

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.03.006

间伐对云杉人工中幼林生物多样性的影响研究

李登峰^{1,2}, 冯秋红^{2*}, 颜金燕³, 谢大军², 刘兴良², 孙治宇²

(1. 四川农业大学, 四川 成都 611130; 2. 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; 3. 阿坝州中等职业技术学校, 四川 茂县 623012)

摘要:为研究不同间伐强度对云杉人工林林下植被生物多样性的影响,在川西亚高山的米亚罗林区以不同林龄(20 a、30 a、40 a)的云杉人工林为研究对象,对其进行不间伐(即对照)、弱度间伐和中度间伐3种处理,在间伐1 a后,分析林下灌草层的生物多样性指标,结果表明1)20 a生的云杉人工林林下植被的生物多样性受弱度间伐和中度间伐的影响不大;2)中度间伐会显著降低30 a生和40 a生云杉人工林林下草本层的Shannon-Weiner指数;3)弱度间伐会显著增加40 a生的灌木层的Shannon-Weiner指数和Simpson指数。研究表明,在短期1 a内,间伐对30 a生和40 a生的云杉人工林的林下植被的生物多样性具有一定的影响。

关键词:间伐;云杉人工林;生物多样性

中图分类号:S753

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2018)03-0029-06

Effects of Thinning on Biodiversity of Undergrowth in Mid-young *Picea asperata* Plantations

LI Deng-feng^{1,2} FENG Qiu-hong^{2*} YAN Jin-yan³ XIE Da-jun²

LIU Xing-liang² SUN Zhi-yu²

(1. Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2. Sichuan Academy of Forestry, Sichuan Wolong Forest Ecosystem Research Station, Chengdu 610081, China;

3. Aba state secondary vocational and technical school, Maoxian 624000, China)

Abstract: In order to study the effect of different thinning intensity on biodiversity of undergrowth in *Picea asperata* plantations, the representative samplings (20a, 30a, 40a) were chosen for different thinning modes including un-thinning (as the CK), mild thinning and moderate thinning in Miyaluo area, the sub-alpine region of western Sichuan. One year after thinning, the biodiversity indexes of shrub layer and grass layer were measured and analyzed under *P. asperata* Mast. Plantations. The result showed that 1) the biodiversity of undergrowth in 20-year-old *P. asperata* plantations was not significantly affected by thinning. 2) The moderate thinning reduced significantly Shannon-Weiner index of grass layer in 30-year and 40-year old plantations. 3) The mild thinning increased significantly Shannon-Weiner index and Simpson index of shrub layer of 40-year-old plantations. As a result, thinning had a kind of influence on biodiversity of undergrowth in plantations of 30-year-old and 40-year-old in a short period of time.

收稿日期:2018-03-18

基金项目:国家十三五重点研发项目(2017YFC0505004-03)、四川省省财政专项项目(ZL2017-04)、四川省省级公益性科研院所基本科研业务费项目(JB2017-02)和四川省科技计划项目(2016JY0148)资助

