$
	叶	$W = 0.01513(D^2H)^{0.8083}$	$R^2 = 0.8281$
其他阔叶树	干	$W = 0.0097(D^2H) + 5.8252$	$R^2 = 0.9914$
	枝	$W = 0.051(D^2H) + 3.508$	$R^2 = 0.9825$
	叶	$W = 0.0004(D^2H) + 0.7563$	$R^2 = 0.9333$

再将 2016 年和 2017 年的林分乔木生长指标进行求差,获得乔木生长指标的年增加量,包括乔木胸径增加量和乔木高度增加量;同时,对 2016 年和 2017 年乔木生长量数据进行求差,计算出年林分生物量生长量。

### 1.2.5 林地水源涵养能力

苔藓、枯落物蓄积量及最大持水量的测定:从样方苔藓和枯落物样品中取两份,分别称重  $m_1$  和  $m_2$  (g), $m_1$  部分装入布袋并在清水中浸泡 24h 后称重 ( $m_3$ , g), $m_2$  部分在 65 °C 下烘干 24 h 测定干重 ( $m_0$ , g)。样品中最大持水率( $P$ )和单位林地面积苔藓/枯落物最大持水量( $M$ , t · hm<sup>-2</sup>) 计算如下<sup>[4]</sup>:

$$P = \left[ \frac{m_3}{m_1} \times \frac{m_2}{m_0} - 1 \right] \times 100\% \quad (6)$$

$$M = M_0 \times P = \frac{m_0}{m_2} \times M_1 \times P \quad (7)$$

式中, $M_0$  (t · hm<sup>-2</sup>) 为单位森林面积苔藓/枯落物干重。

土壤容重和持水量的测定:土壤容重和持水量使用环刀法进行一次取样连续测定。将装有原状土的环刀浸泡在水中 12h 后称重  $m_{s1}$  (g),然后放于铝盒中烘干,称得烘干土重  $m_{s0}$  (g),土壤容重和土壤持水量的计算如下<sup>[18]</sup>:

$$C_{\max} = \frac{m_{s1} - m_{s0}}{V} \quad (8)$$

式中,  $V(\text{cm}^3)$  为环刀容积;  $C_{\text{max}}$  为土壤最大持水量;  $m_{s0}$ 、 $m_{s1}$  (g) 分别为环刀内土壤干重、浸泡 12 h 后的饱和重量; 换算后将各层累计可求出单位林地面积 0~40 cm 土壤最大持水量 ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。

### 1.2.6 数据处理

隶属函数法源于模糊综合评判理论<sup>[19]</sup>, 本研究利用指标的隶属函数值综合评价不同措施对桦木天然次生林演替进程的影响。采用模糊数学中隶属函数分析法, 对疏伐与补植相结合的 7 个处理措施对桦木次生林林下更新、灌草生物多样性、乔木生物量以及林地水源涵养功能等方面指标的隶属值进行累加, 通过求取平均值的方式来评定不同处理措施对桦木次生林演替进程的影响<sup>[20,21]</sup>。若所测指标与桦木次生林演替进程正相关, 指标隶属值计算如下:

$$X' = (X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \quad (9)$$

若所测指标与桦木次生林演替进程负相关, 则指标隶属值计算如下:

$$X' = 1 - (X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \quad (10)$$

式中的  $X'$  为各样地某一指标的隶属函数值;  $X$  为各样地某一指标的测定值;  $X_{\text{max}}$  为所有样地此指标的最大值;  $X_{\text{min}}$  为所有样地此指标的最小值。

本研究通过 SPSS16.0 对不同措施间各类指标开展差异显著性分析, 通过 Excel 进行数据处理以及隶属函数计算和评价。

## 2 研究结果

### 2.1 不同措施对桦木次生林林下人工更新的影响

针对开展云杉苗木栽植的样地进行苗木成活率调查发现, 如表 3 所示, 苗木 3 个月的成活率均较高, 平均在 95% 以上, 其中最高为 S2 + B2 措施, 达到了 100%, 最低为 S3 + B3 措施, 为 87.78%。但 1 年后的保存率则极低, 平均仅为 10.66%, 最低为 S2 + B2, 为 7.19%。

表 3 不同促进演替技术措施下桦木林林下补植成活率情况比较

Tab. 3 Survival rates of replanting under *Betula* spp. forests under different succession promotion treatments

技术措施	成活率/%	保存率/%
S1 + B1	—	—
S2 + B1	—	—
S2 + B2	100.00	7.19
S2 + B3	97.62	10.87
S3 + B1	—	—
S3 + B2	96.30	15.51
S3 + B3	87.78	7.21

