

林窗对川西周公山柳杉人工林 林下物种多样性的影响

李艳¹, 姚小兰¹, 郝建锋^{1,2*}, 谢燕螺¹, 宋思梦¹, 张逸博¹, 朱云航¹, 裴曾莉¹

(1 四川农业大学 林学院, 成都 611130; 2 水土保持与荒漠化防治重点实验室, 成都 611130)

摘要: 采用典型样地法, 以川西周公山柳杉人工林 5 种不同大小的林窗为研究对象, 以林下非林窗为对照, 研究了不同大小的林窗对柳杉人工林物种多样性的影响, 同时分析了不同梯度林窗下林窗中心、林窗边缘、及林下群落的物种组成、物种多样性的变化情况。结果表明: (1) 在所调查的 18 个样地 231 个样方中共记录到维管束植物 141 种, 隶属于 76 科 113 属; 随着林窗面积的增大, 群落各层次的物种数呈现出先升高后降低的趋势, 灌木层物种数在各林窗梯度上表现为林缘 > 林下 > 林窗中心, 草本层物种数在各林窗梯度上表现为林缘 > 林窗中心 > 林下。 (2) 不同林窗优势种及其重要值不同, 即在小林窗内, 优势种为柳杉和野桐, 其重要值之和高达 0.292 3; 在大林窗内, 杉木及亮叶桦为群落优势物种, 群落内出现大量其更新幼苗。 (3) 不同大小的林窗表现为灌木层物种丰富度指数 (D)、Shannon-Wiener 指数 (H)、和 Pielou 均匀度指数 (J_{sw}) 值在 400~450 m² 面积的大林窗内达到一个均优水平, 草本层物种的多样性在面积为 100~150 m² 的小林窗内达到较高水平; 不同梯度的林窗各层次群落 D 、 H 值整体表现为林缘 > 林窗中心 > 林下。研究认为: 林窗的存在会改变群落物种组成, 提高群落物种多样性水平, 并且大林窗 (400~450 m²) 更利于柳杉人工林林下树种更新及物种多样性的提高。

关键词: 林窗; 柳杉人工林; 物种多样性; 重要值

中图分类号: Q948.11; 948.15⁺4

文献标志码: A

Effects of Forest Gap on Underforest Species Diversity in a *Cryptomeria fortunei* Plantation in Zhougong Mountain, West Sichuan

LI Yan¹, YAO Xiaolan¹, HAO Jianfeng^{1,2*}, XIE Yanluo¹, SONG Simeng¹,
ZHANG Yibo¹, ZHU Yunhang¹, PEI Zengli¹

(1 College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2 Key Laboratory for Soil and Water Conservation and Desertification Control, Chengdu 611130, China)

Abstract: A systematic vegetation survey on the effects of forest gap size on vegetation diversity was conducted in a *Cryptomeria fortunei* plantation in Zhougong Mountain, Southwest China. Plots were explored in five different sizes of forest gaps, and closed canopy was selected as control. Dynamics of plant community composition and plant diversity in gap centre, gap edge, and closed canopy along the forest gap gradient were investigated. (1) A total of 141 vascular plant species belonging to 76 families and 113 genera were observed across 18 plots including 231 quadrats in this study area. Overall, species diversity shows an increase-decrease pattern with the increase of gap size. The species diversity in shrub layer hierarchically dis-

收稿日期: 2014-12-27; 修改稿收到日期: 2015-04-11

基金项目: 国家自然科学基金 (31370628); 国家“十二五”科技支撑计划 (2011BAC09B05); 四川农业大学双支计划博士专项基金 (00370401)

作者简介: 李艳 (1993—), 女, 本科生, 主要从事森林生态学研究。E-mail: liyancosmo@gmail.com

* 通信作者: 郝建锋, 博士, 讲师, 主要从事森林生态学研究。E-mail: haojf2005@aliyun.com

tributes as forest edge>closed canopy>gap centre, while herbaceous species as forest edge>gap centre>closed canopy. (2) The dominant species and important value varies among different sizes of forest gaps. *C. fortune* and *Mallotus japonicus* are the dominant species in small size forest gaps, with a sum of important value as high as 0.292 3. While *Cunninghamia lanceolata* and *Betula luminifera* are the dominant species in large forest gaps, with plenty of seedlings. (3) Species richness index (D), Shannon-Wiener index (H), and Pielou index (J_{sw}) reach relative high level in the large forest gaps with sizes of 400—450 m² for shrub communities, while these indexes reach high level in small forest gaps with sizes of 100—150 m² for herbaceous communities. Indexes of D and H among differing communities hierarchically show as forest edge>gap centre>closed canopy. These results suggested that forest gap can influences the composition of plant community and enhances plant diversity, and the large size of forest gap is more beneficial for species regeneration and plant diversity increase.