作者简介:李登峰(1993-),男,硕士研究生,主要从事森林生态学研究。e-mail:glidengfeng@foxmail.com

*通讯作者:冯秋红(1982-),女,副研究员,博士,主要从事森林生态学研究。e-mail:fqiu hong@163.com

Key words: Thinning, *Picea asperata* Plantation, Biodiversity

生物多样性是中国森林生态服务功能和价值评价的重要指标之一^[1],森林作为一个许多物种赖以生存的大型生态系统,对维护生物多样性和生态圈的稳定发挥着不可替代的作用^[2]。中国是当今世界上人工林种植面积最大的国家,但由于林种单一、结构简单、立地条件差等原因,存在中国人工林的生态稳定性仍不如天然林的现状,做好森林抚育措施是解决这个问题的技术关键^[3,4]。间伐作为森林经营的主要措施之一,能够直接调整林分密度,改变森林内部环境,不仅能调节林下的光、温、热、湿和降水的再分配^[5],还能促进林下土壤温度^[6]、养分^[7]、水分^[8]以及林下土壤微生物群落^[9]的变化,并且能促进林木生长,对森林生态系统内部的生物多样性也起着不可忽视的作用^[10]。张小鹏等^[11]通过对小陇山林区华山松林研究后发现,间伐5 a后,强度间伐能够显著提高林下植物的生物多样性,但坡向因素对生物多样性影响并不显著;而成向荣等^[12]的研究却表明,间伐15 a后,不同间伐强度之间的杉木人工林林下植被多样性指数不呈显著性差异;段劼等^[13]则对不同立地类型的侧柏人工林进行间伐后发现,阴坡厚土林在强度间伐后其林下植被生物多样性最高,而阳坡薄土和阳坡厚土在中度间伐条件下灌草生物多样性最高。由前人的研究可见,间伐对林下植被生物多样性的影响是复杂的,其结果可能因林种、立地类型、间伐时间以及间伐强度等诸多条件的不同而出现差异;而且现阶段国内针对间伐措施对不同生长阶段的人工林的林下植被生物多样性的影响的相关研究仍然较少。

云杉(粗枝云杉)(*Picea asperata* Mast.)人工林作为川西山地主要森林类型,由于缺乏相应的间伐措施,川西地区的云杉人工林平均密度在3000株·hm⁻²左右^[14]。由于林分郁闭度过大,林内阴暗潮湿,出现林下植被生物多样性较低,土壤肥力退化等生态问题,影响了森林生态效益的发挥,亟需合理的人工抚育措施以提高其生态系统服务功能,尤其是生物多样性保护功能^[15]。本文以20 a、30 a、40 a 3种不同林龄云杉人工林为研究对象,研究间伐强度下对云杉人工林林下植被生物多样性的影响,以期为该区域云杉人工林抚育间伐措施提供一定的理论依据和科学指导。

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,山高谷深。气候受着高原地形的决定性影响,属冬寒夏凉的高山气候。以海拔2760 m的米亚罗镇为例,年均温3.0℃,最冷月均温-8℃,最热月均温12.6℃,绝对最低气温-18.4℃,绝对最高气温25.5℃,≥10℃的年积温为1200℃~1400℃,年蒸发量1000 mm~1900 mm高于年降水量700 mm~1000 mm。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

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不同林龄云杉人工纯林(样地具体情况详见表1)3块,开展了不同强度间伐处理试验。间伐强度依次设定为:弱度间伐(针对20a云杉人工林,去除林分蓄积量15%的云杉乔木,针对30a和40a云杉人工林,去除林分蓄积量10%的云杉乔木,3者均优先去除长势较差,或过于密集林分中长势较差的植株);中度间伐(针对20a云杉人工林,去除林分蓄积量30%的云杉乔木,针对30a和40a云杉人工林,去除林分蓄积量20%的云杉乔木,3者均优先去除长势较差,或过于密集林分中长势较差的植株);以及不间伐,对样地不进行任何处理,即对照处理。每个处理设置20 m×20 m的样方3个;2017年7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,即每个处理乔木样方3个,灌木和草本样方各15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。

表1 云杉人工林样地情况表

林龄(a)	海拔(m)	优势树种	密度(株·hm ⁻²)	坡向	坡度(°)	郁闭度
20	3320	云杉	2377	NE	15~20	0.80
30	3400	云杉	2500	E	20~25	0.80
40	3450	云杉	1605	E	25~30	0.90

1.2.2 生物多样性指数计算

在群落生物多样性研究中,Shannon-Weiner 指数和 Simpson 指数等生物多样性指数常用来反映群落的物种结构信息和复杂程度,用 Pielou 指数等均匀度指数来反映群落物种的分布情况^[16]。在本次研究中,云杉人工群落的物种多样性采用下述方法计算^[17,18]:

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 个物种的个体数占有所有物种个体数的比例,即 $P_i = N_i/N$ 。

1.2.3 数据处理

对各林型下不同经营方式下的生物多样性指数进行方差分析,所有数据处理和制图均通过 SPSS 13.0 和 Excel 2016 完成。

2 研究结果

2.1 林龄对云杉人工林林下灌草生物多样性的影响

由表 2 所示,云杉人工林林下草本层各生物多样性指数和林下灌木层的 H' 指数在不同林龄之间均无显著性差异;而 40 a 生的云杉人工林林下灌木层的 D 指数显著低于 20 a 生和 30 a 生($P < 0.05$); 20 a 生的云杉人工林林下灌木层的 J 指数则显著低于 30 a 生和 40 a 生($P < 0.05$)。

