

抚育间伐对侧柏人工林及林下植被生长的影响

段 劼, 马履一, 贾黎明, 贾忠奎, 公宁宁, 车文瑞

(北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京市清华东路 35 号 100083)

摘要: 抚育间伐是森林经营管理措施之一, 是对森林生态系统的人为干扰。研究不同抚育方式、强度和频率对森林生态系统的干扰对重建、恢复森林生态系统固有能力及实现森林可持续经营管理有重要意义。以 31 块北京地区侧柏人工林样地对不同抚育强度后侧柏林生长、林下植被生长及林下植物多样性变化进行了研究。研究结果表明: 侧柏林分经不同强度抚育后单木胸径、树高、冠幅和林分蓄积生长均增加, 不同抚育强度下单木胸径、树高、冠幅生长量和林分蓄积生长量与立地条件有关, 好的立地条件宜采取强度抚育, 较差立地条件宜采取中弱度抚育; 侧柏林分经弱度、中度抚育后林下植物种类增加, 经强度抚育后减少; 不同强度抚育后林下植物 Simpson 多样性指数和 Shannon-Wiener 多样性指数随时间增大, 后者对抚育强度更为敏感; 林下灌草生物量随抚育强度增大而增加, 并随时间增加; 侧柏人工林生态系统种间竞争程度与立地条件有关, 好的立地条件能够经受较强的人为干扰, 差的立地条件受弱度干扰就会打破种间生长平衡。

关键词: 抚育间伐; 抚育强度; 侧柏人工林; 立地条件; 生态系统稳定性; 生物多样性; 北京山区

Effect of thinning on *Platycladus orientalis* plantation and the diversity of undergrowth vegetation

DUAN Jie, MA Lüyi, JIA Liming, JIA Zhongkui, GONG Ningning, CHE Wenrui

Key Laboratory for Silviculture and Conservation of the Ministry of Education College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Thinning is one of the important methods of forest management and human disturbance to forest ecosystem. Researching on different thinning methods, intensity and frequency has an important significance for rebuilding and recovering the intrinsic function of forest ecosystem and achieving sustainable forest management. 31 *Platycladus orientalis* plantation stand plots were used for researching the arbor and under-vegetation growth variation and diversity. Results showed that different thinning intensity increasing the diameter, height, crown and stand volume growth. The amount of the growth indices after different thinning intensity related to the site type. Heavy thinning intensity could be fit for the high quantity site and the low or middle intensity fit for the low and middle quantity site. The amount of undergrowth vegetation species has an increasing trend after thinning with low and medium intensity but decreasing after the heavy intensity. The Simpson index and the Shannon-Wiener index became larger after thinning, and the value increasing throw time. The Shannon-Wiener index was more sensitive with the thinning intensity. Biomass of the under-vegetation was increasing with the thinning intensity and the time. Interspecific competition of *Platycladus orientalis* plantation ecosystem has a close relationship with site type. The better site could endure the heavily human disturbance and the growth balance would be easily broken by the disturbance in a worse site.

Key Words: thinning; thinning intensity; *Platycladus orientalis* plantation; site condition; ecosystem stability; biodiversity; Beijing mountain area

基金项目: 国家林业局“948”资助项目(2005-4-02); 国家林业局 2003 年重点资助项目(2003-018-L18); 北京林业大学科技创新计划资助项目(BLJD200904); 北京市教育委员会科学研究与科研基地建设资助项目; 北京市教育委员会学科与研究生教育资助项目

收稿日期: 2009-10-12; 修订日期: 2009-12-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: maluyi@bjfu.edu.cn

干扰是自然界中无时无刻不在的一种现象,影响着森林生态系统的演变过程^[1-3]。抚育间伐是在人类有目的的行为指导下,对天然林、人工林等进行的人为干扰活动^[4]。从森林经营理论的发展历史来看,抚育间伐的目标从单纯地以收获木材为主发展到以实现森林的多效益、多目标经营为主。最早的森林经营理论是1826年德国林学家J. C. Hundeshagen创立的“法正林”学说^[5],20世纪50年代以后,随着全球生态环境恶化,林学家们提出森林不仅具有经济效益,还具有生态和社会效益,这期间代表性的理论有“近自然林业理论”、“新林业理论”、“森林生态系统经营理论”和“森林可持续经营理论”。这些理论的共同点是强调森林经营管理应该将森林生态系统作为整体进行考虑,并以长期维持系统的稳定性为前提。

研究不同程度人为干扰后森林生态系统动态变化过程可以为维持、恢复森林生态系统的固有功能,实现高效、稳定、可持续的森林经营管理提供参考。国外对抚育间伐与森林生态系统的影响研究较多,主要包括抚育对林分、林下植被和土壤等的影响等,如Emmingham研究了花旗松(*Douglas fir*)林分进行弱度和树冠采伐后林分蓄积的变化;Donald研究了花旗松林下植被对不同抚育措施的响应;Jessica研究了不同抚育措施对法国东南部栎类(*Oak*)混交林林下植被与土壤的影响;Edith研究了不同抚育措施对林木材性的影响^[6-9]。国内对抚育间伐的研究是从20世纪60年代开始的,如杜纪山研究了抚育间伐对林分生长的影响^[10];熊有强、任立忠、雷向东等对抚育间伐后杉木林(*Cunninghamia lanceolata*)、山杨次生林(*Populus davidiana*)、落叶松(*Larix olgensis*)云杉(*Picea jazoensis*)冷杉(*Abies nephrolepis*)混交林的林下植被发育及多样性进行了研究^[11-13]。从可查文献看来,国内多数研究将重点放在了抚育间伐对上层林木生长或者对林下植被的影响,对抚育后乔木与灌木草本之间的生长变化关系研究很少。本文以北京地区侧柏(*Platycladus orientalis*)人工林为研究对象,基于固定样地连续复测数据分析了不同立地条件不同抚育强度对侧柏人工林生长、林下植被生长及植物多样性等的影响,并探讨了抚育后侧柏林与林下植被生长之间的关系。

本研究是在前人研究基础上进行的,所用样地设置于2004年,前人在2005年和2006年进行了根系生长、种内竞争关系、林地土壤水分及理化性质、林下植物多样性短期变化等研究^[14-20]。

1 试验地概况与研究方法

1.1 试验地概况

1.1.1 昌平十三陵林场

位于北京市昌平区境内,北纬40°44',东经116°35',属燕山山系低山丘陵区。海拔68—954.2 m,以沟崖中峰最高,顶峰954.2 m。全年平均气温11.8℃,≥0℃积温为4500℃,≥10℃积温为4200℃,无霜期80—203 d。年平均降水量631 mm,6—8月份占全年降水量的76%。林地土壤发育在紫色页岩坡积母质上,厚约20 cm。林场内林分类型以人工侧柏林和油松林为主。从1958年开始,年年造林,侧柏、油松林的年龄分布在4—50 a之间,其中主要为中幼龄林,其面积约占林地总面积的90%。

