

文章编号: 1008 - 2786 - (2015) 2 - 199 - 09

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000026

# 抚育间伐对川中丘陵区 柏木人工林生长和植物多样性的影响

杨育林<sup>1</sup>, 李贤伟<sup>1\*</sup>, 王海明<sup>2</sup>, 刘运科<sup>1</sup>, 潘业田<sup>1</sup>, 张军<sup>1</sup>

(1. 四川农业大学林学院 四川 雅安 625014; 2. 中科院水利部成都山地灾害与环境研究所 四川 成都 610041)

**摘 要:** 为探索适宜间伐强度的抚育措施, 在川中丘陵区高密度的柏木人工纯林中, 选择抚育间伐形成的不同柏木密度样地 36 个, 采用样方法, 调查光热环境、植物生长和多样性随间伐强度的变化规律。结果表明: 间伐后, 林内光合有效辐射和气温显著 ( $P < 0.05$ , 下同) 升高, 空气湿度和土壤相对含水量显著降低, 间伐强度越大变化幅度越大。间伐后, 林下更新层乔木胸径、冠幅和郁闭度, 灌木层盖度和高度, 草本层盖度, 枯落物层厚度较非间伐样地均显著增加, 且随间伐强度增加增值越大; 更新层乔木高度在各间伐和对照样地之间差异不显著; 间伐显著提高了单株柏木材积, 但单位面积内柏木蓄积量显著降低。间伐后, 林内植物种数、属数和科数增多, 乔木、灌木和草本种数增加; 间伐林内植物物种丰富度和多样性 Shannon - Wiener 指数显著提高, 均匀度 Pielou 指数和优势度 Simpson 指数变化不明显。间伐和非间伐样地之间共有种为 4 ~ 9 种, 相似系数介于 16.67% ~ 50.00%。抚育间伐改变了林内光热环境, 促进了林下植物的生长更新, 丰富了林内植物多样性, 强度间伐影响效果更为明显。

**关键词:** 柏木人工林; 抚育间伐; 林分生长; 植物多样性

**中图分类号:** S753.7<sup>+</sup>5 S791.41

**文献标志码:** A

川中丘陵区是长江上游重要的生态功能区, 20 世纪 80 年代, 在该区域实施了“长防”、“长治”等林业生态工程, 种植了大面积的柏木 (*Cupressus funebris*) 人工林, 曾在生态恢复、水源涵养、水土保持、木材提供等过程中发挥过一定的作用, 但由于栽植树种单一、初植密度过高、管理不善等因素导致林分郁闭成林后植物生长不良、多样性降低、生态功能低下, 急需进行改造<sup>[1]</sup>。

柏木是我国亚热带最具代表性针叶树种之一, 具有喜光、耐寒、耐旱、适应性强、生长较快、材质优良等特点, 国内四川、湖北西部、贵州栽培最多, 在川中丘陵区广为分布, 且大都为人工林, 以前对其研究重点放在林分水土保持<sup>[2]</sup>、根系特征<sup>[3]</sup>、光合特

征<sup>[4]</sup>、生物量<sup>[5]</sup>、元素循环<sup>[6]</sup>、柏木农林复合经营等方面<sup>[7]</sup>, 结合光热环境的变化对柏木人工林抚育间伐更新研究报道较少。

抚育间伐是在未成熟的森林中, 定期伐去部分林木, 为保留的林木创造良好的环境条件, 促进其生长发育的人为干扰活动<sup>[8]</sup>。抚育间伐通过砍去品质低劣和生长落后的林木, 淘汰部分低价值的树种, 对促进林分的生长, 维护森林生态系统的平衡具有重要的作用<sup>[9-11]</sup>。由于抚育间伐强度、演替发展阶段、当地气候环境等的不同, 产生的效果也不一样, 强度间伐会形成类似于演替早期的阳性生境条件, 一方面可加剧先锋阶段的物种侵入和繁殖, 促进林分的快速更新, 另一方面也可能会改变甚至破坏原

收稿日期 (Received date): 2014 - 06 - 21; 改回日期 (Accepted): 2014 - 10 - 20。

基金项目 (Foundation item): 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2011BAC09B05); 四川省科技支撑计划项目 (2010NZ0049); 国家自然科学基金 (D010505/41201274)。 [National Science and Technology Pillar Program during the 12th Five-year Plan Period (2011BAC09B05); Sichuan Science and Technology Pillar Program (2010NZ0049); National Natural Science Foundation of China (D010505/41201274).]

作者简介 (Biography): 杨育林 (1982 -), 男, 博士, 主要从事森林培育研究。 [Yang Yulin (1982 -), male, Ph. D., research mainly on forest cultivation.] E-mail: 8162306@qq.com

\* 通信作者 (Corresponding author): 李贤伟。 [Li Xianwei.] E-mail: lxw@sicau.edu.cn

有的生态系统的稳定性,导致生态功能降低;弱度间伐下人工林的结构未发生明显改变,对林分生长和植物多样性的提升可能达不到需要的效果<sup>[12]</sup>;国家为保护森林对抚育间伐的强度范围也有一些相关规定,在林业生产实践中必须考虑。故寻求适宜的间伐强度,促进低效人工林的生长更新,最大限度的发挥其生态和经济效益,已成为当前人工林生态学研究最为活跃的领域之一。

本研究选择川中丘陵区高密度的柏木人工林,进行不同强度的抚育间伐,在天然更新的状态下,测定林内光热环境和植被生长状况的变化,调查林内植物物种、数量等的分布,为提高川中丘陵区低效柏木人工林的生态和经济效益提供理论和实践依据。