Key words: forest gap; *Cryptomeria fortunei* plantation; species diversity; important value

中国人工林面积居于世界首位,但目前造林树种单一、结构简单导致人工林出现了病虫害多发,地力衰退,经济效益低下等一系列问题^[1-2],人工林的经营面临着巨大的挑战。生物多样性是生态系统稳定的基础,能促进整个生态系统结构与功能的恢复与重建,能够较好地反映人工林可持续经营的水平^[1,3-4]。近年来有学者将近自然理论运用到人工林的经营中以实现人工林可持续发展,取得了一定的成效^[1,5]。林窗作为一种中、小尺度的干扰,是“近自然”理论中引导群落朝着自然方向发展重要的一环^[5],对群落物种多样性、稳定性的维持及树木的更新有着重要作用^[6-7]。

林窗大小是林窗最基本的特征^[8],不同大小的林窗干扰的存在会使得林内资源环境产生异质性,一些物种通过对林内异质性资源的竞争或分享实现更新和繁殖^[9]。但不同大小的林窗对森林群落的影响程度不同,研究结论尚不统一,例如崔宁洁等^[10]认为 1 225~1 600 m² 的大林窗能够促进马尾松人工林植物多样性恢复和植被更新;周东等^[11]通过对子午岭天然辽东栎群落研究发现,其物种多样性等各指数最大值出现在 75~100 m² 的小林窗中。林缘的存在会使从林窗中心到林下的不同梯度的生态环境产生梯度变化,影响着动植物分布、群落能量流动和物质循环等^[12]。张吕醉等^[13]和许强等^[14]通过对辽东栎及落叶松林窗与林下植物多样性情况的研究发现,林窗内的植物具有更高的物种多样性;王周平等^[15]通过对不同梯度林窗的缙云山森林群落研究发现,林窗的存在增加了群落物种多样性,但却降低了群落的稳定性。可见林窗中心、林缘及林下非林窗对群落产生的影响也有所不同。因此何种大小的林窗面积为最优面积,在不同面积下,不同梯度的林窗对群落的影响如何尚待研究^[10,14]。

柳杉(*Cryptomeria fortunei*)是中国亚热带地区常见的针叶林树种,由于其终年常绿同时具有优良材质,可作园林树种及家具用材树种,因而被大面积种植,但由于在森林培育的过程中未能合理经营,柳杉人工林的经济效益和生态效应都不尽如人意,关于低效人工林经营改造的研究已成为当前恢复生态学研究的重要内容^[10],因此对柳杉人工林的进行合理的经营改造显得尤为重要。但目前关于将林窗运用于人工林经营改造上的研究多集中在阔叶树种^[13,16]或马尾松、落叶松等针叶树种^[9,17],鲜有对柳杉的报道。鉴于此,本文以川西周公山柳杉人工林为例,通过研究不同大小、不同梯度的林窗中物种多样性情况,林下物种组成及树木的更新情况,旨在找到能最大限度促进物种多样性恢复的最适林窗面积,并通过不同梯度林窗的物种多样性变化情况来更好地了解林窗在森林动态中的作用,这对于指导中国西南地区柳杉人工林合理的经营改造及人工林可持续发展具有重要意义。

1 研究区概况

周公山(103°1'1"~103°1'48"E, 29°57'41"~29°58'22"N),省级森林公园,位于四川省西部,雅安市区南,属邛崃山脉向南支系,呈南北走向,面积约 1 500 hm²。最高海拔 1 742.6 m;气候属亚热带湿润季风气候,年平均气温 16.2℃;年平均降水量 1 774.3 mm,年平均蒸发量 1 011.2 mm,年平均相对湿度 79%;年平均日照时数 1 039.6 h,年平均无霜期 304 d;土壤为山地黄壤。

因地处四川盆地向青藏高原过渡带,周公山植物资源比较丰富,森林覆盖率达 80%,主要为柳杉人工林及天然林。其中柳杉人工林面积达 500 hm²,多为林龄 20 年左右的中熟林及近熟林,目前柳杉人工林

密度约为每公顷 1 200 株,郁闭度为0.7。柳杉人工林分结构简单,乔木以柳杉为主;灌木主要有野桐(*Mallotus japonicus* var. *floccosus*)、亮叶桦(*Betula lumini fera*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、野蔷薇(*Rosa multi flora*)等;草本主要以蕨(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)、肉穗草(*Sarcopyramis bodinieri*)等为主。从造林至今,由于自然及人为因素的干扰,林内分布着大小不一的林窗,林窗内多为灌木及草本类植物,少见高大乔木类植物。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

实验采用样线调查法^[18]与典型抽样法相结合的方法,对雅安周公山林窗进行面上踏查。在具有代表性的林分设置样线,对林窗进行调查,记录样线中林窗的长短轴长度,采用椭圆面积公式^[19]计算林窗面积,根据计算所得将林窗面积分为 5 个等级,即:50~100 m² (G1)、100~150 m² (G2)、200~250 m² (G3)、400~450 m² (G4)、600~650 m² (G5)。从中选取海拔、坡向、坡位、坡度等环境特征基本相似、形成木腐烂等级基本一致(使调查林窗的年龄相近)的 5 种大小不等的林窗板块各 3 块,针对本研究,将林窗分为小林窗(G1、G2)、中林窗(G3)和大林窗(G4、G5),各林窗边界间距不小于 10 m,林下为对照(CK),林下距林缘间距也不小于 10 m。在不同大小林窗的中心(共 15 个)、林窗的边缘(共 15 个)、及林下非林窗(共 3 个)随机选取 3 个 2×2 m 的灌