1.1.2 密云穆家峪水漳村林场

位于北京市密云县东部穆家峪镇水漳村,北纬40°25',东经116°53'。海拔220—599 m。全年平均气温8.5—9.5℃,≥10℃积温为3385—4210℃,无霜期150 d。年降水量约为623 mm,6—9月份降水量占全年80%以上。土壤为砂岩、页岩风化坡积物上发育起来的山地淋溶褐土和山地褐土,由于长期遭受不同程度的侵蚀,土壤表现为粗骨性特征,土层较薄,结构发育不全,石砾含量高,保水性能差。植被分布以人工林为主,多分布于浅山丘陵和低山地带。林场内主要树种有侧柏、油松和刺槐(*Robinia pseudoacacia*),森林覆盖率达到56%。本研究所用侧柏人工林为1970年营造,研究前未经过任何抚育。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置方法

为保证调查的准确性,样地选择时尽可能使地形因子和土壤条件保持一致。于2004年在密云穆家峪水漳村和昌平龙山、汉包山设置12块固定样地,分3个立地类型:阳坡薄土、阳坡厚土和阴坡厚土;每个立地类型中林分按照株数进行了弱度(20%)、中度(35%)、强度(50%)间伐,并设对照一块对照样地(0%);2005年

至 2008 年对这 12 块固定样地进行了连续 4a 的复测,时间均为 9 月份;在进行林下植物多样性调查时均设置了临时样地,设置时确保立地类型和年龄尽可能与固定样地一致,其中 2009 年设置了 19 块(样地号为 L1—L19),临时样地面积均为 15 m × 15 m,2009 年各样地林分特征见表 1。

表 1 侧柏人工林样地特征表
Table 1 Basic characteristics of *Platycladus orientalis* plantation stand plots in 2009

林分类型 Stand type	样地号 Plot number	林龄 Age/a	密度 Density /(t·hm ⁻²)	海拔 Elevation /m	坡向 Aspect	坡度 Slope/(°)	平均胸径 Mean DBH /cm	平均树高 Mean height /m	处 理 Treatment
阳坡薄土	1, L1, L2	38—40	2900—3333	124—130	S	19—23	4.8—5.2	5.6—6.2	对照 Control
Sunny slope with	2, L3, L4	38—40	1950—2044	115—125	S	22—23	6.5—6.7	7.3—8.0	弱度抚育 Light tending
thin soil	3, L5, L6	38—40	1600—1700	120—125	S, SE	20—25	6.3—6.8	5.3—7.1	中度抚育 Medium tending
	4, L7, L8	38—40	1511—1590	125—132	SE	16—23	6.3—6.5	7.0—8.3	强度抚育 Heavy tending
阳坡厚土	5, L9	24	5400	130—140	S, SE	19—22	7.1—7.5	6.0—7.3	对照 Control
Sunny slope with	6, L10	24	4000, 4100	120—140	S	20—24	6.2—7.3	5.3—6.9	弱度抚育 light tending
thick soil	7, L11	24—26	3700, 3811	140—141	S, SE	15—23	7.0—7.6	6.4—7.8	中度抚育 Medium tending
	8, L12, L13	24—26	2700—3100	127—140	S	20—25	7.2—7.8	5.5—7.0	强度抚育 Heavy tending
阴坡厚土	9, L14	26	3900—4000	133—155	NW	20—26	7.4—8.0	6.0—6.7	对照 Control
Shady slope with	10, L15	26	3575—3700	125—158	W	16—18	7.0—8.7	6.2—7.5	弱度抚育 Light tending
thick soil	11, L16, L17	26—30	2850—3200	158—165	W	21—26	7.8—9.0	6.6—8.3	中度抚育 Medium tending
	12, L18, L19	26—30	1950—2100	140—155	NW	22—25	8.4—9.1	6.7—7.9	强度抚育 Heavy tending

1.2.2 调查和计算方法

为了保证研究的科学性和系统性,每年均使用相同方法对林分进行每木检尺、林下植被多样性调查和生物量测定。

使用常规方法测量单木树高、胸径、冠幅等指标,同时记录林分环境信息。

植物多样性调查:在样地 4 角设置 4 个灌木样方(2 m × 2 m)、8 个草本样方(1 m × 1 m),详细记录每一样方内灌木的种数、个体数、树高和冠幅,记录草本植物的种数,个体数(丛数)、高度、盖度,将更新的乔木幼苗(高 < 1 m)统计在灌木中。

生物量测定:在每个样地内设置 3 个小样方(1 m × 1 m),记录每个样方内的植物种类,灌木分为叶、茎、根,草本分为地上和地下部分,采用全挖法实测生物量,同类的相同器官取混合样品置于 80 ℃ 下烘干至恒重后称干重。

生物多样性指标选用了重要值(P_i)、Simpson 多样性指数(D)和 Shannon-Wiener 多样性指数(H')3 个指标,计算方法见文献^[21-22]。

2 结果与分析

2.1 不同抚育强度对侧柏人工林生长的影响

2.1.1 抚育强度对林分生长的影响

抚育间伐对林分生长的研究主要集中在不同抚育强度对胸径、树高、蓄积与林分生产力的影响;不同的抚育措施会对林分生产力造成不同影响,这是由于各研究中树种、林分条件、间伐体制等方面存在差异,导致所得结论也不相同^[23],例如有研究表明间伐后林分收获量会减少,但也有相反结论^[24-25]。

本研究中抚育后各立地条件侧柏人工林生长情况见图 1—图 4。从下列图可以看出抚育后各立地侧柏单木胸径、树高和冠幅均较对照明显增加。阳坡厚土侧柏经强度抚育后树高较对照减小,通过分析调查数据发现其原因是抚育时将较高的树木伐掉所致。林分蓄积量变化随抚育强度呈不同结果,阳坡薄土侧柏经 3 种强度间伐后林分总蓄积低于对照;阳坡厚土、阴坡厚土侧柏经弱度、中度抚育后总蓄积高于对照,经强度抚育后比对照低,原因可能是强度抚育后虽然单株生物量增加,但由于间伐强度大(50%),林分密度迅速减小,单位