## 1 研究区域概况与研究方法

### 1.1 研究区域概况

研究样地在川中丘陵区的德阳市旌阳区和新镇林区,海拔450~600 m,地貌为浅状丘陵,属亚热带湿润季风气候,四季分明,年均气温17℃左右,无霜期>300 d,年均日照时数1 000~1 300 h,年均降雨量900~1 000 mm,主要集中在5—10月,冬干春旱明显。区域出露岩层主要为中生代的砂岩、页岩和泥岩,土壤多为紫色土和冲积黄壤,部分为姜石黄壤和灰白砂土,水土流失严重。该区现存林分主要为1980年代营建的柏木人工林,目前柏木郁闭度已达0.8以上,混有少量的构树(*Broussonetia papyifera*)、油桐(*Vernicia fordii*)、竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum*)等乔木,林下散布有黄荆(*Vitex negundo*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、马桑(*Coriaria nepalensis*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、褐果薹草(*Carex brunnea*)、青蒿(*Sweet wormwood*)等灌木和草本。

### 1.2 样地设置

样地柏木初植时间为20世纪80年代初期,初植密度约1株/2.25 m<sup>2</sup>(1.5 m×1.5 m),现存柏木密度约1株/4 m<sup>2</sup>(2 m×2 m)。为促进林分的生长,在1990—1993年、1999—2002年和2011年期间,根据间密留疏,间劣留优的原则,并依据国家《森林抚育规程》(GB/T15776-1995、GB/T15781-2009)和《森林更新管理办法》(国务院令第588号,2011年)等的规定,确定柏木间伐强度为总株数的15%~50%,先后在不同区域进行了3次抚育间伐。2013年7月,尽可能使样地地形因子和土壤条件保

持一致的前提下,选择间伐强度为柏木株数15%~17%、24%~26%、34%~36%和48%~50%,即保留柏木密度分别为2 075~2 125株/hm<sup>2</sup>、1 850~1 900株/hm<sup>2</sup>、1 600~1 650株/hm<sup>2</sup>、1 250~1 300株/hm<sup>2</sup>的柏木林,依次划为极弱度、弱度、中度和强度4个间伐类型,每类样地选择3个重复,共选择36个样地,每个样地调查面积为20×20 m<sup>2</sup>。尽可能使坡向、海拔等环境因子与间伐样地保持一致的前提下,设置未间伐对照样地为3个,面积分别为20×20 m<sup>2</sup>。各样地的海拔、坡度、坡向、柏木密度等基本情况详见表1。

### 1.3 调查方法

2013年8月,在各间伐和对照样地内随机选择3个点,于晴天8:00~18:00,用Li-6400便携式光合仪(Li-Cor Inc, USA)测定距离地面1 m高处的光合有效辐射值,每隔4 h测量一次,全天共测定3次;用纽扣式温湿度记录仪(DS1923)测定距离地面1 m高处的气温和空气湿度,每隔2 h记录一次;在各间伐和对照样地内随机选择3个点,在8:00、12:00和18:00三个时间,采集直径5 cm,深度0~10 cm的土壤,用酒精烧湿法测定相对含水量。用常规方法测定间伐和对照样地内全部乔木高度和胸径(≥5 cm),更新层乔木冠幅和郁闭度,灌木盖度和高度,草本盖度,枯落物层厚度;调查间伐和对照样地内全部植物的种类和数量。2011年4月样地的间伐强度和时间可直接确定,1990—1993年和1999—2002年期间样地的间伐强度和时间根据档案记载确定。因不同间伐时间段形成的样地都同时包含在极弱度、弱度、中度和强度4个类型中,故本文可以分析不同间伐强度对林下光热环境、林分生长和植物多样性的影响。

### 1.4 数据处理与统计分析

运用SPSS17.0进行数据统计和处理,用单因素方差分析(one-way ANOVA)法作方差分析,用LSD法进行多重比较。立木材积采用西南地区二元立木材积公式计算, $V = A \times D^B \times H^C$ (常数 $A = 0.000057173591$ 、 $B = 1.88133050$ 、 $C = 0.99568845$ , $D$ 为胸径、 $H$ 为树高)。物种多样性计算指标包括:丰富度指数 $R = S - 1$ ;物种均匀度Pielou指数 $J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S$ ;生态优势度Simpson指数 $\lambda = \sum_{i=1}^s N_i(N_i - 1) / N(N - 1)$ ;多样性Shannon-Wiener指数 $HP = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ ,式中 $S$ 表示样本中的物种数, $N$ 为样本中的植物个体总数, $N_i$ 为第 $i$ 种的个体数, $P_i$

