

间伐对杉木人工林林下植被多样性及生物量的影响

王祖华, 李瑞霞, 王晓杰, 关庆伟*

南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037

摘要: 对间伐了4年的杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.)Hook.)人工林林下植被的生物量和生物多样性进行了调查和分析。结果表明: 林下植被相似系数随着间伐强度增加而增加; 间伐显著提高了林下植被的物种丰富度、Simpson 指数、Shannon-Weiner 指数和生物量($P<0.05$), 而对均匀度指数无显著影响($P>0.05$); 强度和中度间伐显著增加了灌木生物量, 而草本生物量在弱度和中度间伐下显著增加($P<0.05$); 3种间伐强度均显著提高草本的物种丰富度、Simpson 指数和Shannon-Weiner 指数, 而灌木的3种指数仅在强和中度间伐下得到显著提高($P<0.05$)。

关键词: 物种多样性; 生物量; 林下植被; 间伐强度; 杉木

中图分类号: S718

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 12-2778-05

林下植被作为森林生态系统的—个重要组成部分, 在促进人工林养分循环和维护森林立地生产力方面起着关键作用^[1-2]。然而, 长期以来, 为了最大限度地获取木材, 人工林采用密植措施来提高单位面积生长量, 导致群落结构单一、林下植被发育差, 严重影响了人工林的可持续经营^[3-4]。

间伐通过调整林分结构, 改变林内光、温度及土壤水分含量等资源, 减小林木间的竞争, 能促进林下植被的更新和保留木生长^[5-6]。目前关于间伐对林下植被物种多样性的研究无统一的结论, 如, 间伐可增加物种丰富度和多样性^[7-11], 减少物种多样性^[8,12-13], 或无影响^[14-15]。而间伐一般能增加林下植被生物量^[16], 但不同干扰强度对生物量影响不同。有研究表明, 林下植被生物量随间伐强度增加而增加^[9,11], 中度间伐下的林下植被生物量最大^[17]。因此, 大量开展这方面的研究是必需的^[18]。

杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.)Hook.)是我国南方亚热带特有的优良速生乡土用材树种, 占全国造林面积的 28.54%^[19], 在我国亚热带森林生态系统中占有十分重要的地位^[20-21]。研究表明, 间伐提高杉林人工林林下灌木和草本种类^[22-23], 杉木林下灌木多样性与林分密度呈极显著负相关, 而草本层的多样性与林分密度无明显相关^[24], 林下植被生物量和多样性随间伐强度增加而增加^[25], 而弱度间伐对生物量没有影响^[23], 但相关研究结论缺乏统计意义。笔者以南京市溧水林场的 25 年生杉木人工林为研究对象, 分析不同间伐强度对林下植被物种多样性和生物量的影响, 旨在为杉木人工林的经营提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究区为距南京市主城区 40 km 溧水县林场的无想寺国家森林公园(119°01' E, 31°36' N), 总面积约 1 333 hm²。地处丘陵岗地, 平均海拔约 100 m。岩石由石英粗石岩、粗安岩及砂岩组成, 山地土壤多属地带性“黄棕壤”, 厚度 10~100 cm, 微酸性, 局部地段岩石裸露较多。气候属亚热带向温带过渡的气候带, 年平均气温 15.5 °C, 年平均日照 2 146 h, 年平均降水 1 005.7 mm, 无霜期 220 d, 四季分明。植被以人工林和通过封山育林形成的次生林为主。林分类型有马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.)Hook.)、麻栎+小叶栎(*Quercus acutissima* Carruth.+*Quercus chenii* Nakai.)、杉木+麻栎(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.)Hook.+*Quercus acutissima* Carruth.)、马尾松+麻栎(*Pinus massoniana* Lamb.+*Quercus acutissima* Carruth.)等, 呈现常绿阔叶林和落叶阔叶林的过渡特征。

