生态环境学报 2012, 21(5): 807-812
Ecology and Environmental Sciences
http://www.jeesci.com
E-mail: editor@jeesci.com

间伐对马尾松人工林林下植物多样性的短期和长期影响

李瑞霞，马洪靖，闵建刚，郝俊鹏，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：探讨不同间伐强度林下马尾松人工林植物多样性的动态变化，为确定合理的间伐强度提供理论依据。以南京溧水林场马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)中龄人工林为研究对象，于 2007 年和 2011 年对间伐 1 a 和 5 a 后各间伐林下植物多样性进行了调查和分析。结果表明：间伐 1 a 和 5 a 后，与对照相比，中强度间伐林下植物种类、数量、丰富度 Margalef 指数、多样性 Simpson、Shannon-Weiner 指数和均匀度 JSW 指数均显著提高($P<0.05$),林下植物的生态优势度指数显著降低($P<0.05$)；弱度间伐林下各指数在间伐 1a 后显著降低（ $P<0.05$ ），而在间伐 5a 后显著提高（ $P<0.05$ ）。中强度间伐后林分各指数增幅最大，其中 Shannon-Wiener 指数对间伐措施更为敏感。间伐 5a 后，中强度间伐林下植物种类、数量和多样性指数比间伐 1a 后有所提高，弱度、中度、强度间伐后的林下植物种类比对照分别增加 15、17 和 15 种，总密度分别增加 1.40、3.44 和 2.14 倍。从短期和长期影响效果来看，中、强度间伐有利于植物多样性的提高。

关键词：马尾松人工林；间伐强度；短期影响；长期影响；植物多样性；生态优势度

中图分类号：S718　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-5906（2012）05-0807-06

间伐作为森林经营的重要措施之一，通过调整林分密度，改善林内环境条件，促进人工林林下植被的发育，增加林下植被多样性，加快群落的演替，提高林分的稳定性[1-3]。马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)是我国亚热带东部湿润地区的地带性针叶林之一[4]，也是南方主要的造林树种，对亚热带退化森林生态系统的恢复和重建起着重要作用[5]，是乔木林中仅次于栎类的第二大优势树种，占全国林地面积的 7.74%；而蓄积量排第 7 位，仅占全国林木蓄积的 4.40%[8]。有关间伐对马尾松林生长以及结构影响已有研究[6-9]，但是间伐后马尾松人工林林下植物多样性的动态研究尚少。本研究以马尾松中龄人工林为研究对象，通过调查分析间伐 1a 和 5a 后林下植物多样性的动态变化，为马尾松人工林科学、可持续经营提供理论依据。

国内外关于间伐对植物多样性影响的有效期尚无定论[10-16]。Taki等以柳杉(*Cryptomeria japonica*)为对象，研究不同间伐期的林下植被多样性变化，表明间伐3a物种构成发生了变化，但物种数量和优势度与间伐后1a没有显著差异[10]；Hiroaki T.等研究柳杉(*Cryptomeria japonica* D.Don)在带状间伐10a后林下植被的丰富度显著增加[11]；Adrian Ares等证实花旗松(*Douglas fir*)和异叶铁杉(*Tsuga heterophylla* (Raf.)Sarg.)在间伐6a与11a相比，林下植物的种类有变化，但盖度和多样性变化不显著[12]；也有证明黑松 (*Pinus contorta Dougl. ex Loud. var.* latifolia Engelm.) 幼龄林在间伐12~14年后植物多样性和丰富度有所提高[13]；段劼等以不同立地条件下的侧柏(*Platycladus orientalis*)人工幼龄林为对象，研究间伐1a和5a后林下植被多样性的变化，表明在间伐5a的林下植物种类、丰富度和多样性指数均比间伐1a要高[14]；马履一等研究了间伐对侧柏(*Platycladus orientalis*)[15]和油松(*Pinus tabulae Fromis*)[16]人工林林下植物多样性的影响，结果表明间伐1a和2a后林下植物种类、数量、多样性指数都随着间伐强度的增大而增加，而间伐6a后不同强度间伐下油松林的植物种类、多样性指数、均匀度指数均比间伐1a、2a后有所降低[16]。可以看出，间伐对林下植物多样性的影响不具有长期性，受时间和空间尺度限制。因此，研究不同间伐强度林下植物多样性的动态变化，还有待进行长期的定位观测。

