

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2016.03.002

密度调控对川西亚高山云杉人工林生物量和生物多样性的影响

冯秋红¹, 黄劲松⁴, 徐峥静茹^{3,1}, 谢大军¹, 刘兴良^{1*}, 潘红丽¹, 刘世荣²

(1. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091; 3. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 4. 理县环境保护与林业局, 四川 理县 623100)

摘要:以不同密度调控(4 950 株·hm⁻²、1 800 株·hm⁻²、1 160 株·hm⁻²)下的云杉人工林为研究对象,通过典型抽样法和模型模拟法获取和分析了不同密度云杉人工林林分的生物量,乔木各器官生物量,乔、灌、草生物多样性等指标,研究了密度调控对川西亚高山云杉人工林生物量、生物多样性的影响。结果表明,密度调控不但提高了川西亚高山云杉人工林的林木生物量,还提高了其以乔木生物量为主的林分生物量。1 160 株·hm⁻²的密度水平较另外2种密度更能提高云杉人工林的林分生物量。同时,密度调控提高了干生物量的分配比例。此外,密度调控还显著地提高了林下灌草的生物多样性。

关键词:密度调控;云杉人工林;生物量;生物多样性;川西亚高山

中图分类号:S718.54 文献标识码:A 文章编号:1003-5508(2016)03-0010-05

Effects of Density Adjusting on Biomass and Biodiversity of Artificial *Picea asperata* Forest in Sub-alpine Region of Western Sichuan, China

FENG Qiu-hong¹ Huang Jin-song⁴ XU Zheng-jing-ru^{3,1} XIE Da-jun¹
LIU Xing-liang¹ PAN Hong-li¹ LIU Shi-rong²

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China;

2. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory on Forest Ecology and Environmental Sciences of State Forestry Administration, Beijing 100091, China;

3. Chengdu university of technology, Chengdu 610059, China;

4. Environmental Protection and Forestry Bureau of Lixian county, Lixian 623100, China)

Abstract: In this paper, studies were made of the total biomass, organ biomass of main trees and diversity of tree layer, shrub layer and grass layer from different density adjusting modes (4 950 trees per hectare, 1 800 trees per hectare and 1 160 trees per hectare), and analysis was made of effects of density adjusting on biomass and biodiversity of artificial *Picea asperata* forest through representative sampling and modeling. The result showed that both individual biomass and stand biomass that mainly came from tree biomass increased significantly after density adjusting 6 years later. There were more stand biomass with 1 160 tree per hectare than those with other density. Meanwhile, density adjusting promoted significantly trunk biomass proportion. Finally, density adjusting increased the diversity of shrub and grass under forest significantly.

收稿日期:2016-03-08

基金项目:四川省基本科研业务费(JB2016-01, JB2015-04)、四川省省财政专项(ZL2016-04)国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD22B0104)和林业公益性行业专项(201104109-01)资助。

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:fqiuqihong@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

Key words: Density adjusting, *Picea asperata*, Artificial forest, Biomass, Biodiversity, Sub-alpine region of western Sichuan

川西亚高山森林是我国西南亚高山林区水源涵养林的重要组成部分,以冷杉为主的原始暗针叶林在经历大规模采伐利用后,自 20 世纪 60 年代开始,便开始了大规模的人工更新造林,其中云杉(*Picea asperata* Mast.) 占据了主要的位置^[1]。可以说,云杉人工林是川西亚高山暗针叶林区主要的人工林类型。作为我国第 2 大林区主要的人工林类型,如何保证云杉人工林以固碳和生物多样性保育为主的生态系统稳定性是该地区森林经营的重要目标之一。