1.2 样地设置

在林分踏查和标准地调查基础上, 选择林龄为 25 年的杉木人工林, 于同一坡面, 按坡位(上、中、下)设置了 3 个区组, 每个区组随机设置四种处理, 按间伐株数所占比率分为对照(CK, 0%)、弱度间伐(II, 20%~30%)、中度间伐(III, 40%~50%)、强度间伐(I, 60%~70%), 每种处理重复 3 次, 共设置了固定样地 12 块, 每块样地面积 20 m×20 m, 且不同区组之间, 以及同一区组不同处理之间的间隔均为 5 m。采用单株间伐方式于 2006 年 2 月完成间伐作

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201104075)“提高城市森林固碳能力的关键技术与示范”

作者简介: 王祖华(1981年生), 男, 博士, 主要从事森林生态系统碳、氮循环的研究。E-mail: zuhua131627@126.com

*通讯作者: 关庆伟(1964年生), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事城市生态学研究。E-mail: guanjuan999@yahoo.com.cn

收稿日期: 2010-11-24

业，并测量每个标准地树木的胸径、树高和冠幅。实验林分基本状况见表1。

表1 实验林分的基本状况

Table 1 Basic status of the experiment stands

间伐强度	林分密度/(株·hm ⁻²)	平均胸径/cm	平均树高/m	郁闭度
I	1 020	11.26	12.20	0.45
II	1 725	11.31	11.80	0.60
III	2 430	10.86	11.50	0.80
CK	3 495	9.83	11.20	0.95

1.3 林下植被的物种多样性测定

在每块标准地内，随机设计 5 个 2 m×2 m 的样方和 10 个 1 m×1 m 的样方，分别调查灌木(包括直径<4 cm 的小乔木或幼苗)和草本的种类、多度等。

物种多样性指标采用物种丰富度指标(S)，Pielou 均匀度指数 JSI 和 JSW，多样性 Simpson 指数(SP)和 Shannon-Weiner 指数(SW)，以及群落相似系数 Sorensen [12,18,22]。

1.4 林下植被的生物量测定

每块标准地内随机布置 3 个 1 m×1 m 的样地，采用收获法，将所有的灌木和草本连根挖出，现场称重。然后，各取 30%枝、叶和根的混合样，用电子秤称完鲜重后，装进已标号的封口袋内，带回实验室，在 105 °C 下烘至恒质量，测量干质量，计算含水率，换算生物量。

1.5 数据处理

样地的生物量和多样性指标数据用 Excel 2003 计算，基于 SPSS 13.0，采用单因素 ANOVA 分析不同间伐强度对林下灌木和草本的生物量、物种多样性指数影响显著性，多重比较采用 Duncan 法。采用 SigmaPlot 10.0 制图。

2 结果与分析

2.1 间伐对林下植被物种组成和相似系数的影响

本次调查中共出现物种 33 种，隶属于 29 科 33 属。由表 2 知，强度、中度和弱度间伐样地比未间伐样地分别多出现的物种数为 6、8 和 1。在 3 种间伐样地中均出现的物种有 9 种，而在间伐样地与未间伐里均出现的物种有 5 种。强度和中度间伐之间出现的共有种最多为 14 种，而弱度间伐和未间伐之间最小为 6 种。经间伐处理的林下植物的相似系数变化较大，强度间伐与中度、弱度和未间伐样地的物种相似系数分别为 66.67%、52.94%和 38.71%；中度间伐与弱度和未间伐样地的物种相似系数分别为 58.82%和 51.61%；弱度间伐和未间伐相似系数为 37.04%。因此，林下植被相似系数随着间伐强度增加而增加，与有关研究结论相似^[10]。

2.2 不同间伐强度对林下植被物种多样性的影响

经过间伐的杉木林的林下灌木和草本平均 S 指

表 2 不同间伐强度下的杉木人工林林下物种

Table 2 The species of understory for Chinese fir plantation under different thinning intensities