表 1 样地特征  
Table 1 Characteristic of plot

间伐强度 Thinning intensity	间伐时间 Thinning time/a	海拔 Elevation/m	坡向 Aspect	坡度 Slope/°	坡位 Location	柏木密度 Cypress density/( plant/hm <sup>2</sup> )	样地数 Plot number
15% ~ 17%	2011	516 ~ 523	S	27.6 ~ 31.4	U	2 075 ~ 2 125	3
	1999—2002	508 ~ 529	S/SE	23.5 ~ 27.5	M/U	2 075 ~ 2 125	3
	1990—1993	524 ~ 537	S	22.3 ~ 29.5	U	2 075 ~ 2 125	3
24% ~ 26%	2011	491 ~ 516	SE	24.8 ~ 27.6	L/M	1 850 ~ 1 900	3
	1999—2002	472 ~ 486	S	25.0 ~ 29.1	L	1 850 ~ 1 900	3
	1990—1993	501 ~ 519	S	19.8 ~ 25.5	M/U	1 850 ~ 1 900	3
34% ~ 36%	2011	469 ~ 493	S	23.3 ~ 26.4	L	1 600 ~ 1 650	3
	1999—2002	518 ~ 530	S/SE	24.2 ~ 29.0	U	1 600 ~ 1 650	3
	1990—1993	495 ~ 511	SE	25.5 ~ 31.2	L/M	1 600 ~ 1 650	3
48% ~ 50%	2011	516 ~ 528	S	26.5 ~ 29.8	U	1 250 ~ 1 300	3
	1999—2002	489 ~ 504	S/SE	20.7 ~ 26.3	M	1 250 ~ 1 300	3
	1990—1993	457 ~ 482	SE	28.9 ~ 35.2	L	1 250 ~ 1 300	3
对照 Contrast		492 ~ 516	S/SE	24.6 ~ 28.2	M	2 475 ~ 2 525	3

U 代表中上坡位; M 代表中坡位; L 代表中下坡位。各样地柏林初植后只间伐一次。U means upper location; M means middle location; L means lower location. Cypress was thinning only one time after planted at every sample plot.

表示样本中第  $i$  个种个体数占个体总数的比例,  $P_i = N_i/N^{[13]}$ 。群落相似系数采用 Sorensen 指数:  $IS = [2C/(A+B)] \times 100\%$ ,  $A$  为样地  $A$  的物种数,  $B$  为样地  $B$  的物种数,  $C$  为样地  $A$  与  $B$  的共有物种数<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 光热及湿度环境

从表 2 可见, 极弱度、弱度、中度、强度间伐与非间伐林内光合有效辐射比值分别为 1.49:1.94:2.18:2.45:1, 各样地光合有效辐射差异显著。林内气温为 25.02 ~ 29.73℃, 且非间伐 < 极弱度间伐 < 弱度间伐 < 中度间伐 < 强度间伐, 强度间伐林内气

温显著高于其他样地。间伐后, 林内空气湿度显著降低, 且随着间伐强度的增加降幅越大。间伐后, 土壤相对含水量变化为非间伐 > 极弱度间伐 > 弱度间伐 > 中度间伐 > 强度间伐, 间伐显著降低了土壤相对含水量, 47% ~ 50% 强度间伐下土壤含水量最低。

### 2.2 林分生长状况

由表 3 可知, 间伐后, 林内更新层乔木胸径、冠幅和郁闭度比非间伐样地显著提高, 且随着间伐强度的增加增幅越大, 乔木高度在间伐后未出现显著的变化 ( $P < 0.05$ )。灌木高度和盖度、草本层盖度和枯落物层厚度表现为非间伐 < 极弱度 < 弱度 < 中度 < 强度间伐, 间伐和非间伐样地, 不同强度间伐样地之间均表现出显著差异, 48% ~ 50% 的强度间伐下, 林分生长状况改善明显。

表 2 间伐林内光热及湿度环境  
Table 2 Environmental of humidity and photo thermal in thinning forest

间伐强度 Thinning intensity	15% ~ 17%	24% ~ 26%	34% ~ 36%	48% ~ 50%	非间伐 Non-thinning
光合有效辐射 PAR/( W/m <sup>2</sup> )	39.07 ± 8.32a	50.88 ± 10.47b	57.18 ± 11.75c	64.32 ± 14.56d	26.26 ± 6.21e
气温 Air temperature/°C	26.14 ± 1.82a	26.79 ± 1.98a	28.16 ± 2.11b	29.73 ± 2.54c	25.02 ± 1.78d
空气湿度 Air humidity/%	87.21 ± 7.74a	84.56 ± 5.07b	79.62 ± 4.64c	72.41 ± 4.48d	89.96 ± 7.83e
土壤相对含水量 Soil moisture /%	65.84 ± 0.93a	65.27 ± 0.87a	63.41 ± 0.75b	59.68 ± 0.76c	66.72 ± 0.82d

不同小写字母表示在不同处理之间差异显著, 下同。Different small letters indicate significant differences among different treatment. The same below.

表3 间伐林分生长状况

Table 3 Growth status of thinning stands

间伐强度 Thinning intensity	乔木高度 Arbor height/m	乔木胸径 Arbor DBH/cm	乔木冠幅 Arbor crown width/m	乔木郁闭度 Arbor shade density/%	灌木高度 Shrub height/m	灌木层盖度 Shrub layer coverage /%	草本层盖度 Herbaceous layer coverage/%	枯落物层厚度 Litter layer thickness/cm
15% ~ 17%	3.68 ± 0.78a	5.4 ± 0.3a	2.35 ± 0.11a	11 ± 2a	1.70 ± 0.23a	16 ± 2a	7 ± 2a	1.3 ± 0.2a
24% ~ 26%	3.59 ± 0.86a	5.7 ± 0.4b	2.49 ± 0.12b	15 ± 3b	2.06 ± 0.21b	20 ± 2b	15 ± 3b	2.0 ± 0.2b
34% ~ 36%	3.63 ± 0.76a	6.1 ± 0.4c	2.61 ± 0.15c	20 ± 2c	2.39 ± 0.22c	24 ± 2c	21 ± 3c	2.6 ± 0.2b
48% ~ 50%	3.62 ± 0.99a	6.5 ± 0.3d	2.76 ± 0.14d	24 ± 3d	2.68 ± 0.19d	29 ± 3d	28 ± 4d	3.1 ± 0.3c
非间伐 Non-thinning	3.66 ± 0.67a	5.1 ± 0.3e	2.26 ± 0.09e	8 ± 2e	1.02 ± 0.12e	9 ± 2e	4 ± 1e	0.2 ± 0.1d

乔木高度、胸径、冠幅和郁闭度是指更新层,不含人工栽植形成的柏木层。Heigh, DBH, crown width and shade density of arbor refer to regeneration layer, contain no cypress layer with artificial planting.