自上世纪的采伐以来,森林的抚育工作也伴随着营造林在进行,抚育的主要对象是人工中幼林,具体包括割灌除草、透光伐、卫生抚育等,进而保证林木幼苗能顺利生长郁闭成林^[2]。然而,川西地区云杉人工林林分平均密度在 3 000 株·hm⁻² 左右,最大密度可达 6 590 株·hm⁻²^[1],但很少进行疏伐或密度调控,尤其是天然林保护工程开展以来,林区禁伐,密度调控更是少之更少。本文以云杉人工林为研究对象,研究不同的密度调控对云杉人工林林分生物量和生物多样性的影响,其结果不仅对深入认识森林经营手段与林地固碳、生物多样性保育的关系、确定岷江上游天然林恢复与重建模式具有重要意义,也能为进一步完善该区域人工林经营管理方法和手段奠定数据基础。

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°04′。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。气候受着高原地形的影响,属冬寒夏凉的高山气候。以海拔 2 760 m 的米亚罗镇为例,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℃,年均温 3.0℃,≥10℃的年积温为 1 200℃~1 400℃。

米亚罗林区植被垂直带明显,其类型和生境随海拔及坡向而分异^[3,4]。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*)。自上世纪 50 年代开始的大规模砍伐活动后,仅部分伐区开展了以云杉为主的人工造林,作为阳性树种,云杉在阳坡的表现明显优于阴坡,导致阳坡最终基本被云杉人工林所占据,而阴坡则大多以天然更新为主,采伐迹地演替过程:采伐后 1 a~10 a 为灌丛阶段,以悬钩子为主;10 a~20 a 进入以悬钩子、桦木为主的灌木、阔叶林阶段,针叶树种的天然更新开始出现;20 a~30 a 为以桦木为主的阔叶林阶段,之后进入针阔混交林阶段,并逐步向暗针叶林阶段演替^[5,6]。该区成土母岩主要为千枚岩、板岩、白云岩等的残坡积风化物,极易风化,主要土壤类型为山地棕色森林土。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与群落调查

2008 年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,同等密度的云杉人工纯林近 20 hm²,对其进行密度调控,调控密度设置依次为:4 950 株·hm⁻²、1800 株·hm⁻²和 1 160 株·hm⁻²。每个处理设置 20 m×20 m 的样方 5 个;2014 年 8 月~9 月对该样地进行群落调查,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,即每个处理乔木样方 5 个,灌木和草本样方各 25 个。并对各类型研究对象进行了群落学调查(详见表 1),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。

表 1 云杉人工林密度调控样地情况表

经营方式	海拔(m)	优势树种	密度(株·hm ⁻²)	林龄(a)	坡向	坡度(°)	郁闭度
密度调控 I	3 350	云杉	1 800	56	E	30~35	0.85
密度调控 II	3 345	云杉	1 160	56	E	30~35	0.75
对照	3 345	云杉	4 950	56	E	25~30	0.95

注:密度调控 I:2008 年在对照密度的基础上进行了以间伐作业为主的密度调整,间伐强度 65%;密度调控 II:2008 年在对照密度的基础上进行了以间伐作业为主的密度调整,间伐强度 75%;对照:不做任何处理;下同

1.2.2 林分生物量调查与样品采集

同时,还对不同密度处理的林分进行了生物量

调查,对灌木和草本样方通过“样方收获法”进行地上生物量的调查,分种测定茎、叶、根鲜重,选取样

品,在 75℃烘箱中烘干至恒重,计算其生物量;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^[7,8],具体模型如下(表 2):

表 2 云杉人工林乔木地上生物量异速生长模型

树种名称	地上部分器官	异速生长方程	相关系数	
云杉 <i>Picea</i> spp.	干	$W = 0.0405D^{2.568}$	$R^2 = 0.9890$	
	枝	$W = 0.0037D^{2.7386}$	$R^2 = 0.9450$	
	叶	D < 40 cm	$W = 0.0014D^{2.9302}$	$R^2 = 0.9419$
		D > 40 cm	$W = 29.5411nD - 63.15$	$R^2 = 0.7574$
桦木 <i>Betula</i> spp.	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	$W = 0.01513(D^2H)^{0.8085}$	$R^2 = 0.8281$	
其他阔叶树 Other broadleaf species	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	$W = 0.0004(D^2H) + 0.7563$	$R^2 = 0.9333$	