植物名称	I	II	III	CK
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.)Hook	√	√	√	√
油茶 <i>Camellia oleifera</i> Abel	√	√	√	√
悬钩子 <i>Rubus corchorifolius</i> Linn. f.	√	√	√	
短柄枹 <i>Quercus glandulifera</i> var. brevipedunculata	√	√		
拓树 <i>Cudrania tricuspidata</i> (Carr.)Bur.	√			
麻栎 <i>Quercus acutissima</i> Carruth.	√	√	√	√
山胡椒 <i>Lindera glauca</i> (Sieb.et Zucc.) Blume	√			
茅栗 <i>Castanea seguinii</i> Dode	√			
豆腐柴 <i>Premna microphylla</i> Turcz.	√			
野鸦椿 <i>Euscaphis japonica</i> (Thunb.)Dippel	√			
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> Mill.	√	√	√	
冬青 <i>Ilex purpurea</i> Hassk.	√	√		√
朴树 <i>Celtis sinensis</i> Pers.				√
山核桃 <i>Carya cathayensis</i> Sarg		√	√	
刺楸 <i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.)Koidz.		√		√
小腊 <i>Ligustrum sinense</i> .		√		√
乌柏 <i>Sapium sebiferum</i> (L) Roxb.		√		
菝葜 <i>Smilax stans</i> Maxim.		√		
槲树 <i>Quercus dentate</i> Thunb				√
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> Swingle			√	
葛藤 <i>Pueraria lobata</i> (Willdenow) Ohwi				√
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i> Willd.				√
葎草 <i>Humulus scandens</i> (Lour.)Merr.	√	√	√	√
同形鳞毛蕨 <i>Dryopteris uniformis</i> Makino	√	√	√	√
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i> (Thunb.) Sw.	√	√		
鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr.	√	√		√
篷蘘 <i>Rubus hirsutus</i> Thunb.	√	√	√	
商陆 <i>Phytolacca acinosa</i> Roxb.	√	√	√	
铁线蕨 <i>Adiantum edgeworthii</i> Hook.Sp.	√	√		
白英 <i>Solanum lyratum</i> Thunb.				√
鸭跖草 <i>Commelina communis</i> Linn.			√	√
狗脊蕨 <i>Woodwaria japonica</i> (L.f.) Sm.		√		
千金藤 <i>Stephania japonica</i> (Thunb.)Miers		√		
合计/种数	19	21	14	13

“√”表示样地中存在此物种

数分别为 13.33 和 8.33，SP 指数分别为 0.828 3 和 0.828 6，SW 指数分别为 2.117 4 和 1.924 4。由表 3 知，在不同间伐强度下，林下灌木物种平均丰富度指数、多样性 SP 和 SW 指数均表现为中度间伐>弱度间伐>未间伐，JSW 指数均依次为弱度>中度>强度>未间伐，而 JSI 指数依次为中度>弱度>强度>未间伐；林下草本物种丰富度指数、SW 指数随间伐强度的增加而增加，SP 指数却表现为弱度间伐>中度间伐>强度间伐>未间伐，JSI 和 JSW 指数依次为未间伐>强度>弱度>中度间伐。

方差分析表明，与未间伐林分相比，间伐样地的林下灌木的 S 和 SW 均极显著增加(P<0.01)，而 SP 指数显著增加(P<0.05)；林下草本的 S、SW 和

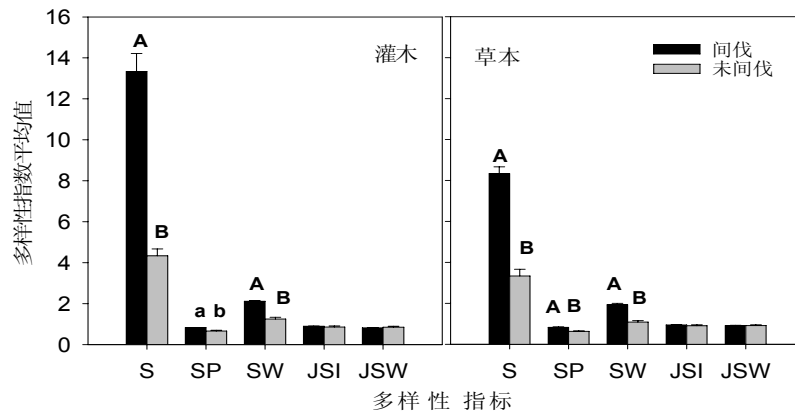


图1 间伐对灌木和草本物种多样性的影响
 不同的大写和小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)
 Figure 1 Effects of thinning on diversity for shrubs and herbs