表 2 不同林龄下未间伐云杉人工林林下灌草生物多样性指标

林龄 (年)	草本			灌木		
	Shannon-Weiner 指数(H')	Simpson 指数(D)	Pielou 均匀度 指数(J)	Shannon-Weiner 指数(H')	Simpson 指数(D)	Pielou 均匀度 指数(J)
20	1.95 ± 0.28a	0.86 ± 0.06a	0.83 ± 0.06a	0.84 ± 0.39a	0.77 ± 0.19a	0.55 ± 0.26b
30	2.00 ± 0.25a	0.85 ± 0.08a	0.80 ± 0.15a	1.08 ± 0.31a	0.80 ± 0.08a	0.81 ± 0.18a
40	1.94 ± 0.32a	0.82 ± 0.05a	0.82 ± 0.07a	0.80 ± 0.32a	0.55 ± 0.16b	0.84 ± 0.19a

注:同列小写字母表示差异显著($P < 0.05$)下同。

2.2 不同间伐强度对 20a 生云杉人工林林下灌草生物多样性的影响

对 20 a 生云杉人工林进行不同强度的间伐措施后,由表 3 可知,灌木层和草本层的生物多样性指数在不同处理间均无显著性差异。结果表明,弱度和中度间伐对该地区 20 a 生的云杉人工林林下灌草层的生物多样性的影响并不显著。

2.3 不同间伐强度对 30 a 生云杉人工林林下灌草生物多样性的影响

如表 4 所示,在 30 a 生的云杉人工林的林下植被的草本层中,随着间伐程度的加强,各生物多样性指数都逐渐下降(对照 > 弱度 > 中度),而且中度间伐的林下草本层的 H' 指数显著低于弱度间伐样地和对照样地($P < 0.05$),其值比对照样地下降了

33%;但草本层的 D 、 J 指数以及灌木层的各生物多样性指数在各处理间均无显著差异。结果说明中度间伐显著降低了 30 a 生的云杉人工林林下草本层的 H' 指数,草本层的变化相较灌木层更加敏感。

2.4 不同间伐强度对 40a 生云杉人工林林下灌草生物多样性的影响

研究表明(表 5),40 a 生云杉人工林林下,中度间伐样地的林下草本层的 H' 指数低于对照和弱度间伐处理并与两个处理呈显著性差异($P < 0.05$),其值比对照样地下降了 20.1%。在林下灌木层中,弱度间伐样地的 H' 、 D 指数显著高于对照样地和中度间伐样地($P < 0.05$)其值比对照样地分别上升了 58.75%、40%,而中度间伐样地的 3 种指数相比对照样地提升较小,林下灌木层的 H' 值、 D 值、 J 值都

表 3 不同间伐强度下 20 a 生云杉人工林林下灌草生物多样性指标

间伐程度	草本			灌木		
	Shannon-Weiner 指数(H')	Simpson 指数(D)	Pielou 均匀度 指数(J)	Shannon-Weiner 指数(H')	Simpson 指数(D)	Pielou 均匀度 指数(J)
对照	1.95 ± 0.28a	0.86 ± 0.06a	0.83 ± 0.06a	0.84 ± 0.39a	0.77 ± 0.19a	0.55 ± 0.26a
15%	1.81 ± 0.35a	0.82 ± 0.07a	0.80 ± 0.15a	0.82 ± 0.22a	0.89 ± 0.12a	0.69 ± 0.15a
30%	1.94 ± 0.33a	0.81 ± 0.07a	0.85 ± 0.09a	0.94 ± 0.29a	0.96 ± 0.28a	0.72 ± 0.15a