### 2.3 柏木蓄积量

现存柏木人工林主要为初植柏木生长成林,少部分林下柏木种子萌发生长形成更新层柏木。从表4可知,单株柏木材积(胸径 $\geq 5$  cm)为强度间伐>中度间伐>弱度间伐>极弱度间伐>非间伐样地,且相互之间差异显著;极弱度、弱度、中度、强度间伐与非间伐林单位面积内柏木蓄积量(胸径 $\geq 5$  cm)比值分别为0.95:0.92:0.89:0.77:1,间伐显著降低了单位面积内柏木蓄积量。

### 2.4 植物区系分布

间伐后,与非间伐林比较,从极弱度到强度间伐林内物种增加4、8、13和16种,属数增加4、5、11和14属,科数增加4、5、7和8科(表5)。抚育间伐促进了林内植物组成区系的多样化,间伐林内植物的种、属和科均显著高于( $P < 0.05$ )非间伐样地,且间伐强度越大,植物组成区系越复杂。间伐后林内增加的植物种包括荎草(*Arthraxon hispidus*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)等,

增加的属包括大油芒属(*Spodiopogon*)、马桑属(*Coriaria*)、八角枫属(*Alangium*)等,增加的科包括车前科(*Plantaginaceae*)、五福花科(*Adoxaceae*)、苦木科(*Simaroubaceae*)等。

### 2.5 乔灌草分布

间伐后,与非间伐林比较,从极弱度到强度间伐,乔木增加1、1、2和3种,灌木增加1、2、5和5种,草本增加2、5、6和8种;中度和强度间伐下,乔灌草种数较非间伐林均显著增加(表6)。间伐后,林内新增的乔木有乌桕(*Sapium sebiferum*)、柘树(*Cudrania tricuspidata*)、黄檀(*Dalbergia hupeana*)等,灌木有胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、悬钩子(*Rubus corchorifolius*)、荚蒾(*Viburnum dilatatum*)等,草本有野棉花(*Anemone vitifolia*)、青蒿(*Sweet wormwood*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)等。

### 2.6 植物物种统计

由表7可见,抚育间伐后,样地内共调查到81种植物,其中草本44种、灌木14种、乔木23种。在

表4 间伐林内柏木蓄积量

Table 4 Cypress volume in thinning forest

间伐强度 Thinning intensity	15% ~ 17%	24% ~ 26%	34% ~ 36%	48% ~ 50%	非间伐 Non-thinning
单株柏木材积 Skidding of a cypress/m <sup>3</sup>	0.021 ± 0.001a	0.022 ± 0.001b	0.024 ± 0.001c	0.026 ± 0.002d	0.018 ± 0.001e
柏木蓄积量 Cypress volume/m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>	44.23 ± 1.48a	42.81 ± 1.83b	41.47 ± 1.24c	36.19 ± 2.82d	46.73 ± 1.17e

表5 间伐林内植物区系分布

Tab.5 Distribution of flora in thinning forest

间伐强度 Thinning intensity	15% ~ 17%	24% ~ 26%	34% ~ 36%	48% ~ 50%	非间伐 Non-thinning
物种数 Species	20 ± 2a	24 ± 2b	29 ± 2c	32 ± 2d	16 ± 1e
属数 Genus	19 ± 2a	20 ± 1a	26 ± 1b	29 ± 2c	15 ± 1d
科数 Families	16 ± 1a	17 ± 1a	19 ± 1b	20 ± 2b	12 ± 1c

表6 间伐林内乔灌木分布

Table 6 Distribution of arbor shrub and herb in thinning forest

间伐强度 Thinning intensity	15% ~ 17%	24% ~ 26%	34% ~ 36%	48% ~ 50%	非间伐 Non-thinning
乔木 Arbor	5 ± 1a	5 ± 1a	6 ± 1b	7 ± 1b	4 ± 1a
灌木 Shrub	5 ± 1ab	6 ± 1a	9 ± 2c	9 ± 2c	4 ± 1b
草本 Herb	10 ± 1a	13 ± 2b	14 ± 2b	16 ± 2b	8 ± 1c

不同间伐强度样地之间, 15% ~ 17%、24% ~ 26%、34% ~ 36% 和 48% ~ 50% 强度间伐林内记录到物种分别为 25、31、35 和 39 种, 间伐强度越大样地内出现的物种越丰富。间伐样地内出现的植物包括禾本科( *Poaceae* )、菊科( *Compositae* )、蔷薇科( *Rosaceae* ) 等, 其中金发草( *Pogonatherum paniceum* )、五节芒( *Miscanthus floridulus* )、悬钩子( *Rubus corchorifolius* )、八角枫( *Broussonetia papyifera* ) 等喜光植物占有较大比重, 井栏凤尾蕨( *Pteris multifida* ) 等耐阴植物也有分布。