面积蓄积量反而降低。

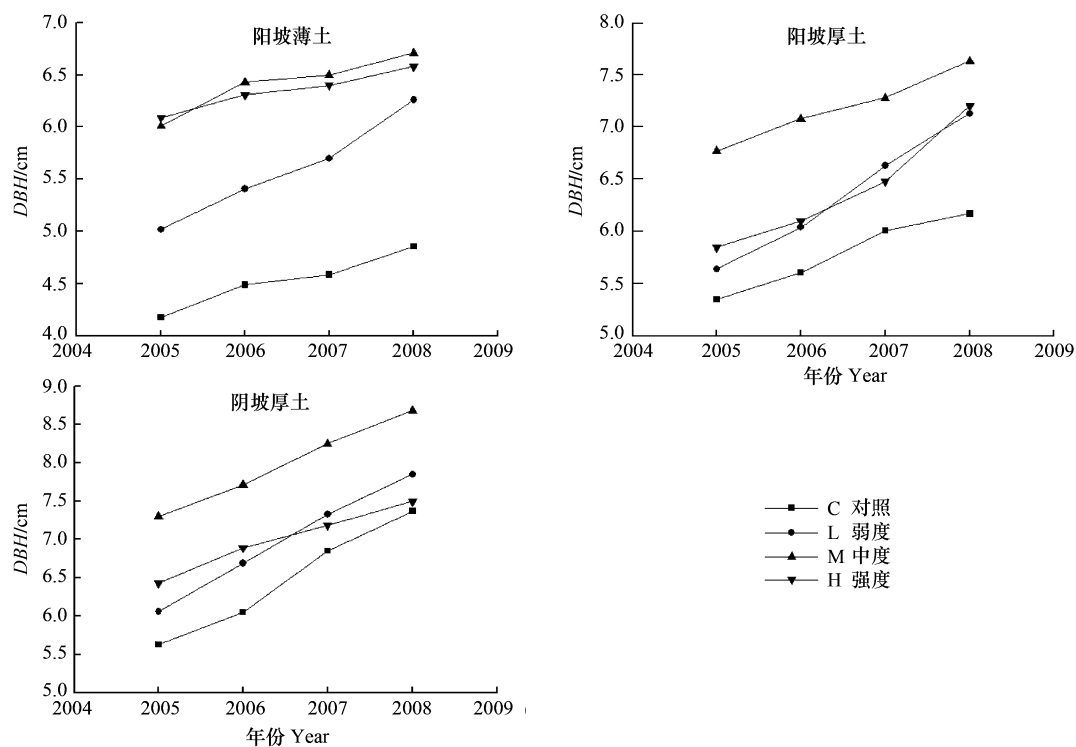


图1 不同抚育强度侧柏单木胸径生长过程图

Fig.1 Diagram of DBH growth process of *Platycladus orientalis* plantation under different tending treatments

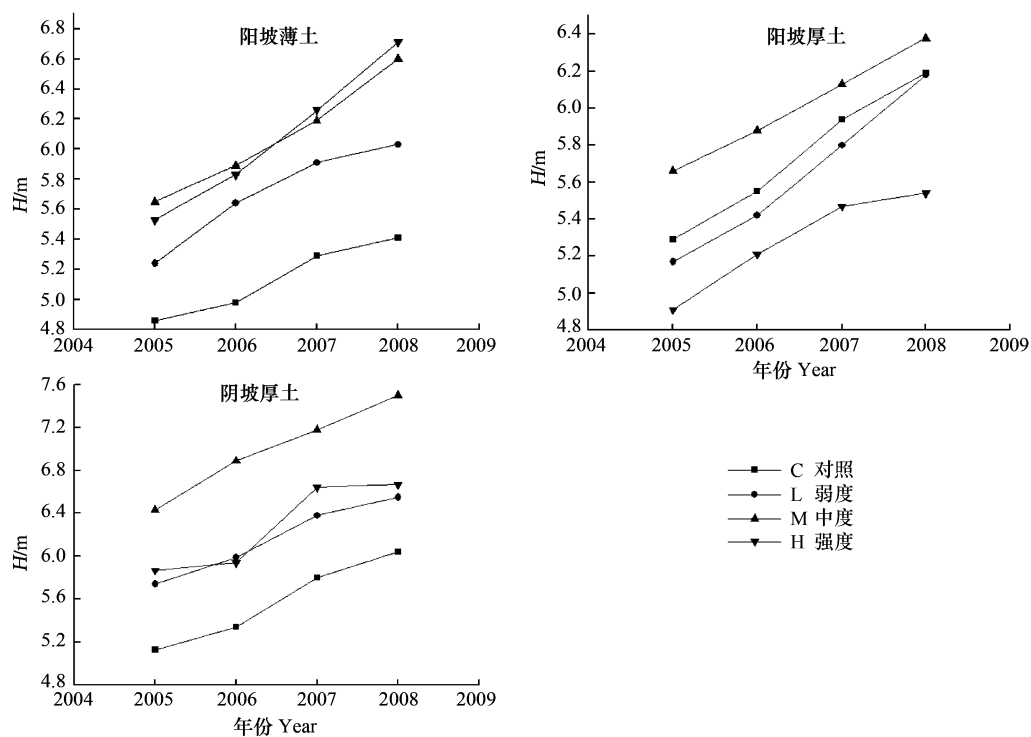


图2 不同抚育强度侧柏单木树高生长过程图

Fig.2 Diagram of H growth process of *Platycladus orientalis* plantation under different tending treatments