表 4 不同间伐强度下 30a 生云杉人工林林下灌草生物多样性指标

间伐程度	草本			灌木		
	Shannon-Weiner 指数(H')	Simpson 指数(D)	Pielou 均匀度 指数(J)	Shannon-Weiner 指数(H')	Simpson 指数(D)	Pielou 均匀度 指数(J)
对照	2.00 ± 0.25a	0.85 ± 0.08a	0.80 ± 0.15a	1.08 ± 0.31a	0.80 ± 0.08a	0.81 ± 0.18a
10%	1.78 ± 0.35a	0.78 ± 0.13a	0.80 ± 0.22a	0.73 ± 0.38a	0.61 ± 0.23a	0.87 ± 0.16a
20%	1.34 ± 0.33b	0.70 ± 0.16a	0.69 ± 0.21a	0.89 ± 0.33a	0.74 ± 0.17a	0.85 ± 0.18a

表 5 不同间伐强度下 40a 生云杉人工林林下灌草生物多样性指标

间伐程度	草本			灌木		
	Shannon-Weiner 指数(H')	Simpson 指数(D)	Pielou 均匀度 指数(J)	Shannon-Weiner 指数(H')	Simpson 指数(D)	Pielou 均匀度 指数(J)
对照	1.94 ± 0.32a	0.82 ± 0.05a	0.82 ± 0.07a	0.80 ± 0.32b	0.55 ± 0.16b	0.84 ± 0.19a
10%	1.98 ± 0.28a	0.79 ± 0.19a	0.88 ± 0.05a	1.27 ± 0.05a	0.77 ± 0.03a	0.91 ± 0.04a
20%	1.55 ± 0.42b	0.78 ± 0.08a	0.87 ± 0.08a	0.86 ± 0.18b	0.58 ± 0.04b	0.85 ± 0.12a

表现为弱度 > 中度 > 对照,结果说明间伐能够对 40 a 生的云杉人工林林下灌草层的分布格局产生较大的影响,弱度间伐能显著提高灌木层的 H' 指数和 D 指数,但中度间伐则会显著降低草本层的 H' 指数。

3 讨论与结论

前人研究表明,随着林龄的增加,林下植被的生物多样性呈现逐步增加的趋势^[19,20],但本研究中发现林龄对云杉人工林林下草本层的生物多样性的影响并不显著,30 a 和 40 a 的云杉人工林林下灌木层的 J 指数显著高于 20 a,40 a 的云杉人工林林下灌木层 D 指数相较 20 a 和 30 a 出现显著下降;同时,在本次研究中,20 a 和 30 a 云杉人工林在不同间伐强度处理之间的灌木层各项生物多样性指数间均无显著性差异,说明中低强度的间伐措施在短期 1 a 内对该地区 20 a 和 30 a 云杉人工林林下灌木层的生物多样性影响不大,李贵祥等^[21]也发现抚育间伐在短期内(2 a)对云南松纯林的灌木层的物种多样性影响不大,与本次结果类似。

大量研究认为间伐措施对人工林林下植被的生物多样性具有促进作用,间伐能够降低人工林的林分密度,使得林下光照得到改善,温度增加,湿度降低^[22-24],并使得林下植被获得了更多的水分、养分以及生长空间。这些变化增加了林内的环境异质性,一方面促进林下植被类型的改变,光照和水分得改善使得喜光和需水等级较高植物得以入侵^[25,26],增加了林下植被的种类,另一方面增强林下植被的生长势,促进林下灌草植物数量增加,使得林下植被的生物多样性得到提高。王凯等^[26]在对不同林龄的油松人工林实施不同强度的间伐措施后发现,在

短期 2a 内,随着间伐强度的增强,林下灌木层的生物多样性指数逐渐提高,其结果跟李春义等^[27]的侧柏人工林林下灌木层生物多样性对抚育间伐短期响应研究成果相似。赵常明等^[28]在其研究成果中指出,在青藏东缘岷江上游亚高山的云杉人工林的灌木层的物种多样性在 T2 期(林龄 20 a ~ 30 a)由于上层乔木层逐渐郁闭,群落生境发生剧烈变化,而 T3 期(林龄 30 a ~ 40 a)郁闭环境调整适应期和 T4 期(林龄 40 a ~ 50 a)郁闭环境基本适应期,其群落生境趋渐稳定,对人为干扰的响应也更加敏感。本次研究中的 40a 云杉人工林林下灌木层的 H' 指数和 D 指数在 10% 的弱度间伐强度下显著上升(表 4),原因可能是 40 a 的云杉人工林郁闭度比 20 a、30 a 云杉人工林更高(表 1),对间伐的响应也更加敏感,未经间伐处理的对照组林下灌木种类单一、数量较少甚至没有灌木出现,所以在经过 10% 的间伐强度后,原本较为稳定的林内环境被改变,林内光照和空间突然增加,水热资源和土壤养分得到改善,林地内的灌木种类和数量都得到增加,显著地提高了灌木层的生物多样性。