1.2.3 生物多样性指数计算

云杉人工群落的物种多样性采用下述方法计算^[9,10]:

Shannon-Weiner 指数(H'):

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

Simpson 指数(D):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)} \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数(J):

$$J = H' / \ln S \quad (3)$$

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 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 数据处理

对各林型下不同经营方式下的生物量和生物多样性进行方差分析,所有数据处理和制图均通过 SPSS13.0 和 Excel2010 完成。

2 研究结果

2.1 不同密度云杉人工林生物量及其组成

研究表明,不同密度调控处理间,云杉人工林单株树高变化不显著,但胸径和胸高断面积差异显著。具体而言,两种密度处理的胸径和胸径断面积均显著高于对照(表 3)。

表 3 不同密度调控云杉人工林林木生长情况

经营方式	胸径(cm)	高度(cm)	胸高断面积(cm ²)
密度调控 I	17.28 ± 1.49a	13.77 ± 0.49a	235.68 ± 41.40a
密度调控 II	19.97 ± 1.79a	13.71 ± 0.95a	315.01 ± 55.17a
对照	10.07 ± 1.16b	12.48 ± 0.16a	80.34 ± 18.83b

abc: 不同字母间表示同列数据间存在显著差异,下同。

如表 4 所示,通过研究发现,云杉人工林的乔木生物量是总生物量的主要组成部分,灌草生物量所占比例极小,且在不同处理间无显著差异。但就乔木和总生物量而言,密度调控 II 显著高于密度调控 I 和对照,且后两者间无显著差异。

表 4 不同密度处理云杉人工林生物量情况

经营方式	乔木生物量(t · hm ⁻²)	灌草生物量(t · hm ⁻²)	总生物量(t · hm ⁻²)
密度调控 I	141.01 ± 5.03b	0.14 ± 0.05a	141.15 ± 5.01b
密度调控 II	191.68 ± 33.00a	0.06 ± 0.04a	191.74 ± 32.99a
对照	122.25 ± 12.63b	0.00 ± 0.00a	122.25 ± 12.63b

注:因林下灌木极少,故和草本以灌草形式统一体现。

如表 5 所示,云杉人工林乔木地上生物量的主要组分为干生物量,占乔木整体生物量的三分之二以上,其次为枝生物量,叶生物量所占比重最小。在不同密度处理间,密度调控 II 的各项生物量均最大,且均显著高于对照处理;虽然密度调控 II 乔木总生物量显著高于密度调控 I,但与其地上各器官生物量之间无显著差异;就干占总生物量的比例而言,2 种处理显著高于对照。

表 5 不同密度处理云杉人工林乔木生物量组成情况

经营方式	叶生物量(t · hm ⁻²)	枝生物量(t · hm ⁻²)	干生物量(t · hm ⁻²)	乔木总生物量(t · hm ⁻²)	干占总生物量的比例
密度调控 I	11.72 ± 0.05ab	17.22 ± 0.62ab	112.07 ± 4.08ab	141.01 ± 5.03b	79.50 ± 3.20a
密度调控 II	16.72 ± 0.24a	23.85 ± 3.86a	151.11 ± 6.74a	191.68 ± 3.00a	78.82 ± 4.03a
对照	8.20 ± 0.40b	14.40 ± 0.82b	80.70 ± 9.97b	122.25 ± 2.63b	66.23 ± 4.92b

2.2 不同密度云杉人工林生物多样性

如表 6 所示,研究发现,不同密度处理下,云杉人工林乔木层生物多样性各指数间均无显著的差异。

表 6 不同密度处理云杉人工林乔木生物多样性情况

经营方式	Shannon-Weiner 指数	Simpson 指数	Pielou 均匀度指数
密度调控 I	0.23 ± 0.05a	0.27 ± 0.08a	0.21 ± 0.08a
密度调控 II	0.33 ± 0.07a	0.39 ± 0.02a	0.30 ± 0.07a
对照	0.37 ± 0.05a	0.20 ± 0.09a	0.24 ± 0.07a