### 2.2 不同措施对桦木次生林灌草生物多样性的影响

因处理周期较短, 乔木层物种多样性变化不大, 所以本研究仅对林下灌草生物多样性进行比较分析。如表 4 所示, 不同措施间, 林下灌草的生物多样性指数有所差异。首先, 就 Shannon-Weiner 指数而言, 所有处理措施都优于 S1 + B1 对照措施, 其中, S2 + B3、S3 + B2 和 S3 + B3 措施达到显著水平, 此外, S2 + B3 措施最高, 且显著高于 S2 + B2 措施; 其次, 针对 Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数来说, 不同措施间表现出相似的趋势, 即, 所有处理措施都优于 S1 + B1 对照措施, 其中, S2 + B3 措施达到显著水平, 且该措施还显著高于 S2 + B2 措施。

表 4 不同促进演替技术措施下桦木林灌草生物多样性

Tab. 4 Biodiversity of shrubs and grasses in *Betula* spp. forests under different succession promotion treatments

措施类型	Shannon-Weiner 指数	Simpson 指数	Pielou 均匀度指数
S1 + B1	0.92 ± 0.12c	0.48 ± 0.07b	0.56 ± 0.09b
S2 + B1	1.17 ± 0.18abc	0.57 ± 0.11ab	0.67 ± 0.11ab
S2 + B2	1.07 ± 0.14bc	0.52 ± 0.07b	0.60 ± 0.07b
S2 + B3	1.35 ± 0.17a	0.66 ± 0.08a	0.73 ± 0.1a
S3 + B1	1.15 ± 0.3abc	0.57 ± 0.14ab	0.64 ± 0.13ab
S3 + B2	1.23 ± 0.21ab	0.59 ± 0.11ab	0.67 ± 0.11ab
S3 + B3	1.21 ± 0.23ab	0.57 ± 0.1ab	0.63 ± 0.07ab

### 2.3 不同措施对桦木次生林乔木优势树种生长量的影响

如表 5 所示, 在不同措施间, 无论是乔木的胸径、高度还是林分生物量, 均存在一定的差异。就乔木平均胸径而言, 除 S2 + B1、S3 + B3 措施外, 其他措施均显著高于 S1 + B1 对照措施, 且 S2 + B3 和 S3 + B2 措施还显著高于 S2 + B1 和 S3 + B3 措施; 就林分生物量而言, 除 S2 + B1 措施外, 其他措施均显

表 5 不同促进演替技术措施下桦木林年乔木生长指标和生物量生长量

Tab. 5 Indicators of annual tree growth and biomass growth of *Betula* spp. forests under different succession promotion treatments

措施类型	乔木平均胸径增加量/cm	乔木平均高度增加量/m	林分生物量生长量/( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
S1 + B1	0.29 ± 0.01c	0.55 ± 0.02a	6.20 ± 0.12c
S2 + B1	0.30 ± 0.02c	0.50 ± 0.03a	6.26 ± 0.15c
S2 + B2	0.44 ± 0.02ab	0.55 ± 0.05a	9.75 ± 0.22b
S2 + B3	0.51 ± 0.03a	0.55 ± 0.06a	12.07 ± 0.26a
S3 + B1	0.43 ± 0.02ab	0.60 ± 0.05a	10.70 ± 0.18ab
S3 + B2	0.52 ± 0.01a	0.60 ± 0.04a	11.88 ± 0.20ab
S3 + B3	0.32 ± 0.02bc	0.50 ± 0.02a	7.90 ± 0.21bc

著高于 S1 + B1 对照措施,除 S3 + B3 措施外,其他措施均显著高于 S2 + B1 措施。同时,S2 + B3 措施最高,且显著高于 S2 + B2 措施。最后,不同措施间,乔木平均高度无显著差异。

#### 2.4 不同措施对桦木次生林林地水源涵养功能的影响

如表 6 所示,在不同措施间,桦木次生林林地苔藓持水量、枯落物持水量以及土壤持水量均不存在显著差异。

表 6 不同促进演替技术措施下桦木林林地水源涵养指标

Tab. 6 Indicators of underground water conservation in *Betula* spp. forest under different technological measures to promote treatments

措施类型	苔藓持水量 $/(t \cdot hm^{-2})$	枯落物持水量 $/(t \cdot hm^{-2})$	土壤持水量 $/(t \cdot hm^{-2})$
S1 + B1	19.28 ± 2.56a	17.79 ± 2.57a	0.61 ± 0.05a
S2 + B1	18.75 ± 1.98a	18.02 ± 2.45a	0.63 ± 0.07a
S2 + B2	18.98 ± 2.02a	18.34 ± 2.39a	0.65 ± 0.07a
S2 + B3	18.69 ± 2.45a	18.12 ± 1.07a	0.66 ± 0.07a
S3 + B1	18.24 ± 2.98a	19.02 ± 1.85a	0.64 ± 0.06a
S3 + B2	18.56 ± 1.89a	19.28 ± 1.59a	0.58 ± 0.08a
S3 + B3	18.47 ± 2.03a	19.55 ± 2.34a	0.68 ± 0.09a