现今许多研究都指出,抚育间伐能提高林下草本层的生物多样性指数^[23,29-33],也有研究指出间伐对其影响并不显著^[34]。本次研究中发现,间伐后的草本层的生物多样性指数均比对照低,且随着间伐强度的增加而下降,其中 30 a 和 40 a 云杉人工林林下的草本层的 H' 指数在 20% 的间伐强度下出现了显著降低的情况(表 3、表 4)。草本层生物多样性的下降是多方面的因素共同造成的,光照是影响林下植被更新重要因素,但也应该全面考虑到气候、地形、土壤、林种以及种子传播等限制性因素^[35],好的立地条件资源丰富,抗干扰能力强,即使受到强度间

伐也能提高林下植物的多样性,而差的立地条件受到轻度人为干扰就可能打破其原来脆弱的生态平衡,导致林下植被的退化。本次研究区域位于青藏高原东缘,海拔高,坡度较陡,气候寒冷,植物生长期短,立地条件差,属于生态脆弱区,且本次研究观察时间较短(1 a 短期响应),草本层的植物因为其生长形态特性,相较灌木层来说对外界的干扰反应更敏感,间伐作业中人的践踏和对乔木的伐倒,拖曳等人为活动也会直接对地表的草本层造成一定程度的破坏,在短期(1 a)内无法恢复。此外,云杉林中度间伐后林内环境变化较大,光照过强,地表温度升高,林地内某些林下阴生草本植物受到影响无法适应这种突然变化,导致其数量下降甚至种类减少。虽然在中度间伐后的林下出现了如老鹳草(*Geranium wilfordii* Maxim.)、荆芥(*Schizonepeta tenuifolia*)、齿果酸模(*Rumex dentatus*)等阳性植物,由于高寒气候的影响以及高山对种子传播的限制,阳性植物数量和种类仍然较少,在较短的时间内无法形成规模^[36],这些都可能造成林下草本层 H' 指数在 20% 间伐强度下显著降低。

综上所述,从 1 a 短期效应来看,弱度间伐能显著提高该地区 40 a 云杉人工林的林下灌木层的生物多样性,但中度间伐会显著降低 30 a 和 40 a 云杉人工林林下的草本层的生物多样性。由于研究区域生态脆弱,立地条件差等原因,本次试验并没有选择强度间伐;而本次实验只研究了其 1 a 的短期响应,在未来的研究中应注意对间伐后林下植被的生物多样性进行动态变化监测和长期响应的研究,以期为川西山地云杉人工林的经营工作提供更加全面的科学依据。

参考文献:

- [1] 赵同谦,欧阳志云,郑华,等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报,2004(4):480~491.
- [2] Feng G, Xiangchengmi, Yan H, et al. CForBio: a network monitoring Chinese forest biodiversity[J]. 中国科学通报(英文版), 2016(15):1163~1170.
- [3] 陈幸良,巨茜,林昆仑. 中国人工林发展现状、问题与对策[J]. 世界林业研究,2014(06):54~59.
- [4] 李淑华,杨继承,刘妍妍. 森林抚育间伐研究综述[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报,2010(01):30~31.
- [5] 鲍文,包维楷,何丙辉,等. 岷江上游油松人工林对降水的截留分配效应[J]. 北京林业大学学报,2004(05):10~16.
- [6] 王艳平,沙霖楠,关庆伟. 间伐对杉木林下地被物多样性及土壤理化性质的影响[J]. 安徽农业科学,2014(21):7047~7051,7081.
- [7] 王成,庞学勇,包维楷. 低强度林窗式疏伐对云杉人工纯林地表微气候和土壤养分的短期影响[J]. 应用生态学报,2010(03):541~548.
- [8] 冯秋红,吴晓龙,徐峥静茹,等. 密度调控对川西山地云杉人工林地地被物、土壤水文效应的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2017.
- [9] 张鼎华,叶章发,范必有,等. 抚育间伐对人工林土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报,2001(05):672~676.
- [10] 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(06):27~32.
- [11] 张小鹏,王得祥,张鹏,等. 抚育间伐对小陇山林区华山松林下植物多样性的影响[J]. 西北林学院学报,2017(02):37~42.
- [12] 成向荣,徐金良,刘佳,等. 间伐对杉木人工林林下植被多样性及其营养元素现存量影响[J]. 生态环境学报,2014(01):30~34.
- [13] 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(06):1431~1441.
- [14] 刘兴良,汪明,宿以明,等. 川西高山林区人工林生态学研究——种群结构[J]. 四川林业科技,2003(03):1~9.
- [15] 周义贵,郝凯婕,李贤伟,等. 林窗对米亚罗林区云杉低效林土壤有机碳和微生物生物量碳季节动态的影响[J]. 应用生态学报,2014(09):2469~2476.
- [16] 马淑琴,薛正伟,杨丽丽,等. 塔里木荒漠河岸林异质生境物种多样性比较与其测度指标筛选及评价[J]. 植物研究,2017(06):961~969.
- [17] 郭东翌,上官铁梁,白中科,等. 山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应[J]. 生态学报,2011(12):3296~3307.
- [18] 王滑,潘刚,边巴多吉,等. 西藏泡核桃群落结构及物种多样性分析[J]. 西部林业科学,2015(02):43~47.
- [19] 徐馨,王法明,邹碧,等. 不同林龄木麻黄人工林生物多样性与土壤养分状况研究[J]. 生态环境学报,2013(09):1514~1522.
- [20] 刘海涛,贾志清,颜守保. 高寒沙地不同林龄乌柳林下植物物种多样性[J]. 安徽农业大学学报,2015(05):761~768.
- [21] 李贵祥,孟广涛,方向京,等. 抚育间伐对云南松纯林结构及物种多样性的影响研究[J]. 西北林学院学报,2007(05):164~167.
- [22] 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(05):1~9.
- [23] 周志庭,李增利,徐国巧. 不同间伐强度对华北落叶松人工林林下植被生物多样性影响的研究[J]. 山东林业科技,2013(02):45~47.
- [24] 宋启亮,董希斌. 采伐强度对小兴安岭低质林生物多样性的影响[J]. 东北林业大学学报,2014(10):1~6.
- [25] 陈东莉,郭晋平,杜宁宁. 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(04):37~38.

- [26] 王凯,马履一,贾忠奎,等.不同林龄油松人工林下植物对不同间伐强度的短期响应[J].东北林业大学学报,2013(10):1~9.
- [27] 李春义,马履一,王希群,等.抚育间伐对北京山区侧柏人工林林下植物多样性的短期影响[J].北京林业大学学报,2007(03):60~66.
- [28] 赵常明,陈庆恒,乔永康,等.青藏东缘岷江上游亚高山针叶林人工恢复过程中物种多样性动态[J].植物生态学报,2002(S1):20~29.
- [29] 刘红炎,陈东莉,柳杰,等.华北落叶松人工林不同间伐水平下林下植物多样性研究——以山西关帝山龙兴林场为例[J].林业资源管理,2017(1):50~56.
- [30] 季荣飞,周世兴,黄从德,等.间伐强度对柏木低效人工林灌草多样性的影响[J].东北林业大学学报,2015(5):68~74.
- [31] 杨育林,李贤伟,周义贵,等.林窗式疏伐对川中丘陵区柏木人工林生长和植物多样性的影响[J].应用与环境生物学报,2014(06):971~977.
- [32] 安云,丁国栋,梁文俊,等.间伐对华北土石山区油松林生长及其林下植被发育的影响[J].水土保持研究,2012(04):86~90.
- [33] 李国雷,刘勇,徐扬,等.间伐强度对油松人工林植被发育的影响[J].北京林业大学学报,2007(02):70~75.
- [34] 罗应华,孙冬婧,林建勇,等.马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响[J].生态学报,2013(19):6154~6162.
- [35] ELAINE HOOPER, Legendre P, Condit R. Barriers to forest regeneration of deforested and abandoned land in Panama[J]. Journal of Applied Ecology, 2005 (NO. 6): 1165 ~ 1174.
- [36] 高明,朱玉杰,董希斌,等.采伐强度对大兴安岭用材林生物多样性的影响[J].东北林业大学学报,2013(8):18~21.