如表 7 所示,研究发现,林分密度的改变对云杉人工林灌木层生物多样性产生了一定的影响,具体而言,疏伐显著促进了云杉灌木层的 Shannon-Weiner 指数,在不同密度调控处理间则无显著差异;密度调控 I 的 Simpson 指数显著高于另外 2 个处理;Pielou 均匀度指数在 3 个处理间均存在显著差异。

表 7 不同密度处理云杉人工林灌木生物多样性情况

经营方式	Shannon-Weiner 指数	Simpson 指数	Pielou 均匀度指数
密度调控 I	0.45 ± 0.09a	0.25 ± 0.02a	0.20 ± 0.07a
密度调控 II	0.58 ± 0.05a	0.11 ± 0.09b	0.15 ± 0.06b
对照	0.00 ± 0.00b	0.00 ± 0.00b	0.00 ± 0.00c

如表 8 所示,研究结果表明,林分密度的改变对于草本层生物多样性也产生了影响。首先,疏伐显著促进了云杉草本层的 Shannon-Weiner 指数和 Pielou 均匀度指数,两者在不同密度调控处理间则无显著差异;就 Simpson 指数而言,3 个处理间均存在显著差异,大小依次为:密度处理 I > 密度调控 II > 对照。

表 8 不同密度处理云杉人工林草本生物多样性情况

经营方式	Shannon-Weiner 指数	Simpson 指数	Pielou 均匀度指数
密度调控 I	1.06 ± 0.29a	0.50 ± 0.20a	0.31 ± 0.03a
密度调控 II	1.44 ± 0.32a	0.25 ± 0.08b	0.29 ± 0.06a
对照	0.00 ± 0.00b	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00b

3 讨论

3.1 不同密度云杉人工林生物量及其组成

密度调控对于林分生物量的影响包括两个方面,一方面,通过间伐或疏伐等手段的林分密度调控,给保留木提供了更多的资源空间,包括养分、水分甚至是生长空间等,这会在一定程度上促进林木的生长和生物量^[11-13],本研究也得到了类似的结论

(如表 3、4 所示);另一方面,密度调控势必会砍伐一些林木,进而直接降低林分的生物量。故最终,密度调控对于林分生物量的影响主要取决于上述两方面的平衡关系。本研究表明,无论是林分乔木生物量还是总生物量,密度调控 II 均显著高于另外 2 种处理。可见,与对照相比,本研究中 75% 的密度调控对于林木生长的促进效益显著高于由此而发生的林木生物量损失。换言之,1 160 株·hm⁻²较另外 2 种密度更能提高云杉人工林的林分生物量。同时,本研究发现,密度调控促进了林木单株生物量,林木各器官的生物量均有所增加,相比之下,干所占的生物量比例也随之增加,这与前人的研究结果相似^[13-15]。也就是说,随着林分密度的降低,林木的出材率会更高,这可能是因为疏伐改善了林内光照条件,导致林木叶片的光合利用效率显著上升,由于缺光而被促进的林木垂直生长逐渐向径向生长所转化。

3.2 不同密度云杉人工林生物多样性

森林生物多样性在一定程度上是衡量森林质量的重要指标,丰富的生物多样性同时也是生态系统稳定的基础,会促进生态系统功能的优化^[16]。大量研究表明,一般情况下,间伐等密度调控方式会促进林下植被的多样性和丰富度,间伐强度越大植物的种类越丰富,密度和盖度也越大^[17-19]。本研究也得到了类似的结果,即密度调控明显促进了林下灌草的多样性指数,随着密度调控强度的增加,灌木的 Pielou 指数、草本的 Simpson 指数和 Pielou 指数有增加的趋势,这可能与密度调控能增加林下环境异质性,林下空间和光照条件可得到改善有关^[14,20]。