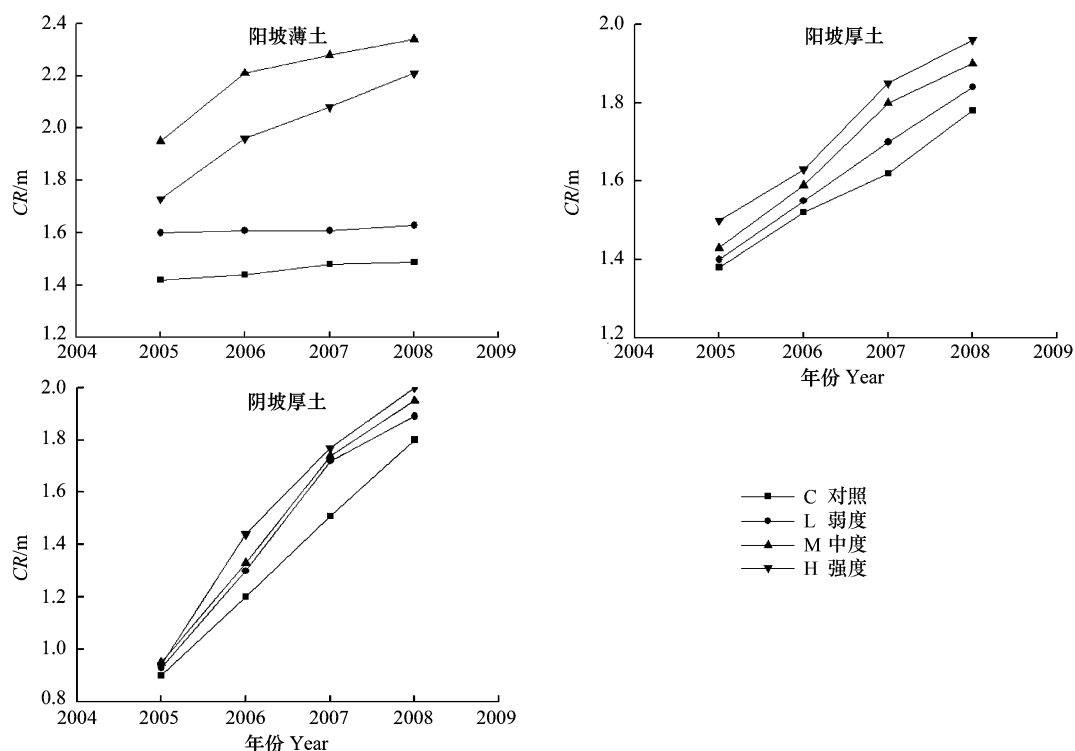


图3 不同抚育强度侧柏单木冠幅生长过程图

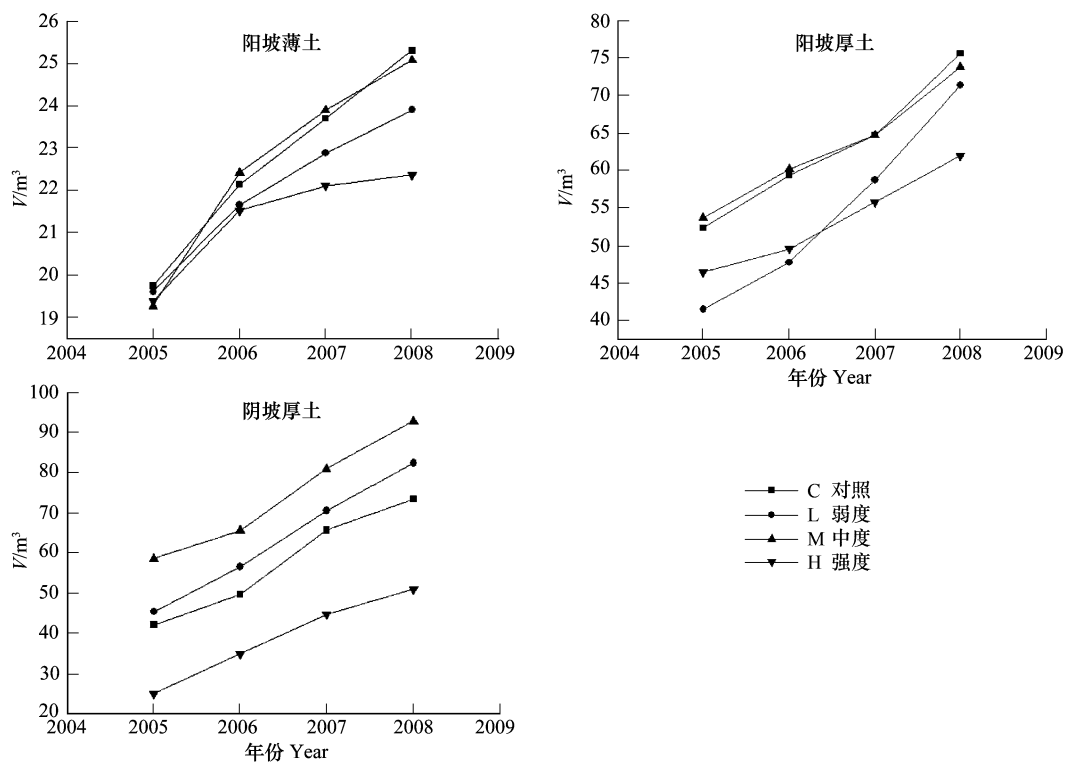
Fig.3 Diagram of CW growth process of *Platycladus orientalis* plantation under different tending treatments

图4 不同抚育强度侧柏林分蓄积量变化图

Fig.4 Diagram of volume variation of *Platycladus orientalis* plantation stand under different tending treatments

2.1.2 抚育强度对平均年生长量的影响

生长量是确定森林成熟年龄和采伐量的基本依据,生长量的大小及生长速率与树种特性、年龄结构、立地条件以及气候等自然条件有关,而且与经营管理水平有密切关系;生长量是描述森林资源消长规律的主要因子,又是评价林地生产力和经营措施效果的指标^[26]。生长量更能够反映抚育间伐后树木生长的变化规律。

图5为不同抚育强度后侧柏主要生长指标2005年到2008年间平均生长量变化图。由图5可以看出阴坡厚土侧柏经强度抚育后胸径生长量最高,其他两立地经弱度抚育后最高;阳坡薄土侧柏经弱度抚育后树高生长量最高,其他两立地均以中度抚育最高;各立地条件下侧柏经强度抚育后冠幅生长量最高;阳坡薄土侧柏经弱度抚育后林分蓄积平均增长量最高,其他两立地林分经弱度抚育后最高。综合分析可知,阳坡薄土、阳坡厚土和阴坡厚土侧柏林分别进行弱度、中度和强度抚育能够促进林分生长。因此立地条件应该作为确定抚育强度的一项参考内容。就本研究而言,立地条件由好到差依次为:阴坡厚土>阳坡厚土>阳坡薄土^[27],应采取的抚育强度从强到弱与该次序一致,即立地条件好的林分可以采取强度抚育,稍差立地的林分宜采取中弱度抚育。

综合以上结果可以判定初始密度为3333株/hm²的阳坡薄土、4500株/hm²的阳坡厚土和4000株/hm²的阴坡厚土侧柏人工幼龄林进行第一次抚育间伐的合理保留密度分别为1600株/hm²、4000株/hm²和2000株/hm²。