(上接第12页)

- [17] Bearer S, Linderman M, Huang J, et al. Effects of fuelwood collection and timber harvesting on giant panda habitat use[J]. Biol Conserv, 2008, 141(2): 385 - 393.
- [18] Viña A, Tuanmu M N, Xu W, et al. Range-wide analysis of wildlife habitat: Implications for conservation[J]. Biological Conservation, 2010, 143(9): 1960 ~ 1969.
- [19] Liu J. Promises and perils for the panda[J]. Science, 2015, 348(6235): 642.
- [20] 周洁敏.大熊猫栖息地评价指标体系初探[J].中南林学院学报, 2005, 25(3): 39~44.
- [21] 张泽钧, 胡锦矗. 大熊猫生境选择研究[J]. 四川师范学院学报(自然科学版), 2000, 21(1): 18~21.
- [22] Kernohan B J, Gitzen R A, Millsapugh J J. Analysis of Animal Space Use and Movements [M]. Philadelphia: Elsevier Inc, 2001: 125~166.
- [23] Laver P N, Kelly M J. A Critical Review of Home Range Studies [J]. Journal of Wildlife Management, 2008, 72(1): 290~298.
- [24] 孙承骞, 张哲邻, 金学林. 秦岭大熊猫局域种群的划分及数量分布[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2006, 34(增刊): 163~167.
- [25] Wu X, Ouyang Z, Viña A, et al. Designing a conservation plan for protecting the habitat for giant pandas in the Qionglai mountain range, China[J]. Diversity & Distributions, 2006, 12(5): 610~619.
- [26] 魏辅文, 张泽钧, 胡锦矗. 野生大熊猫生态学研究进展与前瞻[J]. 兽类学报, 2011, 31(4): 412~421.
- [27] Tuanmu M N, Viña A, Roloff G J, et al. Temporal transferability of wildlife habitat models: implications for habitat monitoring [J]. Journal of Biogeography, 2011, 38(8): 1510 ~ 1523.
- [28] 张明春, 黄炎, 李德生, 等. 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6014~6020.
- [29] 胡锦矗. 大熊猫研究[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2001.
- [30] 潘文石, 高郑生, 吕植. 秦岭大熊猫的自然庇护所[M]. 北京: 北京大学出版社, 1988.
- [31] 张泽钧, 胡锦矗, 吴华. 邛崃山系大熊猫和小熊猫生境选择的比较[J]. 兽类学报, 2002, 22(3): 161~168.
- [32] 张晋东. 人类与自然干扰下大熊猫空间利用与活动模式研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012: 124~131.
- [33] Wei F, Feng Z, Wang Z, et al. Habitat Use and Separation between the Giant Panda and the Red Panda[J]. Journal of Mammalogy, 2000, 81(2): 448~455.
- [34] 徐卫华, 欧阳志云, 李宇, 等. 基于遥感和GIS的秦岭山系大熊猫生境评价[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(3): 238~242.
- [35] Reid D G, Hu J. Giant Panda Selection Between Bashania fangi-ana Bamboo Habitats in Wolong Reserve, Sichuan, China [J]. Journal of Applied Ecology, 1991, 28(1): 228~243.
- [36] Liu X, Cheng X, Skidmore A K. Potential solar radiation pattern in relation to the monthly distribution of giant pandas in Foping Nature Reserve, China[J]. Ecological Modelling, 2011, 222(3): 645~652.
- [37] Liu J, Linderman M, Ouyang ZY, et al. Ecological degradation in protected areas: the case of Wolong Nature Reserve for giant pandas[J]. Science, 2001, 292(5514): 98~101.