SP 指数均极显著增加($P < 0.01$)。虽然, 灌木和草本的 JSI 指数(分别为 0.896 1 和 0.941 9)大于未间伐, 而 JSW 指数(分别为 0.819 1 和 0.907 6)低于未间伐, 但均无显著差异($P > 0.05$)(图 1, 表 3)。中度和强度间伐下的灌木和草本的 S、SP 和 SW 3 种指标均显著增加($P < 0.05$), 而在弱度间伐下, 草本 S、SP 和 SW 指数均显著提高, 但灌木 S 和 SW 指数无显著变化($P > 0.05$), 3 种间伐强度下的均匀度指数均无显著差异($P > 0.05$)。在 3 种间伐强度之间, 除强度和中度间伐下的灌木 S 和 SW 指数分别与弱度间伐之间差异显著外, 其余均无显著性差异($P > 0.05$)。

由此可知, 间伐提高了林下植被的物种丰富度和多样性指数, 这与许多研究结果相同^[9-10,17], 但间伐对林下植被的均匀度指数无显著影响, 这与已有的研究结果不同^[10,26]。均匀度是群落中各个物种多度的均匀程度, 间伐使林下出现了很强的优势种——杉木和油茶, 两者的个体数占总个体数的 59.36%, 且间伐后的林内环境因素变化的不均匀

性, 也使物种在数量组成上分布不均^[27]。在不同间伐强度下, 林下植被多样性指数变化不同。强度和中度间伐提高了林下灌木和草本的丰富度和多样性指数, 但弱度间伐仅提高了林下草本的丰富度和多样性指数。这可能是由于弱度间伐下林内光照、温湿度等环境因素的改变仍未达到乔木和灌木生长所需, 使林冠上层不会很快郁闭, 为林下草本生长提供了必要的资源, 且一般林下草本物种对间伐的反应较灌木敏感^[1,17]。随着间伐强度的增加林下灌木和草本的多样性指数也增加^[9,17], 或者符合中度干扰假说^[11], 但本研究未发现类似的规律和趋势, 可能与分析方法、研究地区特点和间伐强度界定标准的不同有关^[28-29]。

2.3 不同间伐强度对杉木人工林的林下植被生物量的影响

由图 2 知, 林下植被(灌木+草本)总生物量和灌木生物量均随间伐强度的增加而增加, 草本生物量却依次为中度>弱度>强度>未间伐。方差分析表明, 与未间伐相比: 强度和中度间伐增加了林下植被总

表 3 不同间伐强度下灌木和草本生物多样性指数的平均值

Table 3 Average values of biodiversity indexes in herbs and shrubs for different thinning intensity

指数	植被	I	II	III	CK
S	①	8.67(0.33)a	9.67(0.88)a	5.00(0.00)b	4.33(0.33)b
	②	6.00(0.58)a	5.67(0.33)a	5.00(0.58)a	3.33(0.33)b
SP	①	0.81(0.02)a	0.84(0.03)a	0.75(0.02)a	0.66(0.05)b
	②	0.76(0.04)a	0.81(0.06)a	0.82(0.02)a	0.63(0.03)b
SW	①	1.89(0.07)a	2.07(0.13)a	1.48(0.05)b	1.24(0.09)b
	②	1.61(0.13)a	1.53(0.10)a	1.42(0.14)a	1.09(0.07)b
JSI	①	0.92(0.02)a	0.94(0.02)a	0.93(0.02)a	1.04(0.04)a
	②	0.91(0.03)a	0.99(0.06)a	1.04(0.04)a	0.85(0.05)a
JSW	①	0.88(0.02)a	0.91(0.02)a	0.92(0.03)a	0.89(0.04)a
	②	0.90(0.03)a	0.88(0.05)a	0.89(0.04)a	0.85(0.04)a