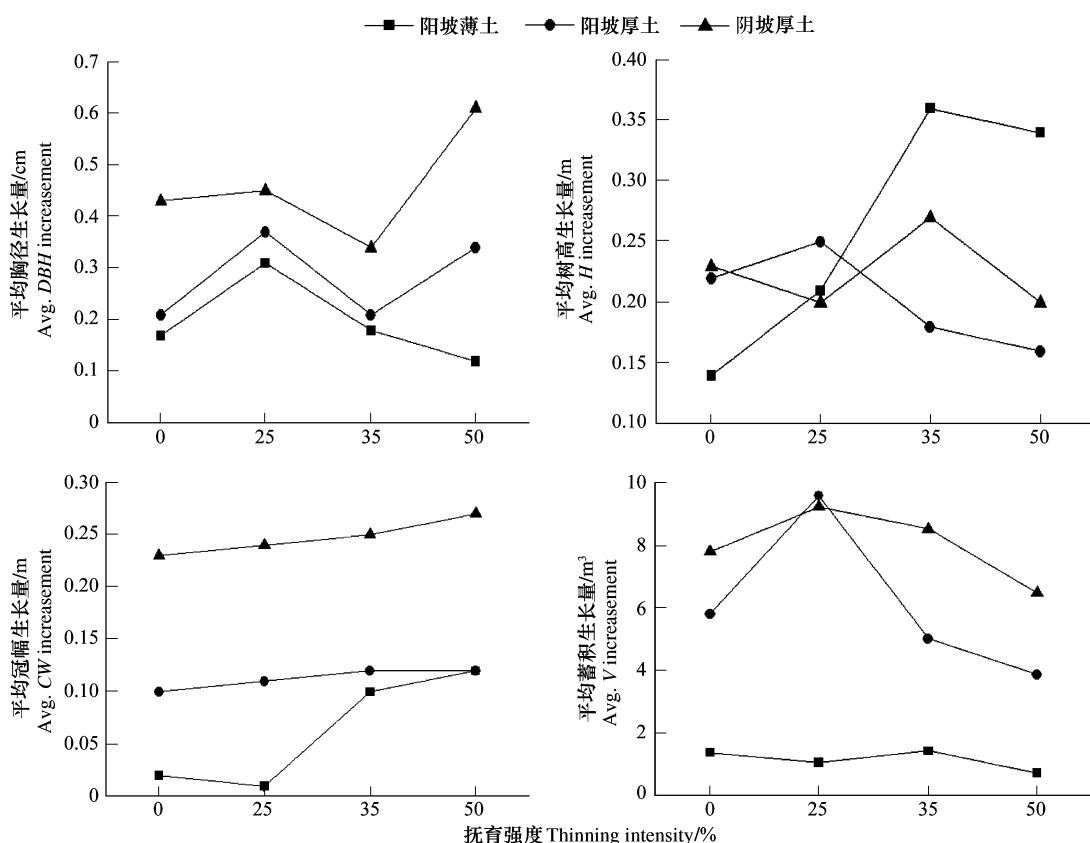


图5 不同抚育强度侧柏林分主要生长指标2005—2008年平均生长量变化图

Fig. 5 Diagram of main growth indices variation of *Platycladus orientalis* plantation under different tending treatments from 2005 to 2008

2.2 不同抚育强度对林下植被生长的影响

2.2.1 不同抚育强度对林下植物种类的影响

不同强度抚育间伐后侧柏人工林林下植物种数变化见表2。由表2可知各立地条件林下植物种数随抚育强度的加强而增加,随时间有减少趋势。根据上文,阳坡薄土林分立地条件最差,但是冠幅最大,这两方面

原因抑制了林下植被的生长;阳坡厚土林分密度在抚育前后均较其他两立地高,林下植物种类随时间减少;阴坡厚土立地条件最好,林下植物生长旺盛。

表 2 不同抚育强度侧柏林下植物种数变化

Table 2 Number of species in *Platycladus orientalis* plantations with different thinning intensities

立地类型 Site type	抚育年份 Year	植物类型 Plant type	对照 Control	弱度抚育 Light tending	中度抚育 Medium tending	强度抚育 Heavy tending
阳坡薄土 Sunny slope with thin soil	2005	灌木	9	10	12	11
		草本	10	11	17	19
	2006	灌木	7	7	9	11
		草本	7	13	11	20
	2009	灌木	6	8	9	12
		草本	6	11	10	16
阳坡厚土 Sunny slope with thick soil	2005	灌木	9	9	10	10
		草本	0	6	6	8
	2006	灌木	8	13	9	13
		草本	0	7	9	10
	2009	灌木	8	8	8	9
		草本	5	6	6	7
阴坡厚土 Shady slope with thick soil	2005	灌木	6	9	11	13
		草本	9	7	12	12
	2006	灌木	6	6	8	11
		草本	6	10	8	14
	2009	灌木	8	10	12	14
		草本	10	13	13	12

调查期间出现的总的植物种类也发生了变化,灌木共出现 22 种,草本共出现 39 种,对照与弱度、中度抚育后林下植物种数均增加,强度抚育后林下植物减少了 4 种,可见本研究支持“中度干扰假说”,即适当干扰能够提高群落多样性^[28]。“中度干扰假说”是指森林生态系统经强度干扰后林下环境剧烈变化,使生境条件向极端化转变,降低了异质性,威胁了原来林下阴生植物的生存,从而林下物种数量减少。

此外,调查期间发现侧柏林下灌木层优势种以马鞭草科-荆条、柏科-侧柏幼苗为主,草本层以莎草科——披针叶苔草、卷柏科——中华卷柏和禾本科——中华隐子草等物种为主,这些植物多为旱生、旱中生植物,反映出该地区土壤较贫瘠的特性^[29]。

2.2.2 不同抚育强度对林下植物多样性指数的影响

植物多样性指数计算结果见表 3。由表 3 可知:(1)抚育后各林分林下灌木、草本多样性指数都比对照林分高,阳坡薄土和阳坡厚土林分经中度抚育后植物多样性指数最高,阴坡厚土林分经强度抚育后多样性指数最高;(2)植物多样性指数随时间增加,这是由于抚育间伐改善了林内光照及温湿条件,增大了灌木、草本的生长空间;(3)两指数中 Shannon-Wiener 指数变幅稍大,对抚育措施更敏感,本研究结果与前人研究类似^[30-32]。值得注意的是前 2 个结果与抚育措施对侧柏单木生长的影响规律近似,表明抚育措施不仅增加了上层乔木的生长,同时促进了林下植被的多样性与生长更新。

2.2.3 不同抚育强度对林下植被生物量的影响

林下植被生物量是衡量林下植被生长状况的指标之一,是最能反映一个种在群落中功能和作用大小的一个指标,因为一个种的资源利用能力、竞争能力、生态位占有等最终表现在它对群落有机质的占有上,同时生物量能在一定程度上反映物种丰富度的大小^[33-34]。表 4 为不同抚育强度侧柏林下灌草生物量表,可以看出:(1)各林分灌木、草本生物量均随抚育强度及时间增加;(2)各林分经中强度抚育后灌草生物量均比对照及弱度抚育后林分增加;(3)抚育后 1、2、5a 林下灌草总生物量均为:阴坡厚土 > 阳坡厚土 > 阳坡薄土。这一结果与上文不同抚育强度对侧柏林生长及林下植物多样性的影响一致,同时与前人在研究杉木林、落叶松云杉混

交林的结果一致^[13 35]。

表 3 不同抚育强度侧柏人工林林下植物多样性指数

Table 3 Species diversity indices of *Platycladus orientalis* plantations with different thinning intensities

立地类型 Site type	抚育年份 Year	植被类型 Vegetation type	处理 Treatment							
			对 照 Control		弱度抚育 Light tending		中度抚育 Medium tending		强度抚育 Heavy tending	
			D	H'	D	H'	D	H'	D	H'
阳坡薄土 Sunny slope with thin soil	2005	灌木	0.69	1.42	0.66	1.46	0.73	1.47	0.77	1.54
		草本	0.52	1.13	0.72	1.52	0.80	1.89	0.83	2.06
	2006	灌木	0.73	1.50	0.74	1.54	0.73	1.60	0.68	1.53
		草本	0.63	1.19	0.81	1.81	0.78	1.80	0.78	1.83
	2009	灌木	0.70	1.66	0.78	1.89	0.77	1.90	0.74	2.60
		草本	0.68	1.65	0.76	1.98	0.79	2.72	0.74	2.59
	2005	灌木	0.4	0.87	0.57	1.21	0.57	1.22	0.69	1.30
		草本	0	0	0.49	0.89	0.47	0.98	0.62	1.24
阳坡厚土 Sunny slope with thick soil	2006	灌木	0.65	1.22	0.68	1.43	0.70	1.51	0.70	1.56
		草本	0	0	0.66	1.18	0.68	1.29	0.75	1.55
	2009	灌木	0.75	2.33	0.76	2.38	0.71	2.13	0.74	2.37
		草本	0.73	2.09	0.75	2.41	0.79	1.99	0.78	2.04
	2005	灌木	0.55	0.97	0.51	1.07	0.63	1.09	0.72	1.25
		草本	0.51	0.80	0.55	1.07	0.60	1.18	0.63	1.23
	2006	灌木	0.63	1.21	0.66	1.16	0.67	1.16	0.63	1.34
		草本	0.65	1.13	0.65	1.26	0.61	1.18	0.69	1.53
阴坡厚土 Shady slope with thick soil	2009	灌木	0.63	1.44	0.65	2.15	0.65	1.83	0.71	2.54
		草本	0.61	1.43	0.62	2.07	0.62	1.97	0.67	2.09