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 hm^2。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 ℃，年平均日照 2 146 h，年平均降水 1 003 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。

基金项目：国家林业公益性行业科研专项(201104075)；国家重点基础研究发展计划(973 计划)（2012CB416904）

作者简介：李瑞霞（1981 年生），女，博士，主要从事森林生态系统碳、氮循环的研究。E-mail: Liruixia2109017@163.com

*通信作者：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: guanjapan999@yahoo.com.cn

收稿日期：2012-04-10

林分类型以马尾松和杉木纯林(*Cunninghamia lanceolata* Lamb. Hook.)为主，还有麻栎小叶栎混交林 (*Quercus acutissima* Carruth.+*Quercus chenii* Nakai.)、杉木麻栎混交林、马尾松麻栎混交林等，呈现常绿阔叶林和落叶阔叶林的过渡特征。

1.2 样地设置

为了保证调查的准确性，在样地选择时尽可能使其地形因子和土壤条件保持一致。在林分踏查和标准地调查基础上，选择无想寺公园小茅山阳坡林龄为 25 年生马尾松人工林，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(L，20%~30%)、中度(M，40%~50%)和强度(H，60%~70%)间伐，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 月完成间伐作业，并在样地四周布设围栏，避免人为破坏。试验林地的基本概况见表 1。

1.3 林下植被多样性测定

2007 年数据采用前期调查数据[17]。2011 年 8 月，在固定样地内，随机设计 5 个 2 m×2 m 的灌木样方和 5 个 1 m×1 m 的草本样方，详细记录每个样方中出现的灌木和草本的种类、多度等，将更新的乔木幼苗（包括直径<4 cm 的小乔木）统计在灌木样方中[18]。

物种多样性指标采用 Margalef 丰富度指数，多样性 Simpson 指数和 Shannon-Weiner 指数，Pielou 均匀度指数 JSW，生态优势度指数，各指标的计算方法详见文献[19-22]。

Margalef 丰富度指数(R1)：

$$R1 = (S-1)/\ln N$$

多样性指数 Simpson 指数(SP)和 Shannon-wiener 指数(SW)：

$$\mathrm{SP} = 1-\sum (P_i)^2 \ ; \ \mathrm{SW} = -\sum P_i \ln P_i$$

均匀度指数 Pielou 指数(JSW)：

$$\mathrm{JSW} = (-\sum P_i \ln P_i)/\ln S$$

生态优势度指数（λ）：

$$\lambda = \sum n_i(n_i-1)/N(N-1)$$

式中：S 为物种数，N 为所有物种的个体数之和；$P_i = n_i/N$ 代表第 i 个物种的相对多度，n_i 为第 i 个物种的个体数。

1.4 数据处理

试验数据用 Excel 2003 进行整理，基于 SPSS13.0，采用单因素 ANOVA 分析不同间伐期和间伐强度对马尾松人工林林下植物多样性指数影响显著性，采用 Duncan 多重比较法，应用 SigmaPlot 10.0 制图。

2 结果与分析

2.1 不同间伐强度林下植物种类和总密度的变化

由表 2 可知，间伐 1a 后林下共出现物种 37 种，隶属于 27 科 35 属。间伐 1a 后由于林内环境得到改善，林下植物迅速更新。与对照相比，中度和强度间伐林下植物种类分别增加 9 和 13 种，其中灌木分别增加为 4 和 8 种，草本增加均为 5 种；中度和强度间伐林下植物总密度分别增加 3.28 和 2.17 倍；而弱度间伐林分的植物种类和总密度变化不大。