木样方,4 个 1×1 m 草本样方进行调查。

测定和统计的内容有:(1)灌木层:统计所有高度<3 m 的木本个体,包括乔木幼苗和幼树,记录其种类、株数(丛数)、高度和冠幅。由于本研究样地的林窗内少有更新的高大乔木类植物,所以高度>3 m 的乔木不进行调查;(2)草本层:记录草质藤本和蕨类植物的种类、株数(丛数)、高度和盖度。样地基本情况如表 1 所示。

2.2 数据处理

(1)椭圆面积的计算:林窗面积椭圆面积公式:

$$A=\pi LW/4$$

式中, A 为椭圆形面积; L 为椭圆长轴; W 为椭圆短轴。

(2)物种重要值计算:据样地资料,计算各物种的相对密度、相对频度、相对盖度和重要值(IV),公式如下:

相对密度=某个种的株数/所有种的总株数

相对频度=某个种在样方中出现的次数/所有种出现的总次数

相对盖度=某个种的盖度/所有种的盖度之和

重要值:灌木层: $IV=(\text{相对密度}+\text{相对频度}+\text{相对显著度})/3$

草本层: $IV=(\text{相对密度}+\text{相对频度}+\text{相对盖度})/3$

(3)物种多样性测定:以物种丰富度指数(D)、Shannon-Wiennner 多样性指数(H)、Simpson 优势度指数(H')和Pielou均匀度指数(J_{sw})来综合评价

表 1 周公山柳杉人工林研究样地概况

Table 1 Geophysical characteristics of the investigating plots in a *C. fortunei* plantation in Zhougong Mountain

样地编号 Plot No.	林窗面积 Gap area/m ²	面积类别 Degree	海拔 Altitude/m	坡度 Slope/°	坡向 Aspect/°	经纬度 Longitude and latitude	形成方式 Gap formation type
1	459	G4	1 158	14.2	NE61	103° 01'07.40"E,29° 57'08.03"N	人为活动 Anthropogenic
2	624	G5	1 164	13.1	NE56	103° 01'07.46"E,29° 57'07.96"N	人为活动 Anthropogenic
3	600	G5	1 173	14.5	NE56	103° 01'07.45"E,29° 57'07.82"N	人为活动 Anthropogenic
4	288	G3	1 181	12.3	NE57	103° 01'07.42"E,29° 57'07.63"N	风倒 Wind Below
5	620	G5	1 154	13.9	NE57	103° 01'07.12"E,29° 57'07.96"N	人为活动 Anthropogenic
6	225	G3	1 138	12.2	NE61	103° 01'06.68"E,29° 57'08.07"N	枯立 Standing Death
7	418	G4	1 131	14.2	NE57	103° 01'06.38"E,29° 57'08.21"N	风倒 Wind Below
8	132	G2	1 014	13.4	NE59	103° 01'06.20"E,29° 57'08.31"N	枯立 Standing Death
9	240	G3	1 115	10.9	NE60	103° 01'06.13"E,29° 57'08.46"N	风倒 Wind Below
10	81	G1	1 110	11.4	NE50	103° 01'06.16"E,29° 57'08.51"N	枯立 Standing Death
11	400	G4	1 108	14.3	NE50	103° 01'06.16"E,29° 57'08.51"N	折干 Trunk Breaking
12	110	G2	1 107	15.1	NE53	103° 01'06.37"E,29° 57'08.87"N	枯立 Standing Death
13	132	G2	1 105	13.7	NE53	103° 01'06.37"E,29° 57'08.87"N	风倒 Wind Below
14	81	G1	1 100	14.6	NE49	103° 01'06.45"E,29° 57'09.12"N	折干 Trunk Breaking
15	72	G1	1 098	12.8	NE49	103° 01'06.45"E,29° 57'09.12"N	枯立 Standing Death

柳杉人工林群落的物种多样性水平。公式如下:

丰富度指数(D): $D=S$

Simpson 指数(优势度指数): $H'=1-\sum_{i=1}^S P_i^2$

Shannon-Wiener 指数:

$H=-\sum_{i=1}^S P_i \log P_i$

Pielou 均匀度指数: $J_{sw}=\frac{-\sum_{i=1}^S P_i \log P_i}{\log S}$

$P_i=\frac{n_i}{n}$

式中, n_i 为第 i 种的个体数, n 为所有种的个体总数, $i=1,2,3,\cdots,S$, S 为物种数。此外,所有数据采用 SPSS 17.0 统计软件、Origin 8.0 软件和 Excel 进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 林窗对柳杉人工林物种组成影响

3.1.1 各林窗梯度上科属种组成分析 不同梯度林窗下各层次物种的组成有所不同(图 1,图 2)。在灌木层中,群落内物种的科、属、种数表现为:林缘>林窗中心、林下;在灌木层,除 G4 林窗中心内物种科属种数要高于林下外,其余各林窗科、属、种数均表现为林缘>林下>林窗中心,林缘群落的物种数在 G4 林窗内达最大值;在草本层中,林窗的存在会使得群落内物种科属种数量较林下明显增多,原因是林缘是连接林窗与森林群落的一个中间过渡带,其内部环境、土壤等各因子便更为复杂丰富,就有利于更多不同种类物种生存,因此林缘物种的科、属、