D: Simpson 指数, H': Shannon-Wiener 指数

2.3 不同抚育强度侧柏林与林下植被生长的关系

图 6 为不同抚育强度侧柏林分蓄积生长量与林下植被生物量关系图。由图 6 可知,林下植被生长会对侧柏林分生长起到抑制作用,且这种作用随抚育强度增强而增加;假设林分蓄积生长量变化折线和林下植被生物量变化折线的交点是林分上下层植被的生长平衡点,可以看出立地条件差的林分经弱度抚育后出现交点,立地条件较好的林分经中强度抚育后出现交点,即生长资源贫乏的侧柏人工林生态系统经弱度干扰后生态平衡便被打破,易发生种间竞争,相反,资源丰富的侧柏人工林生态系统可以抵抗较强的干扰。另外,由图 6 可以看出由于本研究中阳坡薄土侧柏处于最差立地条件,种间竞争始终存在。

3 结论与讨论

本研究通过分析不同强度抚育间伐后侧柏人工林及林下植被生长变化情况可以得出以下结论:

(1) 北京地区侧柏人工林普遍存在长势弱、林分结构单一、生态功能低下等问题,进行抚育间伐能够有效促进现有林分生长、增加林下植物多样性,从而达到提高林分生产力、维持森林生态系统稳定性及加速森林资源培育的目的。

(2) 确定抚育强度有定性和定量两种方法,定性方法主要考虑林木分级和林木郁闭度,定量方法主要使用密度指标^[4]。本研究结果证明立地条件也应作为确定侧柏人工林抚育强度的指标,同时参照初始密度、林龄等其他指标来确定最佳抚育强度。本研究中不同立地条件下不同抚育强度对侧柏林生长的影响不同,阳坡薄土、阳坡厚土宜采用中弱度抚育、阴坡厚土侧柏林宜采用强度抚育。

(3) 侧柏人工林林下植物种数和生物量随抚育强度增强而增加,调查期内总的植物种数和植物多样性指数的变化均符合“中度干扰假说”,即弱中度抚育(干扰)后植物种数增加,强度抚育(干扰)后植物种数减少。

表 4 不同抚育强度侧柏人工林林下灌木生物量

Table 4 Biomass of shrubs and herbs of *Platycladus orientalis* plantations stand under different thinning intensity

立地类型 Site type	年份 Year	处理 Treatment	灌木 Shrub/(kg/hm ²)				草本 Herb/(kg/hm ²)			总计 Summation /(kg/hm ²)
			叶 Leaf	茎 Stem	根 Root	合计 Total	地上 Upground	地下 Underground	合计 Total	
阳坡薄土 Sunny slope with thin soil	2005	C	145.3	544.7	1361.6	2051.6	49.1	35.6	84.7	2136.3
		L	271.6	506.6	2203.0	2981.2	194.0	616.9	810.9	3792.1
		M	391.0	590.7	2985.4	3967.1	471.7	1378.7	1850.4	5817.4
		H	237.6	375.5	4178.2	4791.3	296.3	1250.0	1546.3	6337.6
	2006	C	162.9	510.4	1392.8	2066.1	75.3	59.0	134.3	2200.4
		L	319.0	532.2	2507.6	3358.8	405.0	455.0	860.0	4218.8
		M	455.6	605.7	3316.9	4378.2	611.0	1078.2	1689.2	6067.4
		H	318.2	433.8	3846.3	4598.3	1091.8	1075.1	2166.9	6765.2
	2009	C	246.6	580.1	1689.3	2516.0	311.0	179.1	490.1	3006.1
		L	408.0	651.5	1895.1	2954.6	845.5	757.2	1602.7	4557.3
		M	707.9	1139.7	2457.5	4305.1	895.3	815.5	1710.8	6015.9
		H	702.5	1772.7	2269.0	4744.2	767.4	904.0	1671.4	6415.6
阳坡厚土 Sunny slope with thick soil	2005	C	228.0	442.2	2072.9	2743.1	0.0	0.0	0.0	2748.0
		L	303.8	476.4	3179.8	3960.0	28.7	19.6	48.3	4008.3
		M	399.2	710.6	4334.4	5444.2	12.8	20.2	33.0	5477.2
		H	524.0	719.5	4357.4	5600.9	35.8	24.3	60.1	5661.0
	2006	C	217.2	427.2	2053.6	2698.0	0.0	0.0	0.0	2698.0
		L	371.5	564.3	3375.7	4311.5	37.9	30.4	68.3	4379.7
		M	462.0	835.4	4705.7	6003.1	42.1	40.2	82.3	6085.4
		H	551.9	807.2	4623.7	5982.8	86.9	80.9	167.8	6150.6
	2009	C	304.4	1333.2	2773.1	4410.7	71.6	63.0	134.6	4545.3
		L	220.5	1576.9	3155.9	4953.3	143.1	90.8	233.9	5187.2
		M	409.0	1641.9	4872.3	6923.2	110.3	200.6	310.9	7234.1
		H	313.4	1665.3	5148.6	7127.3	111.5	193.3	304.8	7432.1
阴坡厚土 Shady slope with thick soil	2005	C	258.9	655.2	2312.1	3226.2	13.6	8.1	21.7	3247.8
		L	396.7	676.5	3236.6	4309.8	134.7	299.9	434.6	4744.4
		M	472.8	767.3	5501.4	6741.5	84.3	83.8	168.1	6909.6
		H	715.1	1332.6	5144.6	7192.3	152.9	321.0	473.9	7666.2
	2006	C	261.9	631.9	2365.9	3259.7	57.3	35.9	93.2	3352.9
		L	426.2	721.1	3894.6	5041.9	154.1	175.6	329.7	5371.6
		M	582.5	912.6	5154.8	6649.9	203.5	209.5	413.0	7062.9
		H	756.8	1310.9	5166.8	7234.4	328.6	427.0	755.6	7990.0
	2009	C	224.6	857.9	3715.7	4798.2	158.4	297.9	456.3	5254.5
		L	190.9	802.9	4058.5	5052.3	133.5	333.5	467.0	5519.3
		M	504.4	1880.5	4181.8	6566.7	191.3	376.1	567.4	7134.1
		H	369.3	1906.8	5549.5	7825.6	225.8	511.3	737.1	8562.7