间伐 5a 后林下共出现物种 42 种，隶属于 30 科 38 属。与对照相比，弱度、中度和强度间伐林下植物种类分别增加 15、17 和 15 种，其中灌木分别增加为 12、13 和 14 种，草本分别增加为 3、4 和 1 种；弱度、中度和强度间伐林下植物总密度分别增加 1.40、3.44 和 2.14 倍。中度和强度间伐表现出与间伐后第 1 年相一致的规律，并且植物种类和总密度均高于间伐后第 1a（见表 2）。

间伐后，林内光照条件发生变化，林下灌木、草本植物种类也发生了变化。林下灌木层植物多样性对林分密度的变化响应强烈，而草本物种多样性指数对林分密度变化的响应不敏感[25]，耐荫植物衰退，喜光植物增多(见表 2)。间伐 1a 和 5a 后相比较，对照林下植物种类较少，共出现植物种类 21 种，灌木优势种为黄檀和山莓，一般种为豆腐柴、野鸭

表 1 试验林分的基本状况

Table 1 Basic status of the experiment stands

时间	间伐强度	坡向	坡位	海拔/m	林分密度/(株·hm^{-2})	胸径/cm	树高/m	郁闭度
2006	间伐前	NW	中下	90	2580	9.19	8.50	0.75
2007	CK	NW	中下	90	2580	9.63	9.20	0.85
	L	NW	中下	90	1920	10.28	10.50	0.60
	M	NW	中下	90	1410	10.64	10.70	0.50
	H	NW	中下	90	900	11.31	11.20	0.40
2011	CK	NW	中下	90	2580	10.16	10.70	0.90
	L	NW	中下	90	1920	11.63	11.10	0.85
	M	NW	中下	90	1410	12.90	11.35	0.60
	H	NW	中下	90	900	13.42	11.70	0.55