表 7 不同措施下桦木次生林演替进程综合评价

Tab. 7 Comprehensive evaluation of succession process of *Betula* spp. secondary forest under different treatments

措施类型	林下更新		灌草生物多样性			乔木生长量			林地水源涵养功能			平均分	排序
	成活率	保存率	Shannon-Weiner 指数	Simpson 指数	Pielou 指数	平均胸径	平均高度	生物量	苔藓持水量	枯落物持水量	土壤持水量		
S1 + B1	0.00	0.00	0.98	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	1.00	0.00	0.30	0.249	7
S2 + B1	0.00	0.00	1.70	0.74	0.81	0.08	0.58	0.09	0.49	0.13	0.50	0.467	6
S2 + B2	0.45	1.00	1.56	0.59	0.61	0.68	0.00	0.55	0.71	0.31	0.70	0.650	4
S2 + B3	0.69	0.98	1.98	1.00	1.00	1.00	0.56	1.00	0.43	0.19	0.80	0.875	1
S3 + B1	0.00	0.00	1.11	0.13	0.11	0.74	1.00	0.81	0.00	0.70	0.60	0.473	5
S3 + B2	1.00	0.96	1.79	0.78	0.81	0.84	0.20	0.75	0.31	0.85	0.00	0.753	3
S3 + B3	0.51	0.88	1.76	0.72	0.68	0.58	0.95	0.63	0.22	1.00	1.00	0.812	2

措施,不但改善了林下针叶树种更新,还在不同程度上改善了以乔木生物量为主的林分生物量<sup>[23,24]</sup>、林下灌草生物多样性<sup>[25,26]</sup>和林地水源涵养能力<sup>[27]</sup>等林分生境甚至生态系统服务功能,这与前人的相关研究结果类似。桦木林下人工补植云杉的成活率很高,平均达到 95% 以上,但 1 年保存率极低,平均仅为 10.66%。这可能与桦木次生林生长季以悬钩子为主的灌木迅速生长进而影响幼苗生长光环境有关。此外,疏伐和补植措施也显著地提高了林下灌草的多样性,即,Shannon-Weiner 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数平均分别提高了 30.01%、20.83% 和 17.26%;最后,疏伐和补植措施还显著提高了林分

#### 2.5 不同措施下桦木次生林演替进程综合评价指数及排序

森林次生演替是个复杂的过程,是指植被在经历干扰后,逐渐恢复到干扰前状态的过程<sup>[5]</sup>。前人研究发现,顶级群落树种的更新是影响演替的主要因子,此外,适合顶级树种生存的环境也对演替进程和周期长短具有重要的影响<sup>[7,22]</sup>。本研究以不同强度疏伐和补植针叶树种——云杉为手段,通过对林下人工更新及其生境条件(灌草生物多样性、乔木和林分生物量以及林地水源涵养能力)等情况的调查与分析,综合评价了不同措施对桦木天然次生林演替进程的影响。如表 7 所示,研究表明,7 个措施对桦木天然次生林演替进程的影响有所差异,所有处理措施的综合得分均高于 S1 + B1 对照措施,按照综合得分,7 个处理措施促进桦木天然次生林演替进程的排序为:S2 + B3, S3 + B3, S3 + B2, S2 + B2, S3 + B1, S2 + B1, S1 + B1。

### 3 结论

对川西亚高山桦木天然次生林开展疏伐和补植

乔木平均胸径和林分生物量,提高幅度分别达 75.74% 和 82.23%。

采用隶属函数法就不同措施对桦木天然次生林群落演替进程影响开展综合评价,综合得分从大到小的依次为:S2 + B3, S3 + B3, S3 + B2, S2 + B2, S3 + B1, S2 + B1 和 S1 + B1;其中 S2 + B3 措施,即按照蓄积量伐除林分 20% 桦木,且在林下按照 2 000 株·hm<sup>-2</sup> 的密度进行云杉苗木补植的处理措施对桦木次生林群落的演替进程促进效果最佳,但本研究仅为 1 年短期观测的结果,森林群落演替是一个长期的、复杂的过程,本文中不同措施的长期效应还有待于研究团队的持续关注。