(4)不同强度抚育措施下侧柏人工林与林下植被的竞争程度取决于当前生态系统内部可供利用资源的多少,较强的人为干扰会导致竞争的加剧,同时资源贫乏的生态系统比资源丰富的生态系统发生种间竞争的概率高。

(5)本研究得出的上述结论仅是基于抚育后 5a 的连续调查数据得出的,只能够说明侧柏林分经不同程度干扰后的生长变化情况,可为其它树种的相关研究提供借鉴,但干扰对森林生态系统造成的影响是长期而复杂的,必须进行长期定位观测才能得到更加科学可靠的结论。

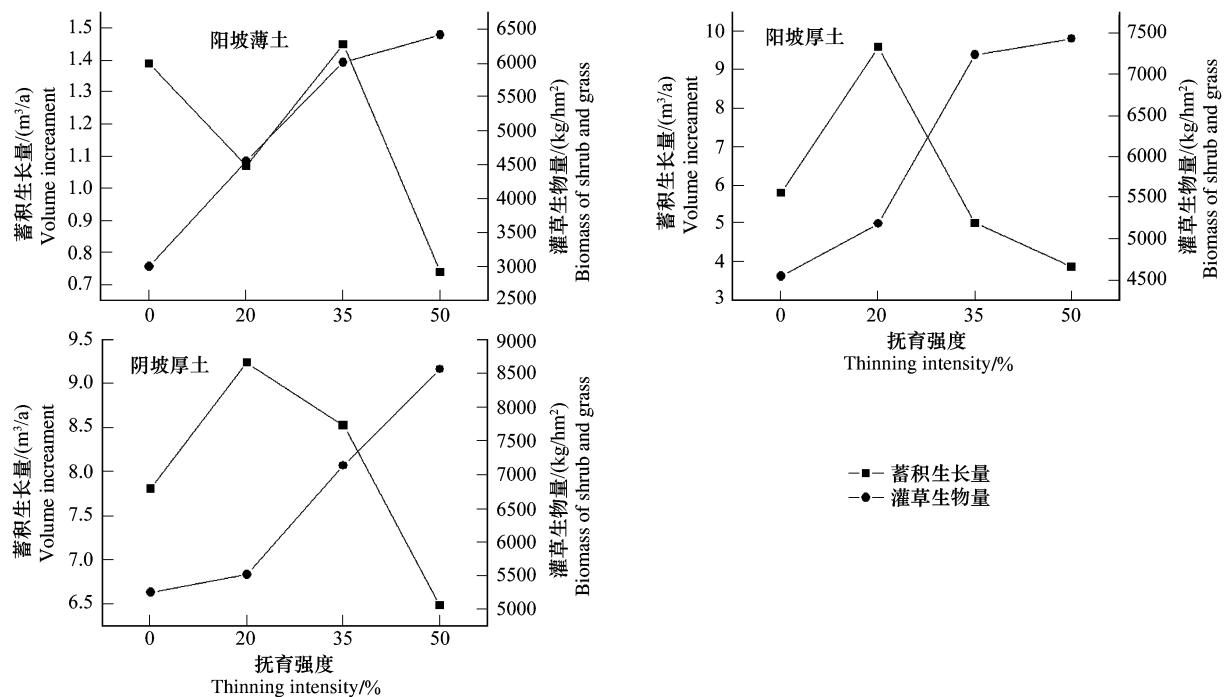


图6 不同抚育强度林分蓄积生长量与林下植被生物量关系图

Fig. 6 Diagram of relationship between volume variation and biomass of undergrowth vegetation under different tending treatments

References:

- [1] Pickett S T A and P S White. The ecology of natural disturbance and patch dynamics, Orlando: Academic Press INC, 1985: 33-37.
- [2] Farina A. Principles and Method in Landscape Ecology. London: Chapman and Hall, 1998: 12-18.
- [3] Chen L D, Fu B J. Ecological significance, characteristics and types of disturbance. Acta Ecologica Sinica, 2002, (20)4: 581-586.
- [4] Shen G F. Silviculture. Beijing: Chinese Forestry Press, 2001: 281-282.
- [5] Yu Z Z. Forest management. Beijing: Chinese Forestry Press, 1993: 31.
- [6] Wm E, Rick F, Stephen F, Max B. Comparing tree and stand volume growth response to low and crown thinning in young natural Douglas-fir stand. Western Journal of Applied Forestry, 2007, 22(2): 124-133.
- [7] Donald A, Liguori, Denise A, Kelly A, Sean C, Charles B. Plant diversity in managed forests: Understory responses to thinning and fertilization. Ecological Applications, 1999, (8): 34-36.
- [8] Jessica K A, Deborah L M, George W T. Changes in understory vegetation and soil characteristics following silvicultural activities in a southeastern mixed pine forest. Journal of the Torrey Botanical Society, 2007, 134(4): 489-504.
- [9] Edith G, Jean C H, Gerard N. The influence of site quality, silviculture and region on wood density mixed model in *Quercus petraea* Liebl. Forest Ecology and Management, 2004, 189: 111-121.
- [10] Du J S, Tang S Z. Effect of thinning in forest growth and the model. Journal of Beijing Forestry University, 1996, 18(1): 79-83.
- [11] Xiong Y Q, Shen W T, Zeng M S. A study on the Development and Biomass of Undergrowth Vegetation in Chinese Fir Plantation with Different Thinning Intensities. Scientia Silvae Sinicae, 1995, 8(4): 408-412.
- [12] Ren L Z, Luo J C, Li X B. The effects of intermediate cutting on plant species diversity in *Populus davidiana* secondary forest. Journal of Beijing Forestry University, 2000, 22(4): 14-17.
- [13] Lei X D, Lu Y C, Zhang H R, Zhang Z L, Chen X G. Effects of Thinning on Mixed Stands of *Larix olgensis*, *Abies nephrolepis* and *Picea jazoensis*. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(4): 78-85.
- [14] Li C Y, Ma L Y, Wang X Q, Xu X. Short-term effects of tending on the undergrowth diversity of *Platycladus orientalis* plantations in Beijing mountainous areas. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(3): 60-66.
- [15] Xu C Y, Zhang H, Jia Z K, Xue K, Du P Z, Wang J G. Effects of stand density and site types on root characteristics of *Platycladus orientalis* plantations in Beijing mountainous area. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(4): 95-99.
- [16] Wang X Q, Ma L Y, Jia Z K, Xu C Y, Zhang Y F. Primary Study on Distribution Pattern Change of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* Plantations in Mountainous Area of Beijing. Journal of Southwest Forestry College, 2005, 25(4): 23-26.
- [17] Ma L Y, Wang X Q. Growth space competition index (GSCI) and application in the individual intraspecific competition of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* forests. Ecology Science, 2006, 25(5): 385-389.
- [18] Xu X, Ma L Y, Li C Y. Short-term Effects of Thinning on Alkaline Phosphatase Activity in the Soils of Young Plantation of *Platycladus orientalis*