每行的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 括号内为标准差, ①和②分别代表灌木和草本

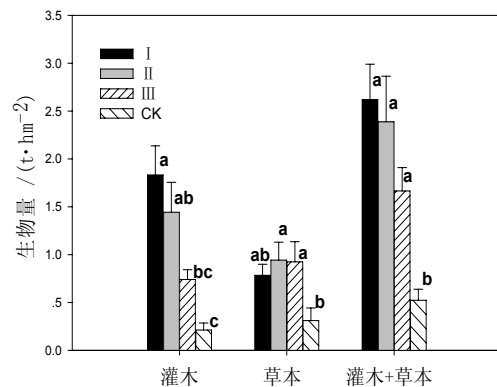


图2 间伐对林下植被生物量的影响
 Figure 2 Effects of thinning on biomass of understory

生物量和灌木生物量($P<0.05$), 而弱度间伐下的林下植被总生物量显著增加, 但其对灌木生物量无显著影响($P<0.05$); 中度和弱度间伐增加了林下草本生物量($P<0.05$), 而强度间伐对其无显著影响($P>0.05$)。在 3 种间伐强度之间, 除了强度间伐下的灌木生物量明显大于弱度间伐之外, 其余各间伐处理之间的林下生物量均无显著差异($P>0.05$)。因此, 间伐后杉木人工林林下植被生物量增加, 其中, 强度和弱度间伐增加了灌木生物量, 而草本生物量在弱度和中度间伐下增加。但本研究未发现林下灌木和草本的生物量随着间伐强度的增加也有明显增加趋势^[9,17]。所以, 采用反差分析与简单的数据加减的结果不同, 故在研究方法上要慎重。

3 结论

(1)间伐 4 年后, 杉木人工林的林下植被生物量(灌木和草本)提高了 4.26 倍; 林下灌木和草本物种丰富度指数分别提高了 3.08 和 2.50 倍, 多样性指数(SP 和 SW 均值)分别提高了 1.48 和 1.54 倍; 林下植被相似系数随着间伐强度增加而增加, 但间伐对林下植被的均匀度指数无显著影响。

(2)与未间伐样地相比, 林下灌木和草本的丰富度指数在强度间伐下分别显著提高了 2.00 和 1.80 倍, 在中度间伐分别显著提高了 2.23 和 1.70 倍; 林下灌木和草本多样性指数在强度间伐下分别显著提高了 1.38 和 1.35 倍, 在中度间伐下分别显著提高了 1.47 和 1.35 倍, 但弱度间伐仅显著提高了林下草本的丰富度和多样性指数 1.50 和 1.30 倍。灌木生物量在强度和弱度间伐分别显著增加了 8.65 和 6.81 倍, 而草本生物量在中度和弱度间伐下显著增加了 3.04 和 2.96 倍。

(3)关于间伐对林下植被生物多样性和生物量的影响需要更多的大样地研究数据, 采用统一的评价方法。由于间伐对生物多样性的影响没有长期性, 所以研究间伐对林下植被的生物多样性的影响需要设立固定样地, 进行长期定位观察研究。

参考文献:

- [1] GILLIAM F S. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems[J]. *Bioscience*, 2007, 57(10): 845-858.
- [2] KERNS B K, THIES W G, NIWA C G. Season and severity of prescribed burn in ponderosa pine forests: implications for understory native and exotic plants[J]. *Ecoscience*, 2006, 13: 44-55.
- [3] 温远光, 陈放, 刘世荣, 等. 广西桉树人工林物种多样性与生物量关系[J]. *林业科学*, 2008, 44(4): 14-19.
WEN Yuanguang, CHEN Fang, LIU Shirong, et al. Relationship between species diversity and biomass of eucalyptus plantation in Guangxi[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(4): 14-19.
- [4] 盛炜彤. 杉木林的密度管理与长期生产力研究[J]. *林业科学*, 2001, 37(5): 2-9.
SHENG Weitong. A study on stand density management and long-term productive of Chinese fir plantation[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(5): 2-9.
- [5] HUFFMAN D W, MOORE M M. Responses of Fendler ceanothus to overstory thinning, prescribed fire, and drought in an Arizona ponderosa pine forest[J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 198: 105-115.
- [6] GUNDALE M J, DELUCA T H, FIEDLER C E, et al. Restoration treatments in a Montana ponderosa pine forest: effects on soil physical, chemical, and biological properties[J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 213: 25-38.
- [7] WIENK C L, SIEG C H, MCPHERSON G R. Evaluating the role of cutting treatments, fire and soil seed banks in an experimental framework in ponderosa pine forests of the Black Hills, South Dakota[J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 192(2/3): 375-393.
- [8] METLEN K L, FIEDLER C E. Restoration treatment effects on the understory of ponderosa pine and Douglas-fir forests in western Montana, USA[J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 222: 355-369.
- [9] 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, 29(3): 60-66.
LI Chunyi, MA Lvyi, WANG Xiqun, et al. Short-term effects of tending on the undergrowth diversity of *Platycladus orientalis* plantation in Beijing mountainous areas[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(3): 60-66.
- [10] 于立忠, 朱教君, 孔祥文, 等. 人为干扰(间伐)对红松人工林林下植被多样性的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(11): 3757-3764.
YU Lizhong, ZHU Jiaojun, KONG Xiangwen, et al. The effects of anthropogenic disturbances(thinning)on plant species diversity of *Pinus Koreanis* plantations[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3757-3764.
- [11] 段劫, 马履一, 贾黎明, 等. 北京地区侧柏人工林密度效应[J]. *生态学报*, 2010, 30(12): 3206-3214.
DUAN Jie, MA Lvyi, JIA Liming, et al. The density effects of *Platycladus orientalis* plantation in Beijing area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3206-3214.
- [12] BUONGIOMO J, DAHIR S. Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stand[J]. *Forest Science*, 1994, 40(1): 83-103.
- [13] NAGAI M, YOSHIDA T. Variation in understory structure and plant species diversity influenced by silvicultural treatments among 21-to 26-year old *Picea glehnii* plantations[J]. *Journal of Forest Research*, 2006, 11(1): 1-10.
- [14] READER R J, BRICKER B D. Value of selectively cut deciduous forest for understory herb conservation: an experimental assessment[J]. *Forest Ecology and Management*, 1992, 51(4): 317-327.
- [15] GILLIAM F S, TURRILL N L, ADAMS M B. Herbaceous Layer and overstory species in clear cut and mature central appalachian hardwood forest[J]. *Ecological Applications*, 1995, 5(4): 947-955.
- [16] 毛志宏, 朱教君, 刘足根, 等. 间伐对落叶松人工林内草本植物多样性及其组成的影响[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(10): 2101-2107.
MAO Zhihong, ZHU Jiaojun, LIU Zugen, et al. Effects of thinning on species diversity and composition of understory herbs in a larch plantation[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(10): 1201-1207.
- [17] 徐扬, 刘勇, 李国雷, 等. 间伐强度对油松中龄林人工林林下植被多样性的影响[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2008, 32 (3): 135-138.
XU Yang, LIU Yong, LI Guolei, et al. Effects of the thinning intensity on the diversity of undergrowth vegetation in *Pinus tabulaeformis* plantations[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural*