表 2 不同间伐强度林下植物种类变化

Table 2 The species change of undergrowth with different thinning intensities

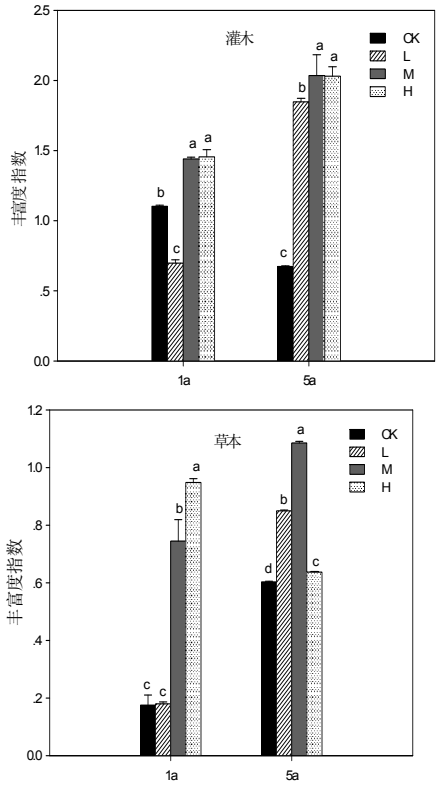
植物名称	间伐第 1 年后				间伐第 5 年后			
	CK	L	M	H	CK	L	M	H
菝葜 *Smilax stans Maxim.*		√	√	√		√		√
白檀 *Symplocos paniculata*	√	√	√	√			√	√
白玉兰 *Magnolia denudata*	√					√	√	√
冬青 *Ilex purpurea* Hassk.				√	√	√	√	√
豆腐柴 *Premna microphylla* Turcz.	√			√				
枸骨 *Ilex cornuta Lindl.* et Paxt.				√				
海金沙 *Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.	√		√	√	√	√	√	√
篌竹 *Phyllostachys nidularia f.* smoothsheath McClure			√	√				
黄连木 Pistacia chinesis Bunge			√					
黄檀 *Dalbergia hupeana*	√	√	√	√	√	√	√	√
鸡矢藤 *Paederia scandens* (Lour.) Merr.			√		√	√	√	√
檵木 *Loropetalum chinense*				√				√
荩草 *Arthraxon hispidus* (Thunb.)Makino			√	√				
铁线蕨 *Adiantum edgewothii* Hook.Sp.				√	√	√		
六月雪 *Serissa serissoide*			√	√				
络石 *Caulis Trachelospermi*				√				
牡荆 *Vitex negundo*			√	√		√	√	√
木防己 *Cocculus orbiculatus* (Linn.)DC.	√		√	√				
木香 *Rosa banksiae*		√						
佩兰 *Eupatorium fortunei*			√					
朴树 *Celtis sinesis* Pers.	√						√	
雀梅藤 *Sageretia theezans Brongn.*				√				
榕树 *Ficus microcarpa*			√	√				
山槐 *Albizia macrophylla*				√		√		√
山莓 *Rubus corchorifolius* Linn. f.	√		√	√				
杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.)Hook.	√		√				√	√
算盘子 *Glochidion puberum* (Linn.)Hutch.			√			√		
乌桕 *Sapium sebiferum* (L) Roxb.		√						
山胡椒 *Lindera glauca* (Sieb.et Zucc.) Blume			√		√	√	√	√
香樟 *Cinnamomum camphora* (*L*) Presl.				√		√	√	√
小果蔷薇 *Rosa cymosa Tratt.R. microcarpa Lindl.*		√	√	√	√	√	√	√
小腊 *Ligustrum sinense.*				√				√
盐肤木 *Rhus chinensis* Mill.	√					√	√	√
野柿子 *Diospyros morrisiana* Hance.				√				
野鸦椿 *Euscaphis japonica* (Thunb.)Dippel	√	√				√		
崖椒 *Zathoxvlumschinifolium*.Sieb.et.Zacc		√	√	√		√	√	√
柘树 *Cudrania tricuspidata* (Carr.)Bur.			√					
木莓 *Rubus idaeus*					√	√	√	√
悬钩子 *Rubus corchorifolius* Linn. f.					√	√	√	√
葛藤 *Pueraria lobata* (Willdenow) Ohwi					√		√	√
同形鳞毛蕨 *Dryopteris uniformis* Makino					√	√	√	√
山葡萄 *Vitaceae amurensis Rupr*					√	√	√	
白马骨 *Serissa serissoides* (DC.) Druce						√	√	√
茅莓 *Rubus parviflolius L.*							√	√
鹅肠菜 *Malachium aquaticum L.*						√	√	√
鸭跖草 *Commelina communis* Linn.						√	√	√
小飞蓬 *Conyza canadensis* (*L*) Cronq.						√	√	√
大叶女贞 *Ligustrum lucidum Ait*							√	√
箬竹 *Indocalamus tessellatus* (munro) Keng f.						√		
山茶 *Camellia japomica*							√	
榉树 *Zelkova serrata* (Thunb.)Makino							√	
商陆 *Phytolacca acinosa* Roxb.							√	
蓬藥 *Rubus hirsutus* Thunb.							√	
刺楸 *Kalopanax septemlobus* (Thunb.)Koidz.							√	
酢浆草 *Oxalis corniculata* Linn.						√	√	
竹叶椒 *Zanthoxylum.planispinum.Sieb.et* Zucc.						√		
臭椿 *Ailanthus altissima* Swingle						√		
青桐 *Firmiana simplex*					√			√
灌木	9	6	13	17	7	19	20	21
草本	2	2	7	7	6	9	10	7
合计	11	8	20	24	13	28	30	28
总密度（10^4·individual·hm^{-2}）	2.56	2.33	10.95	8.11	18.00	43.25	80	56.5