### 2.7 植物多样性

从表 8 可见, 从极弱度到强度间伐与非间伐林内物种丰富度之比为 1.27:1.53:1.87:2.07:1, 间伐后物种丰富度显著增加, 且随着间伐强度的增加物种越丰富。间伐后, 林内均匀度 Pielou 指数提高, 随间伐强度增大分布越均匀, 优势度 Simpson 指数降低, 随间伐强度增大优势度越低, 但差异不显著(  $P > 0.05$  )。各样地多样性 Shannon - Wiener 指数表现为强度 > 中度 > 弱度 > 极弱度 > 非间伐样地, 且相互间差异显著。

### 2.8 共有种及相似系数

间伐与非间伐林内共有种为 4 ~ 9 种, 相似系数变化范围在 16.67% ~ 50.00% (表 9), 两者之间共有种不多, 相似系数不高, 且随着间伐的增加, 共有种和相似系数均降低, 而在天然状态下, 在一定的尺度范围内, 气候和土壤条件相同, 群落的优势种群一致, 林下植物应有较多的共有种和较高的相似性, 但人为干扰可改变这一规律<sup>[15]</sup>, 说明抚育间伐改变了原有林内生态系统的植物组成体系, 在演替过程中建立了一个新的种间生长平衡关系。

## 3 讨论

### 3.1 间伐对林内光热环境的影响

高密度的柏木人工林在抚育间伐后, 林内光合有效辐射增强, 气温升高, 空气湿度和土壤相对含水

量降低(表 2), 在相同或相近的坡向上, 这与之前的一些研究结果近似<sup>[16-17]</sup>。间伐产生了更多的林间空隙, 更多的太阳光可直接照射到林下, 光合有效辐射增强。光照强度增加, 更多的热量辐射到林内, 热量被空气吸收后使得气温升高。抚育间伐后林内空隙增大, 空气流动速度更快, 加之气温升高, 对水分蒸发作用更强, 空气湿度和土壤相对含水量也更低。这些因素导致抚育间伐快速改变了高密度柏木人工林阴冷潮湿的环境, 促进保留植物的生长发育, 也为更多植物种类在林下生长提供了条件, 同时林下卫生环境得到了改善, 降低了病虫害对植物的危害。

### 3.2 间伐对林内植物生长的影响

与环境基本一致的非间伐对照样地更新层乔木相比, 间伐后林内乔木高度、胸径、冠幅和郁闭度均增加, 不同间伐强度之间, 乔木胸径、冠幅和郁闭度随间伐增加而提高, 乔木高度在各间伐样地之间差异不显著。抚育间伐后, 灌木高度和盖度, 草本盖度和枯落物层厚度均增加, 且强度间伐最高(表 3)。

疏伐后, 一是部分上层柏木被砍伐, 对林下乔木幼苗、灌木和草本的竞争排斥压力减弱; 二是林内光合有效辐射增强、气温升高、湿度降低, 原阴冷潮湿的环境得到改善; 三是林内光照增强, 植物光合作用提高, 更多的植物有机质得到积累, 枯落层增厚, 土壤肥力提高; 四是林下卫生环境改善, 枯落物层增厚, 适应更多的土壤动物生存, 土壤动物活动可增强土壤的透气和透水性能, 这些因素都可促进林内植物的生长, 这与郑丽凤等对针阔混交林乔木间伐后, 发现林下阴冷、潮湿的环境得到改善, 植被恢复和生长明显增强的研究结果一致<sup>[18]</sup>。不同间伐强度之间, 随着间伐强度的增加, 光照、气温、空气湿度和土壤含水量较非间伐样地改善更为明显, 对植物生长的促进作用更强, 乔木胸径、冠幅、郁闭度, 灌木高度和盖度, 草本盖度和枯落物厚度在强度间伐(48% ~ 50%) 下最高, 是否随着间伐强度的继续增加, 对保留植物的生长会持续促进, 有待进一步研究。乔木生长高度受光照强度、土壤肥力等多种因素的影响。