种数均处于较高水平。

3.1.2 林窗大小对科属种的影响 在总面积为 1 716 m² 的 231 个灌、草样方中,共记录到维管束植物 141 种,隶属于 76 科 113 属。其中以禾本科(Gramineae)、蔷薇科(Rosaceae)、蕨科(Pteridiaceae)、壳斗科(Fagaceae)植物为主。不同大小林窗下各层次物种组成不同,在灌木层中(图 1),随着林窗面积的增大,物种的科属种数呈现出先增高后降低的趋势,且在 G4 林窗内,达到峰值,此时在林窗中心共记录到植物 26 种,隶属于 17 科 22 属,主要为漆树科(Anacardiaceae)、樟科(Lauraceae)、蔷薇科植物,在林缘共记录到植物 29 种,隶属于 22 科 24 属,主要为蔷薇科、壳斗科植物,不同大小的林窗内物种科属种的数量变化较为明显;在草本层中(图 2),不同大小的林窗内物种的科属种数量无明显差距。这是因为在灌木层起初是直接处于乔木层的遮蔽之下,林窗的存在使得上层乔木的遮蔽作用基本消失,对灌木而言,其生境也会发生明显改变从而对灌木层植物的生长产生直接影响,因此灌木层中植物对林窗大小的反应更为敏感。

3.1.3 林窗大小对重要值的影响 重要值是反映某个物种在森林群落中作用和地位的综合数量指标,通过分析重要值可以找出群落中的主要优势种^[20]。表 2 结果表明,在灌木层中,群落以野桐、柳杉及亮叶桦等树种为主,其中在小林窗中,主要优势种为柳杉与野桐,其重要值之和最高达 0.292 3,群落内存在大量柳杉幼苗。林缘、林窗中心与林下相比,出现了亮叶桦、山茶等树种,这说明林窗对森林

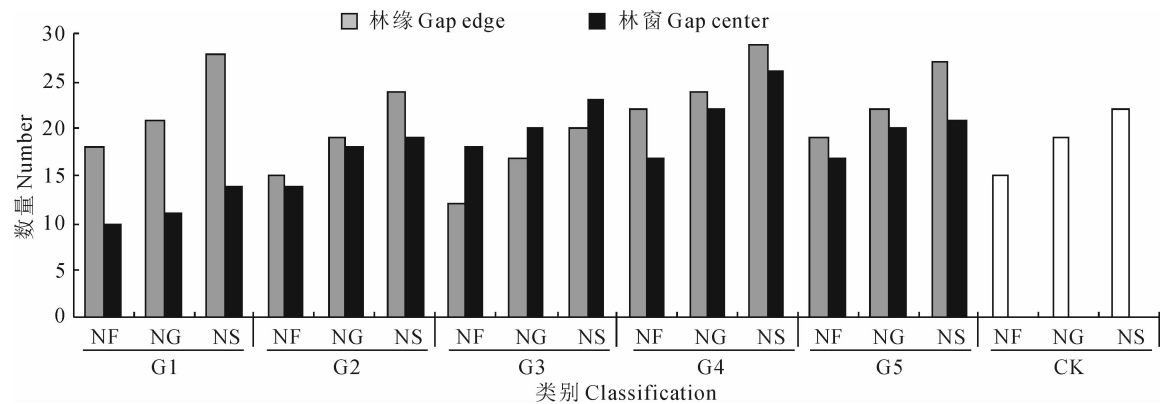


图 1 柳杉人工林不同大小林窗中灌木层物种组成

G1~G5 表示不同大小面积的林窗:G1. 50~100 m²;G2. 100~150 m²;G3. 200~250 m²;
G4. 400~450 m²;G5. 600~650 m²;CK. 林下对照;NF. 科数;NG. 属数;NS. 种数;下同

Fig. 1 Composition of shrub community in different sizes of forest gaps in the investigated

C. fortunei plantation. G1—G5 represent gaps with different sizes

G1. 50—100 m²;G2. 100—150 m²;G3. 200—250 m²;G4. 400—450 m²;G5. 600—650 m²;CK. Control (closed canopy);
NF. Number of family;NG. Number of genus;NS. Number of species;the same as below

树种组成产生了影响;在大林窗中,出现了亮叶桦等喜光树种,同时在 G4 林窗中,林窗中心及林缘杉木的重要值分别高达 0.213 9 及 0.293 9。这说明大林窗能促进亮叶桦、杉木等树种更新。更新层亮叶桦、柳杉及杉木幼苗重要值的大小顺序为:林窗中心>林缘>林下。在草本层中,蕨类植物是各层次群落内绝对优势物种,在 G5 林窗中,林窗中心及林缘蕨类植物重要值分别高达 0.453 7 和 0.416 2。

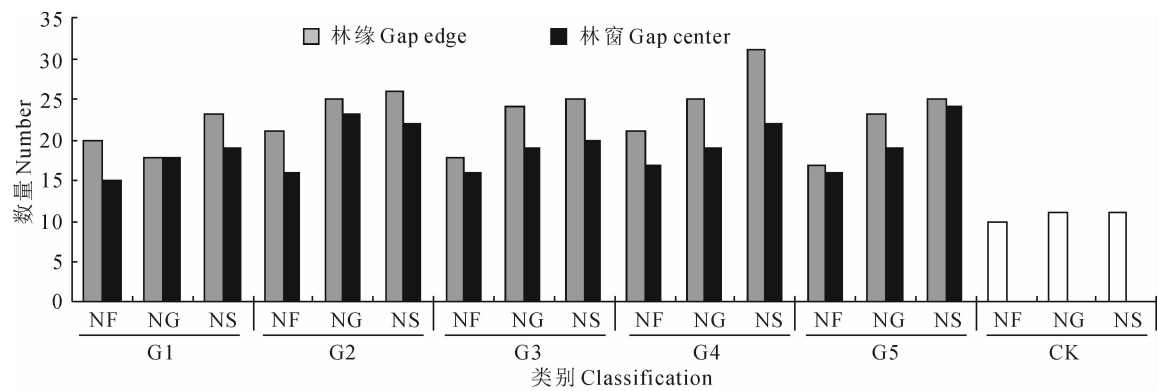


图2 柳杉人工林不同大小林窗中草本层物种组成

Fig. 2 Composition of herbaceous community in different sizes of forest gaps in the investigated *C. fortunei* plantation