“√”表示样地中存在此物种

椿等；草本优势种为鸡矢藤、同形鳞毛蕨等，一般种为葛藤、铁线蕨等。弱度间伐林下植物种类少量增加，共出现植物 31 种；中度、强度间伐后则明显增加，林下植物共出现 41 和 42 种。中强度间伐后，更新层乔木优势种增加了白马骨、盐肤木、山胡椒、榉树等，灌木优势种增加了木莓、悬钩子、茅莓等，草本优势种增加了鹅肠菜、鸭跖草、小飞蓬等，并且黄檀的数量也得到大幅度的提高是间伐后 1a 相同间伐强度的 2.25 ~ 5.63 倍。因此，间伐后林分郁闭度降低、光照条件变好，使林下植物的种类和数量明显提高了，研究结果与前人结论一致[14,16,23]。

2.2 不同间伐强度林下植物丰富度指数的变化

物种丰富度是反映群落多样性的重要指标之一。由图 1 可知，间伐后 1a，与对照相比，中强度间伐林下灌木和草本的丰富度指数均显著提高(P<0.05)，而弱度间伐林下植物的丰富度指数变化不明显(P>0.05)。间伐 5a 后，与对照相比，三种间伐样地林下灌木和草本的丰富度指数均显著提高(P<0.05)。间伐后 1a 和 5a 相比，三种间伐样地除强度间伐林下草本的丰富度指数有所降低外，其他间伐样地林下灌木和草本的丰富度指数又有大幅度提高。间伐措施在一定程度上改善了林下水分和光照条件，提高了植物的丰富度，以中强度间伐后林分增幅最大，这与段劼等(2010)对抚育间伐 1a 和 5a 的侧柏人工林林下植物调查得出的结果一致[14]。



不同的小写字母表示差异是否显著(P<0.05)

图 1 不同间伐强度林下植物丰富度指数的变化

Fig.1 Plant species abundance index change of undergrowth with different thinning intensities

2.3 不同间伐强度林下植物多样性和均匀度指数的变化

间伐后马尾松人工林下植物种类、数量发生变化的同时，植物多样性和均匀度也相应发生变化。由表 3 可以看出，间伐后 1a，与对照相比，中强度间伐林下灌木、草本的多样性 Simpson、Shannon-Wiener 指数和均匀度 JSW 指数显著提高(P<0.05)，弱度间伐林下灌木的多样性 Simpson 和 Shannon-Wiener 指数显著降低，草本的多样性和均匀度指数却显著提高(P<0.05)。

间伐 5a 后，与对照相比，三种间伐林下灌木、草本 Simpson 和 Shannon-Wiener 指数均显著提高(P<0.05)，而均匀度指数变化不显著(P>0.05)。相同间伐强度林下植物的多样性 Simpson 和 Shannon-Wiener 指数表现为间伐后 5a 大于 1a，而均匀度 JSW 指数变化不大。可以看出，Shannon-Wiener 指数在间伐 1a 和 5a 后对间伐强度响应更为敏感(见表 3)。

2.4 不同间伐强度林下植物生态优势度指数的变化

生态优势度是综合群落中各个种群的重要性，反映各种群优势状况的指标，是群落结构的一个度量值，也是群落演替的特征值之一[24]。由图 2 可知，间伐后 1a，与对照相比，除弱度间伐林下灌木的生态优势度指数有所增加外，中强度间伐林下灌木和草本的生态优势度指数均明显降低(P<0.05)。间伐后 5a，与对照相比，弱度、中度和强度间伐林下灌木和草本的生态优势度指数均明显降低(P<0.05)。间伐 1a 与间伐后 5a 相比，除中强度间伐林下灌木