表7 间伐林内植物物种统计  
Table 7 Statistics of plant species in thinning forest

植物种类 Plant species	15~17 1%	24~26 1%	34~36 1%	48~50 1%	植物种类 Plant species	15~17 1%	24~26 1%	34~36 1%	48~50 1%
草本 Herb					团羽铁线蕨 <i>Adiantum capillus-junonis</i>	+	+	-	-
车前草 <i>Plantago asiatica</i>	-	+	+	-	空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	-	-	+	-
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	+	-	-	+	草茉莉 <i>Mirabilis jalapa</i>	-	+	-	-
叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	-	+	-	-	灌木 Bush				
葎草 <i>Humulus scandens</i>	-	-	+	-	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	-	+	+	+
野葛 <i>Pueraria lobata</i>	-	+	-	-	马桑 <i>Coriaria nepalensis</i>	-	-	+	+
薯蓣 <i>Dioscorea opposita</i>	-	-	+	-	杭子稍 <i>Campulotropis macrocarpa</i>	-	+	-	+
井栏凤尾蕨 <i>Pteris multifida</i>	+	-	-	-	胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i>	+	-	-	-
细柄草 <i>Capillipedium parviflorum</i>	-	+	-	+	黄荆 <i>Vitex negundo</i>	+	+	-	-
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	+	+	-	-	小叶女贞 <i>Ligustrum quihoui</i>	-	-	+	-
大油芒 <i>Spodiopogon sibiricus</i>	-	-	+	+	雅致雾水葛 <i>Pouzolzia elegans</i>	-	-	+	+
鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i>	-	-	+	-	小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i>	+	+	-	+
粽叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i>	-	+	-	-	粉枝莓 <i>Rubus biflorus</i>	-	-	+	-
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	-	-	+	-	悬钩子 <i>Rubus corchorifolius</i>	+	+	-	+
金发草 <i>Pogonatherum paniceum</i>	+	+	-	+	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	-	-	+	+
荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	-	-	+	-	水茄 <i>Solanum torvum</i>	-	+	+	+
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	+	+	-	+	荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i>	+	-	+	+
竹叶草 <i>Oplismenus compositus</i>	-	-	+	-	杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	+	+	-	+
三毛草 <i>Trisetum bifidum</i>	-	+	-	-	乔木 Arbor				
小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i>	-	-	+	-	柏木 <i>Cupressus funebris</i>	+	+	+	+
牡蒿 <i>Artemisia japonica</i>	+	-	-	+	乌桕 <i>Sapium sebiferum</i>	-	-	+	+
青蒿 <i>Sweet wormwood</i>	-	-	+	+	油桐 <i>Vernicia fordii</i>	-	+	-	-
马兰 <i>Kalimeris indica</i>	-	-	-	+	黄槐 <i>Cassia surattensis</i>	-	-	-	+
川甘蒲公英 <i>Taraxacum lugubre</i>	-	+	+	-	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	+	-	-	-
四川天名精 <i>Carpesium szechuanense</i>	-	-	-	+	橡树 <i>Quercus palustris</i>	-	+	-	+
一点红 <i>Emilia sonchifolia</i>	-	-	+	-	苦木 <i>Pterocarya quassioides</i>	-	-	+	-
臭牡丹 <i>Clerodendrum bungei</i>	-	-	-	+	川楝子 <i>Melia toosendan</i>	-	+	+	-
野棉花 <i>Anemone vitifolia</i>	+	-	-	-	大叶女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	-	-	-	+
毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i>	-	-	+	-	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	+	+	-	-
乌菘莓 <i>Cayratia japonica</i>	-	-	+	+	红麸杨 <i>Rhus punjabensis</i>	-	-	+	+
白菘 <i>Ampelopsis japonica</i>	-	+	-	-	川麸杨 <i>Rhus wilsonii</i>	+	-	-	-
鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	-	-	-	+	沙梨 <i>Pyrus pyrifolia</i>	+	-	-	-
茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	-	-	-	+	李子树 <i>Prunus cerasifera</i>	-	-	-	+
蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	+	+	-	-	枇杷树 <i>Eriobotrya japonica</i>	-	-	+	-
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	-	-	+	+	桑树 <i>Morus alba</i>	-	-	-	+
颠茄草 <i>Atropa belladonna</i>	-	-	-	+	构树 <i>Broussonetia papyifera</i>	-	-	+	-
白英 <i>Solanum lyratum</i>	-	-	+	+	柘树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	-	+	-	-
喀西茄 <i>Solanum aculeatissimum</i>	-	-	-	+	八角枫 <i>Alangium chinense</i>	+	+	-	+
金银花 <i>Lonicera Japonica</i>	+	+	-	+	猫乳 <i>Rhamnella franguloides</i>	-	-	-	+
地果 <i>Ficus tikoua</i>	-	-	-	+	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	-	-	+	-
褐果薹草 <i>Carex brunnea</i>	+	-	+	-	竹叶花椒 <i>Zanthoxylum armatum</i>	+	-	+	-
肾蕨 <i>Nephrolepis cordifolia</i>	-	+	-	-	柑橘 <i>Citrus reticulata</i>	+	+	-	-

+ : 该种出现 The species appeared; - : 该种未出现 The species didn't appeared.

表 8 间伐林内植物多样性

Table 8 Plant diversity in thinning forest

间伐强度 Thinning intensity	15% ~ 17%	24% ~ 26%	34% ~ 36%	48% ~ 50%	非间伐 Non-thinning
物种丰富度 Species abundance( <i>R</i> )	19 ± 1a	23 ± 2b	28 ± 1c	31 ± 2d	15 ± 1e
均匀度指数 Evenness index( <i>J<sub>se</sub></i> )	0.76 ± 0.06a	0.77 ± 0.08a	0.78 ± 0.08a	0.81 ± 0.09a	0.75 ± 0.06a
优势度指数 Domination degree index( <i>λ</i> )	0.12 ± 0.02a	0.11 ± 0.03a	0.11 ± 0.04a	0.09 ± 0.03a	0.13 ± 0.03a
多样性指数 Species diversity index( <i>HR</i> )	2.31 ± 0.09a	2.49 ± 0.08b	2.68 ± 0.07c	2.82 ± 0.21d	2.01 ± 0.08e

表 9 间伐与非间伐林内植物共有种及相似系数

Table 9 Common species and similarity coefficient between thinning and non - thinning forest

间伐强度 Thinning intensity	15% ~ 17%	24% ~ 26%	34% ~ 36%	48% ~ 50%
共有种 Common species	9 ± 2a	7 ± 1ab	6 ± 1b	4 ± 1c
相似系数 Coefficient of similarity/%	50.00 ± 11.11a	35.00 ± 5.00a	26.67 ± 4.45b	16.67 ± 4.13c