表2 柳杉人工林不同大小林窗各层次优势种的重要值

Table 2 Important value for the dominant species in different sizes of forest gaps in the investigated *C. fortunei* plantation

层次 Layer	类别 Classification	各层次优势种及重要值之和 The dominant species and sum of important value at all levels
灌木层 The shrub layer	G1 林缘 GE	野桐+柳杉 <i>M. japonicus</i> var. <i>floccosus</i> + <i>C. fortunei</i> (0.232 7)
	G1 林窗 GC	野漆+野桐 <i>T. succedaneum</i> + <i>M. japonicus</i> (0.201 7)
	G2 林缘 GE	野桐+柳杉 <i>M. japonicus</i> + <i>C. fortunei</i> (0.292 3)
	G2 林窗 GC	木姜子+亮叶桦 <i>Litsea pungens</i> + <i>B. luminiifera</i> (0.342 1)
	G3 林缘 GE	山茶+杉木 <i>Camellia japonica</i> + <i>C. lanceolata</i> (0.302 6)
	G3 林窗 GC	杉木+野桐 <i>C. lanceolata</i> + <i>M. japonicus</i> var. <i>floccosus</i> (0.264 9)
	G4 林缘 GE	杉木 <i>C. lanceolata</i> (0.213 9)
	G4 林窗 GC	杉木+高粱泡 <i>C. lanceolata</i> + <i>Rubus lambertianus</i> (0.293 9)
	G5 林缘 GE	木姜子+亮叶桦 <i>L. pungens</i> + <i>B. luminiifera</i> (0.221 6)
	G5 林窗 GC	杉木+柳杉 <i>C. lanceolata</i> + <i>C. fortunei</i> (0.287 3)
草本层 The herb layer	CK	寒莓+杉木 <i>Rubus buergeri</i> + <i>C. lanceolata</i> (0.213 2)
	G1 林缘 GE	蕨+黑足鳞毛蕨+狗脊 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>Dryopteris fuscipes</i> + <i>Woodwardia japonica</i> (0.263 4)
	G1 林窗 GC	蕨+书带蕨 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>Vittaria flexuosa</i> (0.521 5)
	G2 林缘 GE	蕨+黑足鳞毛蕨+里白 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>D. fuscipes</i> + <i>Hicriopteris glauca</i> (0.249 6)
	G2 林窗 GC	蕨+书带蕨 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>V. flexuosa</i> (0.365 4)
	G3 林缘 GE	蕨+书带蕨 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>V. flexuosa</i> (0.220 4)
	G3 林窗 GC	蕨+书带蕨 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>V. flexuosa</i> (0.533 4)
	G4 林缘 GE	蕨+里白+紫萁 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>H. glauca</i> + <i>Osmunda japonica</i> (0.164 7)
	G4 林窗 GC	蕨+书带蕨+肾蕨 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>V. flexuosa</i> + <i>Nephrolepis auriculata</i> (0.487 1)
	G5 林缘 GE	蕨+书带蕨+黑足鳞毛蕨 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>V. flexuosa</i> + <i>D. fuscipes</i> (0.416 2)
	G5 林窗 GC	蕨+书带蕨+黑足鳞毛蕨 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>V. flexuosa</i> + <i>D. fuscipes</i> (0.453 7)
	CK	蕨+里白+紫萁 <i>P. aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> + <i>H. glauca</i> + <i>O. japonica</i> (0.347 8)

注:GE. 林缘指林窗边缘;GC. 林窗指林窗中心;下同。

Note:GE. Gap edge;GC. Gap centre. The same as below.

3.2 林窗对柳杉人工林群落物种多样性的影响

3.2.1 物种丰富度指数 不同大小及梯度的林窗各层次的 D 值不同(表 3)。在灌木层中,当面积大小为 G4 时,群落 D 值达到较高值,但整体上,各林窗内 D 值差距不是很大。不同梯度林窗对物种丰富度指数会产生影响,表现为林缘、林窗中心>林下。这是因为林窗的存在使得林内光照增加,水分等环境发生改变,能促进林下的一些喜光物种的萌发与生长,从而丰富了林内的物种数;在草本层中,随着林窗面积的增大, D 值表现为先增加后减少的趋势且在 G3、G4 林窗中达到较高值,不同梯度的林窗内物种丰富度指数差距较大,表现为林缘的 D 值远高于林窗中心及林下。整体来看,灌木层的丰富度指数要略高于草本层,这可能是因为草本层中蕨类植物耐荫性较好,在林下环境中便有更强大的生命力,占据大多数生存生长空间,从而会对其他草本植物的生长产生一定的竞争抑制作用,使得草本层丰