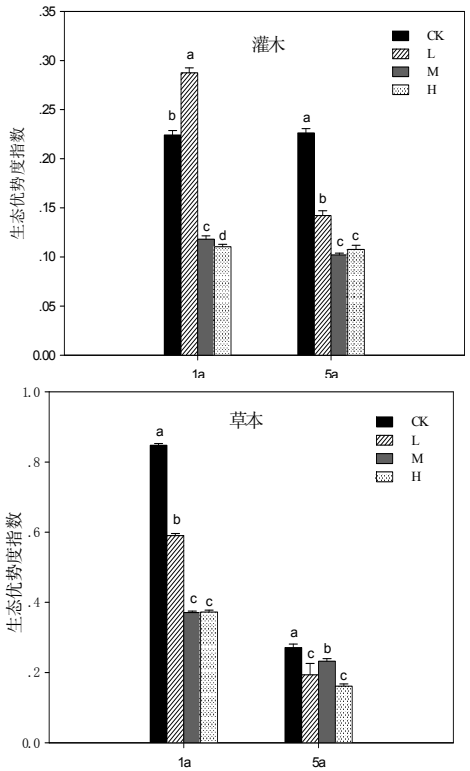
表 3 不同间伐强度林下植物多样性和均匀度指数的变化

Table 3 Species diversity and evenness indexes change of undergrowth with different thinning intensities

时间	植物类型	CK			L			M			H		
		S	SW	JSW	S	SW	JSW	S	SW	JSW	S	SW	JSW
间伐第 1 年后	灌木	0.78c	1.80c	0.82c	0.71d	1.26d	0.70d	0.88b	2.27b	0.88b	0.89a	2.38a	0.93a
	草本	0.38c	0.56d	0.81c	0.41b	0.60c	0.86a	0.75a	1.62b	0.83b	0.74a	1.68a	0.81c
间伐第 5 年后	灌木	0.77c	1.64c	0.84a	0.86b	2.36b	0.80b	0.90a	2.54a	0.85a	0.89a	2.56a	0.84a
	草本	0.73c	1.50b	0.83ab	0.81bc	1.85a	0.84ab	0.83bc	1.80a	0.78b	0.89a	1.88a	0.97a

SP：Simpson 指数 Simpson index；SW：Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index；JSW：物种均匀度指数 Evenness index.

不同的小写字母表示差异是否显著(P<0.05)



不同的小写字母表示差异是否显著（$P<0.05$）

图 2 不同间伐强度林下植物生态优势度指数的变化

Fig.2 Plant ecological dominance index change of undergrowth with different thinning intensities

的生态优势度指数略有降低外，弱度间伐林下灌木和三种间伐林下草本的生态优势度指数又有明显降低。结果说明，间伐后植物种类、数量、丰富度和多样性指数增加越大，生态优势度指数就越小，加快了群落的演替，促使森林生态系统更加稳定。

3 结论与讨论

3.1 结论

（1）与未间伐样地相比，间伐 1 年后，马尾松人工林林下植物种类和总密度在中度间伐下显著提高了 0.82 倍和 3.28 倍，在强度间伐分别显著提高了 1.18 倍和 2.17 倍；中度和强度间伐显著提高了林下植物的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数，同时显著降低了林下植物的生态优势度。与未间伐样地相比，间伐第 5 年，马尾松人工林林下植物种类和总密度在弱度间伐显著提高了 1.15 倍和 1.40 倍，在中度间伐分别显著提高了 1.31 倍和 3.44 倍，在强度间伐显著提高了 1.15 倍和 2.14 倍；三种间伐强度显著提高了林下植物丰富度指数、多样性指数和均匀度指数，同时显著降低了林下植物的生态优势度。

（2）与间伐 1 年后相比，间伐第 5 年，马尾松人工林林下植物的种类和总密度在弱度间伐分别显著提高了 2.50 倍和 17.56 倍，在中度间伐分别显著提高了 0.50 倍和 6.31 倍，在强度间伐分别显著提高了 0.17 倍和 5.97 倍。间伐 5 年后，三种间伐强度的林下植物丰富度指数和多样性指数再次得以提高，而均匀度指数变化不大，同时林下植物的生态优势度也再次降低。