综上所述,密度调控不但促进了川西亚高山云杉人工林的林木生物量,还促进了以乔木生物量为主的林分生物量。1 160 株·hm⁻²的密度水平较另外两种密度更能促进云杉人工林的林分生物量。同时,密度调控影响了林木生物量在各器官之间的分配,促进了干生物量的分配比例,进而提高了林木的出材率。此外,密度调控还显著地促进了林下灌草的生物多样性。

参考文献:

- [1] 刘兴良,宿以明,刘世荣,等. 川西高山林区人工林生态学的研究—人工林分区与分类[J]. 四川林业科技,2004,25(1):1~9.
- [2] 陶建平,王永建,李宗峰,等. 岷江上游大沟流域不同恢复阶段植被枯落物的水源涵养效应——第十一届中国科协年会论文集[C]. 重庆:中国科协,2009,1~10.

- [3] 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.
- [4] 冯宗炜,王效科,吴刚,等. 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.
- [5] 马炜,孙玉军. 长白落叶松中龄林生物量及其密度效应[D]. 东北林业大学学报,2013,41(8):13~17.
- [6] 高孝威,兴安落叶松天然林林分密度效应研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
- [7] 罗天祥,石培礼,罗辑,等. 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.
- [8] 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.
- [9] Ma K P. Methods of measure on biological community diversity I. α -diversity (Part 1). Chinese Biodiversity,1994,2:162~168.
- [10] Ma KP,Liu Y M. Methods of measure on biological community diversity I. α -diversity (Part 2). Chinese Biodiversity,1994. 2:231~239.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 李朝,王振营,王宇,等. 间伐对侧柏人工林生物量的影响[J]. 林业科技开发,2010,24(1):68~71.
- [14] 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.
- [15] Munoz F,Rubilar R,Espinosa M,et al. The effect of pruning and thinning on above ground aerial biomass of *Eucalyptus nitens* (Deane&Maiden) Maiden. Forest Ecology and Management,2008,255:365~373.
- [16] 李春义,马履一,徐昕. 抚育间伐对森林生物多样性影响研究进展[J]. 世界林业研究,2006,19(6):27~32.
- [17] 雷相东. 东北过伐林区森林类型和采伐对物种和林分结构多样性的影响研究[D]. 北京:北京林业大学,2000.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 龚固堂,牛牧,慕长龙,等. 间伐强度对柏木人工林生长及林下植物的影响[J]. 林业科学,2015,51(4):8~15.

(上接第 68 页)

朗是小鼯鼠的第二个分布点。使得高度关注。

3.4 王西之先生等(1980)在王朗自然保护区采集到攀鼠标本,由于额骨上有孔,将其命名为显孔攀鼠(*Vernaya foramena*)。后经研究证明是攀鼠(*Vernaya fulva*)。

参考文献:

- [1] Smith A T,谢焱. 中国兽类野外手册[M]. 长沙:湖南教育出版社,2009.
- [2] 蒋自刚,王应祥,马勇等. 中国哺乳动物多样性与地理分布[M]. 北京:中国科学出版社,2015.
- [3] 刘少英,冉江洪,林强等. 王朗自然保护区脊椎动物多样性[J]. 四川林业科技,2001,22(3):10~22.
- [4] 王西之,胡锦涛,陈克. 鼠亚科一新种——显孔攀鼠 *Vernaya foramen* sp. nov. [J]. 动物学报,1980,26:393~397.
- [5] 张国修,王再平,钟肇敏,冯云武. 王朗自然保护区小型兽类的调查[J]. 四川动物,1991,10(2):41.
- [6] 周才权,刘少英,齐敦武,廖文波. 四川兽类新纪录—秦岭鼯鼠[J]. 西华师范大学学报(自然科学版),2004,25(4):368~369.