- Sciences Edition, 2008, 32(3): 135-138.
- [18] NAGAIKE T, KAMITANI T, NAKASHIZUKA T. The effect of shelterwood logging on the diversity of plant species in a beech(*Fagus crenata*) forest in Japan[J]. Forest Ecology and Management, 1999, 118: 161-171.
- [19] 雷加富. 中国森林资源[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005. LEI Jiafu. Forest resources in China[M]. China Forestry Publishing House, Beijing, 2005.
- [20] 侯振宏, 张小全, 徐德应, 等. 杉木人工林生物量和生产力研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(5): 97-103. HOU Zhengong, ZHANG Xxiaoquan, XU Deying, et al. Study on biomass and productivity of Chinese fir plantation[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(5): 97-103.
- [21] 王兵, 魏文俊, 李少宁, 等. 中国杉木林生态系统碳储量研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2008, 47(2): 93-98. WANG Bing, WEI Wenjun, LI Shaoning, et al. Carbon storage of Chinese fir forest ecosystem in China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2008, 47(2): 93-98.
- [22] 杨承栋, 焦如珍, 屠星南, 等. 发育林下植被是恢复杉木人工林地力的重要途径[J]. 林业科学, 1995, 31(3): 316-322. YANG Chengdong, JIAO Ruzhen, TU Xingnan, et al. Developing undergrowth vegetation is an important way to recover soil fertility of Chinese fir plantation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1995, 31(3): 316-322.
- [23] 熊有强, 盛炜彤, 曾满生. 不同间伐强度杉木林下植被发育及生物量研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(4): 408-412. XIONG Youqiang, SHENG Weitong, ZENG Mansheng. Undergrowth development and biomass under different thinning intensities in Chinese fir plantations[J]. Forestry Research, 1995, 8(4): 408-412.
- [24] 刘玉宝. 29年生杉木林下植物多样性与密度的关系[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(1): 27-30. LIU Yubao. Relationship between undergrowth species diversity and syand density of 29-year-old Chinese fir plantations[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2005, 25(1): 27-30.
- [25] 江民锦. 不同间伐强度对杉木人工林下植被发育及生物量的影响[J]. 江西林业科技, 2001, 4: 4-8. JIANG Minjin. Effects of differences thinning intensities on undergrowth development and biomass in Chinese fir plantations [J]. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2001, 4: 4-8.
- [26] 马履一, 李春义, 王希群, 等. 不同间伐强度对北京山区油松生长及其林下植被多样性的影响[J]. 林业科学, 2007, 43(5): 1-9. MA Luyi, LI Chunyi, WANG Xiqun, et al. Effects of thinning on the growth and the diversity of undergrowth of *Pinus tabulaeformis* plantation in Beijing mountainous areas[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(5): 1-9.
- [27] 太立坤, 余雪标, 杨曾奖, 等. 三种类型森林林下植被多样性及生物量比较[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 229-234. TAI Likun, YU Xuebiao, YANG Zenjiang, et al. The compare of the understory vegetation diversity and biomass of three types of forest[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(1): 229-234.
- [28] KNAPP E E, SCHWILK D W, KANE J M, et al. Role of burning season on initial understory vegetation response to prescribed fire in a mixed conifer forest[J]. Canadian Journal of Forest Reseach, 2007, 37(1): 11-22.
- [29] EMERY S M, GROSS K L. Effects of timing of prescribed fire on the demography of an invasive plant, spotted knapweed *Centaurea maculosa*[J]. Journal of Applied Ecology, 2005, 42(1): 60-69.

Effects of thinning on biomass and species diversity of understory in Chinese fir plantations

WANG Zuhua, LI Ruixia, WANG Xiaojie, GUAN Qingwei*

Nanjing Forestry University, the college of forest resources and environment, Nanjing 210037, China

Abstract: The biomass and species diversity of understory for Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) plantation were investigated after thinning 4 years. The results indicated that with thinning intensity increasing, the similarity coefficient indexes increased; and species richness indexes、Simpson indexes、Shannon-Weiner indexes and biomass of understory increased significantly ($P < 0.05$), while effects of thinning on species evenness was insignificant ($P > 0.05$); both heavy thinning intensity and medium thinning intensity increased significantly the biomass of shrubs, and herbs biomass increased markedly under light thinning intensity and medium thinning intensity ($P < 0.05$); the Richness indexes, Simpson indexes and Shannon-Weiner indexes of herbs increased significantly under three thinning intensities, but those indexes of shrubs only increased markedly under the heavy thinning intensity and medium thinning intensity ($P < 0.05$).

Key words: species diversity; biomass; understory; thinning intensity; Chinese fir