3.2 讨论

马尾松人工林作为亚热带地区典型的林分，且大多林分存在着结构单一的问题，要想实现森林多目标、多效益经营，确定适度的间伐强度是当下马尾松人工林经营迫切需要解决的重要环节。在本研究中，间伐对马尾松人工林林下植物多样性的影响是显著的，对于南京溧水林场小茅山阳坡 25 年生马尾松人工林，中强度间伐最有利于林下植物多样性的提高，经营密度宜为 900~1 410 株·hm^{-2}。但间伐对林下植物多样性的影响是多种因素综合作用的结果，要想清楚了解林下植物种类和数量变化的动态过程，需要更多的大样地研究数据，采用统一的评价方法。同时还有待对设立的固定样地进行长期的定位观测研究，全面掌握间伐后林下植物多样性的变化机理，以便对密度过高的林分实施适度的间伐，实现对马尾松人工林的可持续、科学经营。

参考文献：

[1] ODUM E P. Basic Ecology[M]. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983.

[2] MCNAUGHTON S J. Diversity and stability[J]. Nature, 1988, 333: 204-205.

[3] GLOWKA L, BURHENNE G F, SYNGE H, et al. A Guide to the Convention on Biological Diversity[M]. Cambride, UK: IUCN-The World Conservation Union. The Burlington Press, 1994.

[4] 黄宝龙. 江苏森林[M]. 江苏科学技术出版社，1998，54-56.
HUANG Baolong. JIANGSU FOREST[M]. Jiangsu Science and Technology Press, 1998, 54-56.

[5] 邓伦秀，李茂. 马尾松人工林研究现状及展望[J]. 安徽农业科学，2009，37(7)：2968-2971.
DENG Lunxiu, LI Mao. The Research Present Situation and Prospects on the Pinus massoniana Lamb Plantation[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(7): 2968-2971.

[6] 中国国家林业局森林资源管理司. 中国森林资源第七次清查结果及其分析[J]. 林业经济，2010，2：66-72.
Department of Forest Resources Management, SFA. China s Forest Resources Status and Dynamic Change—Based on Analysis of the Seventh National Forest Resource Inventory Results[J]. Forestry Economics, 2010, 2: 66-72.

[7] 林有乐. 间伐强度对马尾松人工林生长和土壤肥力的影响[J]. 防护林科技，2003，3：16-17，35.
LIN Youle. Effects of thinning degree on the growth and soil fertility of Pinus Massoniana plantation[J]. Protection Forest Science and Technology, 2003, 3: 16-17, 35.

[8] 姚克平. 马尾松人工林不同抚育间伐强度的生长效应研究[J]. 湖北林业科技，2006，3：10-12.
YAO Keping. Study on Intensity Growth Effect of Tending and Thinning for Plantation of Pinus Massoniana[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2006, 3:10-12.

[9] 李志辉. 湘南地区马尾松人工林间伐效果的分析研究[J]. 中南林业科技大学学报，2010，30(4)：2-6.
LI Zhihui. Thinning effects of Pinus massoniana plantations in the southern region of Hunan province[J]. Journal of Central South