富度指数降低。

3.2.2 Simpson 优势度指数 H' 值表示群落物种的不定性,当其值越大时说明群落内物种分布的不均匀程度越高^[21]。由表 3 结果可知,在灌木层中,随着林窗面积增大,各林窗 H' 值会呈现出降低趋势,这表明,大林窗内物种分布更加稳定;在草本层中,随着林窗面积的增大,各林窗内 H' 值会先增高后降低。不同梯度下群落 H' 值差距较大,表现为林缘、林窗中心>林下,这表明在草本层中,林窗内物种分布更加不均匀,林窗的存在会使得群落物种的不定性增加。

3.2.3 Shannon-Wiener 物种多样性指数 H 值表示群落中物种的多样性程度,表 3 数据表明,林窗能提高群落物种多样性程度。各梯度 H 值表现为林缘、林窗中心>林下。在灌木层中,林窗中心与林缘物种 H 值均是在 G4 林窗内达到一个较大值,说明在 G4 林窗能更好的提高群落的物种多样性水

表 3 柳杉人工林不同大小林窗中各层物种多样性指数

Table 3 Diversity indexes for different plant communities in differing sizes of forest gaps in the investigated *C. fortunei* plantation

层次 Layer	类别 Classification	物种丰富度指数 D	Simpson 优势度指数 H'	Shannon-Wiener 多样性指数 H	Pielou 均匀度指数 J_{sw}	
灌木层 The shrub layer	G1	林缘 GE	15.000 0±1.154 7a	0.890 0±0.005 7a	2.422 3±0.064 8a	0.896 6±0.006 6a
		林窗 GC	11.666 7±2.333 3a	0.821 9±0.076 4a	2.094 7±0.363 0a	0.855 6±0.076 8
	G2	林缘 GE	13.333 3±2.666 7a	0.766 1±0.122 9a	1.992 1±0.417 0a	0.764 9±0.104 0a
		林窗 GC	11.666 7±1.453 0a	0.830 4±0.033 1a	2.067 5±0.166 3a	0.845 2±0.034 0a
	G3	林缘 GE	10.333 3±0.333 3a	0.811 3±0.017 5a	1.951 3±0.054 5a	0.835 6±0.014 4a
		林窗 GC	14.333 3±2.185 8a	0.824 3±0.012 4a	2.035 0±0.069 4a	0.779 7±0.064 9a
	G4	林缘 GE	13.000 0±1.154 7a	0.829 5±0.048 7a	2.157 8±0.202 0a	0.840 6±0.052 9a
		林窗 GC	15.333 3±2.027 6a	0.824 5±0.034 0a	2.291 0±0.218 9a	0.840 7±0.040 2a
	G5	林缘 GE	12.333 3±1.453 0a	0.819 8±0.038 5a	2.036 8±0.210 6a	0.812 4±0.054 0a
		林窗 GC	11.000 0±1.527 5a	0.782 2±0.083 5a	1.919 3±0.256 5a	0.805 0±0.092 2a
	CK		11.000 0±1.154 7a	0.824 9±0.038 6a	2.003 3±0.182 3a	0.839 5±0.065 3a
	草本层 The herb layer	G1	林缘 GE	12.333 3±1.201 9a	0.854 9±0.014 4a	2.222 4±0.093 7a
林窗 GC			7.666 7±1.201 9a	0.775 8±0.036 5a	1.692 1±0.164 6ab	0.837 7±0.022 2a
G2		林缘 GE	13.333 3±0.881 9a	0.882 7±0.016 9a	2.353 8±0.093 6a	0.909 7±0.019 8a
		林窗 GC	10.333 3±1.333 3a	0.799 5±0.020 0a	1.930 5±0.040 6a	0.835 9±0.039 0a
G3		林缘 GE	15.000 0±0.577 4a	0.882 4±0.022 7a	2.422 1±0.105 8a	0.894 9±0.036 3a
		林窗 GC	9.333 3±2.403 7a	0.537 7±0.091 1a	1.232 1±0.178 7a	0.583 7±0.105 1a
G4		林缘 GE	13.666 7±0.881 9a	0.835 9±0.053 0a	2.228 2±0.203 7a	0.850 6±0.057 9a
		林窗 GC	8.333 3±1.201 9a	0.754 7±0.047 3ab	1.646 4±0.191 1ab	0.782 0±0.053 6a
G5		林缘 GE	12.333 3±0.881 9a	0.812 8±0.055 7a	2.072 9±0.201 9a	0.824 1±0.063 1a
		林窗 GC	10.000 0±0.577 4a	0.780 7±0.009 4a	1.831 2±0.059 2ab	0.796 2±0.006 0a
CK		7.333 3±0.881 9b	0.661 6±0.021 7a	1.378 7±0.072 8a	0.697 9±0.017 1a	

注:不同小写字母表示不同林窗各层次间的数据差异显著($P<0.05$)。

Note; Difference lowercase letters indicate significant differences between different sizes of forest gaps for a specific plant community ($P<0.05$).