## 参考文献:

- [1] 杨玉坡,李承彪. 四川森林[M]. 北京:中国林业出版社,1992.
- [2] 周德彰,杨玉坡. 四川西部高山林区桦木更新特性的初步研究[J]. 林业科学,1980,16(2):154~156.
- [3] 刘世荣,王金锡. 长江上游森林植被水文功能研究[J]. 自然资源学报,2001,16(5):451~456.
- [4] 张远东,刘世荣,马姜明,等. 川西亚高山桦木林的林地水文效应[J]. 生态学报,2005,25(11):2939~2946.
- [5] 姜汉侨,段昌群,杨树华等. 植被生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [6] 刘世荣,史作民,马姜明,等. 长江上游退化天然林恢复重建的生态对策[J]. 林业科学,2009,45,(2):120~124.
- [7] 史立新,王金锡,宿以明等. 川西米亚罗地区暗针叶林采伐迹地早期植被演替过程的研究[J]. 植物生态学报,1988,12(4):306~313.
- [8] 缪宁,周珠丽,史作民,冯秋红. 岷江冷杉林皆伐后次生群落结构和物种多样性的演替动态[J]. 生态学报,2014,34(13):3661~3671.
- [9] 张远东,赵常明,刘世荣. 川西亚高山人工云杉林和自然恢复演替系列的林地水文效应[J]. 自然资源学报,2004,19(6):761~768.
- [10] 庞学勇,刘世全,刘庆,等. 川西亚高山针叶林植物群落演替对土壤性质的影响[J]. 水土保持学报,2003,17(4):42~50.
- [11] 庞学勇,刘庆,刘世全,等. 川西亚高山针叶林植物群落演替对生物学特性的影响[J]. 水土保持学报,2004,18(3):45~48.
- [12] 蒋有绪. 川西米亚罗、马尔康高山林区生境类型的初步研究[J]. 林业科学,1963,8(4):321~335.
- [13] 冯秋红,刘兴良,卢昌泰,等. 不同经营模式对川西亚高山天然次生林林地水文效应的影响[J]. 生态学报,2016,36(17):5432~5439.
- [14] Ma K P. Methods of measure on biological community diversity I-diversity (Part 1). Chinese Biodiversity,1994,2:162~168.
- [15] Ma KP, Liu Y M. Methods of measure on biological community diversity I-diversity (Part 2). Chinese Biodiversity,1994,2:231~239.
- [16] 罗天祥,石培礼,罗辑,欧阳华. 青藏高原植被样带地上部分生物量的分布格局[J]. 植物生态学报,2002,26(6):668~676.
- [17] 冯宗炜,王效科,吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [18] 张万儒,许本彤. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京:中国林业出版社,1986:30~36.
- [19] 郭其强,张文辉,曹旭平. 基于模糊综合评判的森林群落稳定性评价体系模型构建——以黄龙山主要森林群落为例[J]. 林业科学,2009,45(10):19~24.
- [20] 刘桂民,陈苗苗,李存华等. 黄河三角洲盐碱地人工林土壤肥力质量的综合评价[J]. 东北林业大学学报,2017,45(10):6~9.
- [21] 宋启亮,董希斌. 2014. 大兴安岭不同类型低质林群落稳定性的综合评价[J]. 林业科学,50(6):11~17.
- [22] 李兴,李建茹,徐效清,等. 乌梁素海浮游植物功能群季节演替规律及影响因子[J]. 生态环境学报,2015,10:1668~1675.
- [23] Montero G, Cañellas I, Ortega C, et al. 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.
- [24] 张水松,陈长发,吴克选,等. 杉木林间伐强度试验 20 年生长效应的研究[J]. 林业科学,2005,41(5):56~65.
- [25] 王祖华,李瑞霞,王晓杰,等. 间伐对杉木人工林林下植被多样性及生物量的影响[J]. 生态环境学报,2010,19(12):2778~2782.
- [26] 陈东莉,郭晋平,杜宁宁,等. 间伐强度对华北落叶松林下生物多样性的影响[J]. 东北林业大学学报,2011,39(4):37~38.
- [27] 朱喜,何志斌,杜军,等. 间伐对祁连山青海云杉人工林土壤水分的影响[J]. 林业科学研究,2015(1):55~60.

(上接第 4 页)

- [5] Drummond A J, Suchard M A, Xie D, Rambaut A. Bayesian Phylogenetics with BEAUti and the BEAST 1.7. Molecular Biology and Evolution, 2012,29(8), 1969~1973.
- [6] Rambaut A, Drummond A. Tracer 1.6. University of Edinburgh, Edinburgh, United Kingdom,2013.
- [7] Thomas O. Abstract Proc. Zool. Soc. London, 1911,p:49
- [8] Lawrence MA. Western Chinese Arvicolinae (Rodentia) collected by Sage Expedition. American Museum Novitates,1986,(2745):1~19.
- [9] Zagorodnyuk, I. V. 1990. Karyotypic variability and systematics of the gray voles (Rodentia, Arvicolini). Communication 1. Species composition and chromosomal numbers. Vestnik Zoologii 2: 26 - 37. (In Russian)
- [10] 冯祚建,郑昌琳. 西藏哺乳类[M]. 北京:科学出版社,1986.
- [11] 邱铸鼎,李传夔,胡绍锦. 云南呈贡三家村晚更新世小哺乳动物群[J]. 古脊椎动物学报,1984,22(4):281~293.