响,间伐提高了土壤肥力,改善了生长环境,但由于光照强度的增加,乔木争光促进长高的效应减弱,各样地之间乔木高度表现为差异不显著。

柏木人工林在发挥生态效益的同时,提供木材也是其重要的经济效益之一。抚育间伐促进了保留柏木的生长,单株柏木材积增加,且与抚育间伐强度呈正相关,但抚育间伐砍伐了部分成林柏木,单株柏木材积的增加不能抵消抚育间伐降低的柏木蓄积量,单位面积上的柏木蓄积量减少,抚育间伐强度越大减少越多,这与美国的 Knoebol 等对鹅掌楸间伐后的研究结果一致,间伐减少了木材的预期收获<sup>[19]</sup>,这在一定程度上减少了当地林场和农民的经济收入。

### 3.3 间伐对林内植物多样性的影响

在调查的所有抚育间伐样方中,出现的植物种类共计 81 种(表 7),非间伐林内记录到的植物种类共计 19 种;抚育间伐后植物区系组成更加复杂(表 5);乔木、灌木和草本种数增加(表 6);物种丰富度指数和多样性 Shannon - Wiener 指数显著提高(表 8)。这是由于:间伐前,高密度的柏木人工林内,柏木占绝对的竞争优势,林下环境阴冷潮湿,土壤贫瘠等因素限制了很多植物的生长和繁殖,林下植物多样性低下;间伐后,林中空隙增加,靠风媒传播的植物种子更容易降落在该区域,同时如鸟类、昆虫等在该区域活动,更容易被天敌发现和捕食,促使其在该区域的活动时间缩短,减少了植物种子被取食的概率,使林内植物种子的种类和数量得到提高;间伐使林内枯落物层增厚(表 3),可为植物种子降落到地面后提供更好的庇护,改变了土壤库种子萌发的条

件,更利于种子萌发<sup>[20]</sup>;间伐增加了林下环境的异质性,耐阳性、耐阴性和适应半阴半阳环境的植物都能生长;间伐使林下光热环境改善(表 2),植物光合作用增强,积累更多的物质和能量,土壤肥力提高,土壤动物增多,土壤透气透水性能增强,可容纳更多的植物生存。这与马履一等对北京山区油松林抚育间伐后发现植物区系组成更加复杂的结果一致<sup>[21]</sup>。

林分共有种和相似系数是物种多样性差异的重要表现特征,Sorensen 相似系数可以说明间伐与非间伐林植物群落之间的差异,相似系数值越小,说明植物群落之间的差异越大<sup>[22]</sup>。本研究表明,不同间伐强度与非间伐林之间植物群落的共有种为 4 ~ 9 种,相似系数为 16.67% ~ 50.00%,间伐与非间伐样地之间存在较大差异,表明间伐后林内植物群落结构和多样性较非间伐林发生了明显的分化。

通过本研究表明,抚育间伐能够有效改善川中丘陵区柏木人工林林分生长的光照、水、热条件,促进林分生长;抚育间伐改变了林内植物组成区系,植物种、属和科数,植物多样性指数随间伐强度的增大而增加,面积在 48 - 50% 的间伐强度范围内林下拥有更丰富的植物多样性。

致谢:感谢德阳市林业局林业科技推广站赵敏提供间伐样地的原始档案资料。

### 参考文献(References)

- [1] Gong Gutang, Li Yanqiong, Zhu Zhifang, et al. The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 923 - 930 [龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等. 川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应 [J]. 生态学报,