平;在草本层中,整体而言,各群落物种 H 值在 G2 林窗内达到一个较高水平,这与灌木层结果有所不同。究其原因,小林窗内的环境较林下虽有差异但不大,当林窗达到 G4 水平时,林下光照等环境因子发生很大改变,对灌木层物种便造成了直接影响,使得林内一些喜光物种得以萌发,因此群落物种多样性提高,但当面积再继续增大时,林地过于空旷,其形成的立地条件便不利于群落的发展;草本层直接处于灌木树种之下,由于灌木层的屏障作用,林窗面积的变化对其微生境的影响会被削弱,因此其多样性指数随林窗大小变化而变化的情况与灌木层有所不同。

3.2.4 Pielou 均匀度指数 J_{sw} 值反映物种数目的变化和种群个体分布格局的变化。它受到 H 值和 S 值的共同作用,一般而言, H 值和 S 值越大, J_{sw} 值越大^[22]。结果表明(表 3),在灌木层中,不同面积大小林窗下各群落均匀度指数不同,呈无明显波动状态,在 G1、G4 林窗中物种 J_{sw} 值较高,说明在这两种林窗面积下群落物种分布更为均匀;在草本层中,群落物种的 J_{sw} 值随林窗面积的增大表现为先增高后降低趋势,且各面积下存在较大差异。整体上看,在 G2 林窗中,群落物种均匀度指数达到最大值。不同梯度的林窗的 J_{sw} 值均为林缘 > 林窗中心 > 林下,在 G2 林窗中各梯度 J_{sw} 值差距最为明显。

4 讨 论

群落重要值及科属种组成是反映群落中植物与环境之间的相互关系及林分对异质资源的利用、对不林地立地条件的不同。柳杉与马尾松相比,其幼龄能耐耐荫,但抗瘠性却不如马尾松强,因此最适林窗面积比马尾松人工林要小,而与辽东栎等其他阔叶树种相比,其生理生态习性更是有着较大差异。

柳杉人工林作为中国面积较大的人工林之一,为中国亚热带地区的经济、生态及森林文化的建设做出了巨大贡献。对于柳杉人工林经营而言,应抛弃以往单层纯林大面积种植的不科学方法,可以合理利用近自然理论进行人为开窗,促进林分内目的树种的更新,提高其物种多样性,从而实现柳杉人工

同干扰适应情况的重要依据之一^[20-22]。胡蓉等^[23]通过对云杉人工林研究发现林窗能促进林下幼苗更新及种子的萌发,本研究中林窗内杉木、亮叶桦及柳杉树种重要值较高,占据优势地位,说明林窗能促进林木的更新,这也与上述研究结果相一致;张吕醉等^[13]通过对马栏区辽东栎林研究发现,大林窗有利于林下其喜光物种的更新,本研究出现了相一致的结果:在 G4、G5 大林窗中,出现了亮叶桦等喜光树种的幼苗,随着群落演替的进行,若加以适当人工抚育,该群落可能会发展成为亮叶桦、杉木及柳杉的混交林,同时可将这些树种作为新的目的树种进行培育;在草本层中,蕨类植物均处于优势地位,这说明该种植物更能适应林下环境资源的变化,可能对群落演替更新具有重要作用。

林窗干扰的存在会导致林下资源环境的改变,从而使群落物种多样性的增加,这也是群落在生态系统水平上对林窗干扰的一种适应对策^[15]。林窗的存在会明显增加群落物种多样性,同时存在一个最适林窗面积能较好的促进群落物种多样性提高及利于人工林可持续经营^[10-11]。本研究中,群落内 D 值、 H 值和 J_{sw} 值均表现为林窗 > 林下,这与大多研究结果一致^[6-7,16];柳杉人工林最适林窗面积为 400~450 m²,这一面积与崔宁洁等^[10]所得出的 1 225~1 600 m² 的马尾松人工林最适林窗面积、周东等^[11]所得的 75~100 m² 辽东栎林最适林窗面积有不同。原因可能是研究地的营林树种种类的差异及

林的可持续经营。就本研究而言可对自然更新的亮叶桦、杉木等树种的幼苗加以保护,增加其与柳杉的混交比例,以营造出一个多样性稳定性高、经济与生态协同可持续发展的人工林生态系统。目前本研究仅仅是对不同大小及梯度的林窗中群落物种组成、树种更新及物种多样性情况进行了探究,所得结论还不够全面,下一步将会在林窗形状、分布密度对群落结构、树种更新及物种多样性的影响上进行全面深入的研究,从而得出更为系统性、科学性的结论,为中国人工林的可持续发展提供好的借鉴。

参考文献:

- [1] MA K P(马克平). Studies on biodiversity and ecosystem function via manipulation experiments[J]. *Biodiversity Science*(生物多样性), 2013, **21**(3): 247-248(in Chinese).
- [2] LI T T(李婷婷), LU Y CH(陆元昌), PANG L F(庞丽峰), *et al.* Initial effect of close-to-nature management of Chinese fir plantation[J]. *Scientia Silvae Sinicae*(林业科学), 2014, **50**(5): 90-100(in Chinese).