- in Beijing Mountainous Areas. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(1): 51-52, 57.
- [19] Ma L Y, Zhai M P, Xu C Y, Jia Z K. Tending Effect of *Platycladus orientalis* Plantations upon Soil Moisture Properties in Mountainous Area of Beijing. Journal of Southwest Forestry College, 2005, 25(4): 64-68.
- [20] Jia Z K, Ma L Y, Xu C Y. Soil Moisture Content and Physical and Chemical Properties of Most Stands of Young *Platycladus orientalis* in Beijing Mountain Area. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(3): 160-164.
- [21] Ge F. Modern Ecology (2nd edition). Beijing: Science Press, 2008: 75.
- [22] Qian Y Q, Ma K P. Principles and Methodologies of Biodiversity Studies. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 141-165.
- [23] Li C M, Du J S, Zhang H R. The Effects of Thinning on Forest Growth and Model Study. Forest Research, 2003, 16(5): 636-641.
- [24] Knoebel B R, Burkhardt H E, Beck D E. A growth and yield model for thinned stands of yellow poplar. Forest Science, 1986, 32(2): 27, 62.
- [25] Wu J Y, Long Y Z, Dong Y P. Research of Thinning Effect on Slash Pine Plantation. Forest Research, 1995, 8(6): 630-633.
- [26] Meng X Y. Forest Mensuration (3rd edition). Beijing: Chinese Forestry Press, 2006: 171-172.
- [27] Greening and afforestation department of State Forestry Administration of China. National planting technical regulations [EB/OL]. [2007-10-2]. <http://www.gnly.gov.cn/zlrh/ArticleShow.asp?ArticleID=2548>.
- [28] Connell, 1978 J. H. Connell, Diversity in tropical rainforests and coral reefs, Science, 1978, 199: 1302-1310.
- [29] Fei T R. Indication plants and silviculture. Beijing: Chinese Forestry Press, 1992: 74.
- [30] BAILEY J D. Montane alternative silvicultural systems (MASS): Establishing and managing a multi-disciplinary, multi-partner research site. Forestry Ecology and Management, 1998, 112(3): 289-302.
- [31] Xu Y, Liu Y, Li G L, Guo B, Li R S. Effects of the thinning intensity on the diversity of undergrowth vegetation in *Pinus tabulaeformis* plantations. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2008, 32(3): 135-138.
- [32] Xie H. Study on Thinning Effects of Chinese Fir Plantation. Anhui: Anhui Agricultural University, 2007: 32.
- [33] Zhang J T. Quantitative Ecology. Beijing: Science Press, 2004: 24.
- [34] Wen Y G, Chen F, Liu S R, Liang H W, Yuan C A, Zhu H G. Relationship between Species Diversity and Biomass of Eucalyptus Plantation in Guangxi. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(4): 15-19.
- [35] Yao M H, Sheng W T, Xiong Y Q. Studies of understory and its biomass in Chinese fir stands. Scientia Silvae Sinicae, 1991, 27(6): 644-648.

参考文献:

- [3] 陈利顶,傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义. 生态学报, 2000, (20)4: 581-586.
- [4] 沈国防. 森林培育学. 北京: 中国林业出版社, 2001: 281-282.
- [5] 于政中. 森林经理学. 北京: 中国林业出版社, 1993: 31.
- [10] 杜纪山,唐守正. 抚育间伐对林分生长的效应及其模型研究. 北京林业大学学报, 1996, 18(1): 79-83.
- [11] 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. 林业科学研究, 1995, 8(4): 408-412.
- [12] 任立忠,罗菊春,李新彬. 抚育采伐对山杨次生林植物多样性影响的研究. 北京林业大学学报, 2000, 22(4): 14-17.
- [13] 雷向东,陆元昌,张会儒,张则路,陈晓光. 抚育间伐对落叶松云冷杉混交林的影响. 林业科学, 2005, 41(4): 78-85.
- [14] 李春义,马履一,王希群,徐昕. 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. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 60-66.
- [15] 徐程扬,张华,贾忠奎,薛康,杜鹏志,王京国. 林分密度和立地类型对北京山区侧柏人工林根系的影响. 北京林业大学学报, 2007, 29(4): 95-99.
- [16] 王希群,马履一,贾忠奎,徐程扬,张永福. 北京地区油松,侧柏林分布格局变化的初步研究. 西南林学院学报, 2005, 25(4): 23-26.
- [17] 马履一,王希群. 生长空间竞争指数及其在油松,侧柏种内竞争中的应用研究. 生态科学, 2006, 25(5): 385-389.
- [18] 徐昕,马履一,李春义. 间伐措施对北京山区幼龄侧柏人工林土壤碱性磷酸酶活性的短期影响. 东北林业大学学报, 2008, 36(1): 51-52, 57.
- [19] 马履一,翟明普,徐程扬,贾忠奎. 抚育对北京山区侧柏人工林土壤水分特性的影响. 西南林学院学报, 2005, 25(4): 64-68.
- [20] 贾忠奎,马履一,徐程扬. 北京山区幼龄侧柏林主要林分类型土壤水分及理化特性研究. 水土保持学报, 2005, 19(3): 160-164.
- [21] 戈峰. 现代生态学(第二版). 北京: 科学出版社, 2008: 75.
- [22] 钱迎倩,马克平主编. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141-165.
- [23] 李春明,杜纪山,张会儒. 抚育间伐对森林生长的影响及其模型研究. 林业科学研究, 2003, 16(5): 636-641.
- [25] 吴际友,龙应忠,董云平. 湿地松人工林间伐效果初步研究. 林业科学研究, 1995, 8(6): 630-633.
- [26] 孟宪宇. 测树学(第三版). 北京: 中国林业出版社, 2006: 171-172.
- [27] 国家林业局造林绿化和森林经营司. 国家造林技术规程 [EB/OL], [2007-10-2]. <http://www.gnly.gov.cn/zlrh/ArticleShow.asp?ArticleID=2548>
- [29] 费廷瑞主编. 指示植物与造林. 北京: 中国林业出版社, 1992: 74.
- [31] 徐扬,刘勇,李国雷,郭蓓,李瑞生. 间伐强度对油松中龄人工林林下植被多样性的影响. 南京林业大学学报(自然科学版), 2008, 32(3): 135-138.
- [32] 谢华. 杉木人工林抚育间伐效应研究. 安徽: 安徽农业大学, 2007: 32.
- [33] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004: 24.
- [34] 温远光,陈放,刘世荣,梁宏温,元昌安,朱宏光. 广西桉树人工林物种多样性与生物量关系. 林业科学, 2008, 44(4): 15-19.
- [35] 姚茂和,盛炜彤,熊有强. 杉木林林下植被及其生物量的研究. 林业科学, 1991, 27(6): 644-648.