- 2012, 32(3): 923 - 930]
- [2] Liu Hao. Cupressus funebris inefficient forest transformation early period Soil and Water Conservation effectiveness studies in central Sichuan hilly region[D]. Yaan: Forestry College of Sichuan Agricultural University, 2014: 13 - 16 [刘浩. 川中丘陵柏木低效林改造初期水土保持效益研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014: 13 - 16]
- [3] Wei Peng. Study on Fine Root Decomposition of Cupressus funebris Plantation under two Forest gaps [D]. Yaan: Forestry College of Sichuan Agricultural University, 2014: 10 - 12 [魏鹏. 两种林窗条件下柏木人工林细根分解研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014: 10 - 12]
- [4] Zhang Jun. Study on Photosynthetic Characteristics of Several Plants in Forest canopy gap of the Cypress Plantation[D]. Yaan: Forestry College of Sichuan Agricultural University, 2014: 8 - 11 [张军. 柏木人工林人造林窗下几种植物光合生理特性的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014: 8 - 11]
- [5] Yang Ren, Deng Chaojing, Qin Mochang, et al. Determination of biomass with the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region[J]. Sichuan Forest Science and Technology, 1987, 8(1): 21 - 24 [杨韧, 邓朝经, 覃模昌, 等. 川中丘陵区柏木人工林生物量的测定[J]. 四川林业科技, 1987, 8(1): 21 - 24]
- [6] Yu Shuquan. Studies on the nutritive cycling of plantation system of cypress - II, the nutrient accumulation distribution and utilization in arbor layer[J]. Journal Sichuan Agricultural University, 1994, 12(4): 505 - 510 [余树全. 柏木人工林生态系统养分循环研究 - II、乔木层营养元素积累、分配和利用[J]. 四川农业大学学报, 1994, 12(4): 505 - 510]
- [7] Chen Junhua, Gong Gutang, Zhu Zhuzhifang, et al. Ecological and economic benefits of chicken rearing in cypress forest in hilly areas of central Sichuan[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2013, 29(2): 214 - 219 [陈俊华, 龚固堂, 朱志芳, 等. 川中丘陵区柏木林下养鸡的生态经济效益分析[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(2): 214 - 219]
- [8] Shen Guofang. Silviculture [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 2001: 281 - 282 [沈国舫. 森林培育学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011: 281 - 282]
- [9] Battles J J, Shlisky A J, Barrett R H, et al. The effects of forest management on plant species diversity in a sierran conifer forest[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 146: 211 - 222
- [10] Paul A M. Managing for forest health [J]. Journal of Forestry, 2002, 100(7): 22 - 27
- [11] Zarmorch S J, Bocholdl W A, Stolte K W. Using crown condition variables as indicators of forest health[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2004, 34(5): 1057 - 1070
- [12] Hill S B, Mallik Z U, Chen H Y. Canopy gap disturbance and succession in trembling aspen dominated boreal forests in northeastern Ontario[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2005, 35: 1942 - 1951
- [13] Yuan Jingfeng, Hu Renyong, Shen Jiahong, et al. Comparison of Species Composition and Diversity of Four Successional Forest Communities in Zhejiang Province, East China[J]. Bulletin of Botanical Research, 2011, 3(1): 61 - 66 [袁金凤, 胡仁勇, 慎佳泓, 等. 4种不同演替阶段森林群落物种组成和多样性比较研究[J]. 植物研究, 2011, 3(1): 61 - 66]
- [14] Ma Keping. The measurement of community diversity [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 141 - 165 [马克平. 生物群落多样性的测度方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141 - 165]
- [15] Yu Lizhong, Zhu Jiaojun, Kong Xiangwen, et al. The effects of anthropogenic disturbances( thinning) on plant species diversity of Pinus koreansis plantations[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3757 - 3764 [于立忠, 朱教君, 孔祥文, 等. 人为干扰(间伐)红松人工林下植物多样性的影响. 生态学报, 2006, 26(11): 3757 - 3764]
- [16] Wang Cheng, Pang Xueyong, Bao Weikai. Short term effects of low intensity thinning simulated by gap on ground microclimate and soil nutrients of pure spruce plantation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 541 - 548 [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, 21(3): 541 - 548]
- [17] Mn Lvyi, Zhai Mingpu, Xu Chenyang, et al. Tending effect of Platycladus orientalis plantations upon soil moisture properties in mountainous area of Beijing[J]. Journal of Southwest Forestry College, 2005, 25(4): 64 - 68 [马履一, 翟明普, 徐程扬, 等. 抚育对北京山区侧柏人工林土壤水分特性的影响[J]. 西南林学院学报, 2005, 25(4): 64 - 68]
- [18] Zheng Lifeng, Zhou Xinnian. Dynamics Effects of Selective Cutting Intensity on the Species Composition and Diversity of Natural Forest [J]. Mountain Research, 2008, 26(6): 699 - 706 [郑丽凤, 周新年. 择伐强度对天然林树种组成及物种多样性影响动态[J]. 山地学报, 2008, 26(6): 699 - 706]
- [19] Knoebel B C, Burlhart H E, Beek D E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar[J]. Forest Science, 1986, 32(2): 27 - 32
- [20] Pan Kaiwen, He Jing, Wu Ning. Effect of forest litter on microenvironment conditions of forestland [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(1): 135 - 158 [潘开文, 何静, 吴宁. 森林凋落物对林地微生境的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 135 - 158]
- [21] Ma Lvyi, Li Chuyi, 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, 29(3): 60 - 66 [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, 29(3): 60 - 66]
- [22] Bianba Duoji, Guo Qunshui, Ci Bai, et al. Effects of gap in primitive subalpine fir forest on diversity of herb and shrub in Tibet [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(2): 191 - 194 [边巴多吉, 郭泉水, 次柏, 等. 西藏冷杉原始林林隙对草本植物和灌木树种多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 191 - 194]

## Effects of Thinning on Growth and Plant Diversity of Cypress Plantation in the Central Sichuan Hilly Region

YANG Yulin<sup>1</sup>, LI Xianwei<sup>1\*</sup>, WANG Haiming<sup>2</sup>, LIU Yunke<sup>1</sup>, PAN Yetian<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>

(1. Forestry College of Sichuan Agricultural University, Yaan 625014 Sichuan, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** In order to explore appropriate thinning intensity, choosing 36 thinning plots with different cypress density from the pure cypress plantation with high-density in the hilly region of central Sichuan. The variation of ecological factors, plant growth and diversity in different thinning intensity was investigated by sampling method. The results showed that PAR and air temperature were significantly ( $P < 0.05$  the same below) elevated, while air humidity and soil moisture evidently decreased in the forest after thinning, the change was more obvious when thinning intensity is greater. After thinning, the DBH, crown width and shade density of arbor in the renewal layers were significantly increased. The height and coverage of shrub, litter layer thickness were significantly increased after thinning. The increase value was bigger when thinning intensity is greater. The height of arbor in the renewal layers had no significant difference between the plots. Volume per cypress was significantly increased while cypress volume in unit area was significantly decreased after thinning. The quantity of species, genus and families has elevated after thinning as well as trees, shrubs and herbaceous. Species richness and Shannon - Wiener index significantly increased while the Evenness Pielou index and Domination degree Simpson index had no significant change. Between thinning and non-thinning plot, the common species and similarity coefficient were 4 ~ 9 and 16.67% ~ 50.00% respectively. Thinning changed the thermal environment, promoted the growth of understory plants and enriched the plant diversity. Meanwhile, effect of thinning intensity is more obvious.

**Key words:** cypress plantation; thinning; stand growth; plant diversity