- [3] NAGAIKE T, HAYASHI A, ABE M, *et al.* Differences in plant species diversity in *Larix kaempferi* plantations of different ages in central Japan[J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 183: 177–193.
- [4] VERMA R K, KAPOOR K S, RAWAT R S, *et al.* Analysis of plant diversity in degraded and plantation forests in Kunihar forest division of Himachal Pradesh[J]. *Indian Journal of Forestry*, 2005, 28: 11–16.
- [5] 陆元昌. 近自然森林经营的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 24–34.
- [6] QIN X W(秦晓威), LI G(李 刚), WANG D X(王得祥), *et al.* Effects of forest gap on herbaceous plant diversity in mixed birch-fir forest of Taibai Mountain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报)*, 2010, 21(10): 2 494–2 500(in Chinese).
- [7] CUI N J(崔宁洁), ZHANG D J(张丹桔), LIU Y(刘 洋), *et al.* Plant diversity and seasonal dynamics in forest gaps of varying sizes in *Pinus massoniana* plantations[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology(植物生态学报)*, 2014, 38(5): 477–490(in Chinese).
- [8] TAN H(谭 辉), ZHU J J(朱教君), KNAG H ZH(康宏樟), *et al.* A research review on forest gap disturbance[J]. *Chinese Journal of Ecology(生态学杂志)*, 2007, 26(4): 587–594(in Chinese).
- [9] WANG SH ZH(贺书珍), WANG D X(王得祥), YANG G H(杨改河), *et al.* Effects of local and regional processes on herbaceous plant assemblages in the *Betula utilis* forest gaps of Taibai Mountain[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2012, 32(1): 180–186(in Chinese).
- [10] CUI N J(崔宁洁), ZHANG D J(张丹桔), LIU Y(刘 洋), *et al.* Plant diversity and seasonal dynamics in forest gaps of varying sizes in *Pinus massoniana* plantations[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology(植物生态学报)*, 2014, 38(5): 477–490(in Chinese).
- [11] ZHOU D(周 东), LIU G B(刘国彬). Effects of forest gap on plant diversity of natural *Quercus liaotungensis* community in the Ziwluling Mountain of the loess plateau[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin(中国农学通报)*, 2010, 26(22): 91–98(in Chinese).
- [12] TIAN CH(田 超), YANG X B(杨新兵), LIU Y(刘 阳). Edge effect and its impacts on forest ecosystem: a review[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报)*, 2011, 22(8): 2 184–2 192(in Chinese).
- [13] ZHANG L Z(张吕醉), WANG X A(王孝安), GUO H(郭 华), *et al.* Gap characteristics and its effects on community regeneration of *Quercus liaotungensis* forest on Loess Plateau[J]. *Chinese Journal of Ecology(生态学杂志)*, 2008, 27(11): 1 835–1 840(in Chinese).
- [14] XU Q(许 强), BI R CH(毕润成), ZHANG Q D(张钦弟), *et al.* Dynamic patterns of species diversity in gaps of *Larix principis-rupprechtii* plantation in Pangquanguo in Shanxi Province, China[J]. *Chinese Journal of Ecology(生态学杂志)*, 2014, 33(11): 2 913–2 920(in Chinese).
- [15] WANG ZH P(王周平), LI X G(李旭光), SHI SH Y(石胜友), *et al.* A comparison study on the species diversity between the gap and non-gap in Jinyuan Mountain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报)*, 2013, 14(1): 7–10(in Chinese).
- [16] ZHOU D(周 东), LIU G B(刘国彬). Effects of forest gap on plant diversity of natural *Quercus liaotungensis* community in the Ziwluling Mountain of the Loess Plateau[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin(中国农学通报)*, 2010, 26(22): 91–98(in Chinese).
- [17] CUI N J(崔宁洁), LIU Y(刘 洋), ZHANG J(张 健), *et al.* Effects of forest gap on plant diversity of *Pinus massoniana* plantations[J]. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.* (应用与环境生物学报), 2014, 20(1): 8–14(in Chinese).
- [18] RUNKH J R. pattern of disturbance in some old-growth mesic forests of eastern North America[J]. *Ecology*, 1982, 63: 53–54.
- [19] XIAN J R(鲜骏仁), HU T X(胡庭兴), WANG K Y(王开运), *et al.* Characteristics of gap in subalpine coniferous forest in Western Sichuan[J]. *Chinese Journal of Ecology(生态学杂志)*, 2004, 23(3): 6–10(in Chinese).
- [20] HAO J F(郝建锋), WANG D Y(王德艺), TANG Y B(唐永彬), *et al.* Effects of human disturbance on species diversity of *Pinus massoniana* plantation in Jiangyou district, Sichuan Province[J]. *Ecology and Environmental Sciences(生态环境学报)*, 2014, 23(5): 729–735(in Chinese).
- [21] HAO J F(郝建锋), WANG D Y(王德艺), LI Y(李 艳), *et al.* Effects of human disturbance on species diversity of *Phoebe Zhennan* Communitis in Jinfengshan Mountain in Western Sichuan[J]. *Acta Ecologica Sinica(生态学报)*, 2014, 34(23): 6 930–6 942(in Chinese).
- [22] WEHENKEL C, CORRAL-RIVAS J J, GADOW K V. Quantifying differences between ecosystems with particular reference to selection forests in Durango, Mexico[J]. *Forest Ecology and Management*, 2014, 316: 117–124.
- [23] HU R(胡 蓉), LIN B(林 波), LIU Q(刘 庆). Effects of forest gaps and litter on the early regeneration of *Picea asperata* plantations[J]. *Scientia Silvae Sinicae(林业科学)*, 2011, 47(6): 24–29(in Chinese).

(编辑: 潘新社)