University of Forestry & Technology, 2010, 30(4): 2-6.
[10] HISATOMO T, TAKENARI I. Responses of community structure, diversity, and abundance of understory plants and insect assemblages to thinning in plantations[J]. Forest Ecology and Management, 2010, 259(3): 607-613.
[11] HIROAKI T, ISHII M. Line thinning promotes stand growth and understory diversity in Japanese cedar (Cryptomeria japonica D. Don) plantations. J For Res, 2008, 13: 73-78.
[12] ADRIAN A, ANDREW R N, KLAUS J P. Understory abundance, species diversity and functional attribute response to thinning in coniferous stands[J].Forest Ecology and Management,2010,260:1104-1113.
[13] LINDGREN P M F, RANSOME D B, SULLIVAN D S, et al. Plant community attributes 12 to 14 years following precommercial thinning in a young lodgepole pine forest. Can J For Res, 2006, 36: 48-61.
[14] 段劼，马履一，贾忠奎，等. 抚育强度对侧柏人土林林下植物生长的影响[J]. 西北林学院学报，2010，25(5)：128-135.
DUAN Jie, MA Luyi, JIA Zhongkui, et al. Effects of Thinning Intensity on the Undergrowth Vegetations under Platycladus orientalis Young Plantation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(5): 128-135.
[15] 马履一，李春义，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.
MA Lvyi, LI Chunyi, 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.
[16] 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 Lvyi, 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.
[17] 邓送求，闫家锋，关庆伟. 间伐强度对不同林分类型下层物种多样性的短期影响[J]. 东北林业大学学报，2010，38(3)：31-33,46.
DENG Songqiu, YAN Jiafeng, GUAN Qingwei. Short-term Effects of Thinning Intensity on Species Diversity of Undergrowth Layer in Different Stands[J]. Journal of northeast forestry university, 2010, 38(3): 31-33, 46.
[18] BUONGIOMO J, DAHIR S. Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stand[J]. Forest Science, 1994, 40(1): 83-103.
[19] 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 Ecological and Management, 1999,118: 161-171.
[20] 马克平，黄建辉，于顺利，等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究Ⅱ.丰富度、均匀度和物种多样性研究[J]. 生态学报，1995，15(3)：268-277.
MA Keping, HUANG Jianhui, YU Shunli. Plant community diversity in ongling Mountain,Beijing,China: Ⅱ. Species richniess, evenness and species diversities. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(3): 268-277.
[21] MARGALEF R. Information Theory in Ecology[J]. General System, 1957, 3: 37-71.
[22] SIMPSON E H. Measurement of Diversity [J]. Nature, 1949, 163: 688.
[23] 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 Koreansis plantations[J]. Acta Ecologican Sinica, 2006, 26(11): 3757-3764.
[24] 钱宏. 长白山高山冻原植物群落的生态优势度[J]. 生态学报，1990，9(2)：24-27.
QIAN Hong. Ecological Dominance of Alpine Tundra Phyto-communities on the Changbai Mountains[J]. Journal of Ecology, 1990, 9(2): 24-27.
[25] 康冰，刘世荣，蔡道雄. 马尾松人工林林分密度对林下植被及土壤性质的影响[J]. 应用生态学报，2009，20(10)：2323-2331.
KANG Bing, LIU Shirong, CAI Daoxiong, et al. Effects of Pinus massoniana plantation stand density on understory vegetation and soil properties[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2009,20(10):2323-2331.

Short-term and Long-term effects of thinning on the undergrowth diversity in the *Pinus massoniana* plantation

LI Ruixia, MA Hongjing, MIN Jiangang, HAO Junpeng, GUAN Qingwei*
College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

Abstract: To investigate dynamic changes of plant diversity of *Pinus massoniana* Lamb plantation in different thinning intensities, and to provide a theoretical basis for determining reasonable thinning intensity. Hereby to take the middle-age *Pinus massoniana* Lamb plantation in Nanjing Lishui Forest Farm as the research object, and survey and analysis were conducted in terms of the diversity of each thinning stand undergoing thinning 1a and 5a in 2007 and 2011. The results showed that: after thinning 1a and 5a, compared with the control, the species, quantity, richness of Margalef index, diversity of Simpson, Shannon-Weiner index and evenness of JSW index of moderate-intensity thinning understory were significantly increased (P<0.05), and the ecological dominance of undergrowth was significantly decreased(P<0.05). Each index of light thinning understory was significantly decreased after Thinning 1a (P<0.05), while significantly increased after Thinning 5a (P<0.05). All indexes in medium and heavy thinning intensity had the largest amplification, wherein the Shannon-Wiener index was more sensitive to thinning measures. After thinning 5a, the species, quantity and diversity index of medium thinning understory were relatively improved in comparison to thinning 1a, the understory species in three thinning intensities were respectively increased 15, 17 and 15 species compared with the control, and the total density was increased 1.40, 3.44 and 2.14 times. So judging from the short- and long-term effects, medium and heavy thinning facilitate the increase of plant diversity.

Key words: *Pinus massoniana* plantation; thinning intensity; short-term effects; Long-term effects; Species diversity; Ecological dominance