

# 福建天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林林窗的物种构成和边缘效应分析

李苏闽<sup>1</sup>, 何东进<sup>1,①</sup>, 覃德华<sup>2</sup>, 游巍斌<sup>1</sup>, 肖石红<sup>1</sup>, 刘进山<sup>3</sup>

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471003;

3. 福建天宝岩国家级自然保护区, 福建 永安 366032)

**摘要:** 在福建天宝岩国家级自然保护区内的长苞铁杉(*Tsuga longibracteata* W. C. Cheng)纯林和长苞铁杉-阔叶树混交林中选择处于不同发育阶段的 24 个林窗, 对各林窗中心区、边缘区和非林窗区的物种数、个体数、Shannon-Wiener 指数( $D$ )和 Simpson 指数( $C$ )进行分析, 并据此对各林型林窗的边缘效应指数  $E_d$  和  $E_c$  进行比较。结果表明: 2 种林型林窗的物种数和个体数均随林窗的发育进程逐渐增加, 且在林窗的不同区域也有一定差异, 总体上在林窗边缘区最高、在非林窗区最低; 混交林林窗各区域的物种数和个体数均高于长苞铁杉纯林。2 种林型林窗不同发育阶段及不同区域间的  $D$  和  $C$  值存在一定差异; 2 种林型林窗的中心区和非林窗区的  $D$  值均随发育进程逐渐增大, 而林窗边缘区的  $D$  值则在发育前期最高, 且各发育阶段林窗中心区和边缘区的  $D$  值均高于非林窗区; 纯林林窗不同区域的  $C$  值在发育中期最低, 发育前期和后期略高; 而混交林林窗中心区和非林窗区的  $C$  值则随发育进程逐渐减小, 林窗边缘区的  $C$  值则随发育进程逐渐增大。2 种林型林窗的  $E_d$  值均随发育进程逐渐减小,  $E_c$  值则随发育进程逐渐增大; 其中, 林窗发育前期的  $E_d$  和  $E_c$  值与发育中期和后期的  $E_d$  和  $E_c$  值差异显著( $P < 0.05$ ), 且混交林林窗不同发育阶段的  $E_d$  值均高于纯林, 而其  $E_c$  值则低于纯林。综合分析结果显示: 长苞铁杉纯林和长苞铁杉-阔叶树混交林的林窗均具有明显的边缘效应, 且边缘效应的强度与林窗面积和林型相关; 混交林林窗的边缘效应一定程度上高于纯林, 表明混交林的林窗更有利于林分更新和树木生长。

**关键词:** 长苞铁杉; 林型; 林窗; 物种构成; 物种多样性; 边缘效应

中图分类号: Q948.15; S754 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2015)04-0089-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.04.12

**Analyses on species composition and edge effect of forest gap of *Tsuga longibracteata* forest in Tianbaoyan National Nature Reserve of Fujian** LI Sumin<sup>1</sup>, HE Dongjin<sup>1,①</sup>, QIN Dehua<sup>2</sup>, YOU Weibin<sup>1</sup>, XIAO Shihong<sup>1</sup>, LIU Jinshan<sup>3</sup> (1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. College of Agricultural, He'nan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China; 3. Tianbaoyan National Nature Reserve of Fujian, Yong'an 366032, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(4): 89-96

**Abstract:** In *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng pure forest and *T. longibracteata*-broadleaved tree mixed forest in Tianbaoyan National Nature Reserve of Fujian, 24 forest gaps at different developmental stages were selected, and species number, individual number, Shannon-Wiener index ( $D$ ) and Simpson index ( $C$ ) in central, marginal and non-forest gap zones of these forest gaps were analyzed, and hereby, edge effect index  $E_d$  and  $E_c$  of forest gap of different stands were compared. The results show that numbers of species and individuals in forest gap of two stand types increase gradually with development process of forest gap, and there is also a certain difference in different forest gap zones, as a whole, those are the highest in marginal zone of forest gap and the lowest in non-forest gap zone. Numbers of species

收稿日期: 2015-04-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31370624; 41301203); 高等学校博士学科点专项科研基金(20103515110005); 福建省自然科学基金项目(2008J0116; 2011J01071); 国家级大学生创新训练计划项目(111zc3009)

作者简介: 李苏闽(1990—),男,江苏启东人,硕士研究生,主要从事自然地理学方面的研究。

①通信作者 E-mail: fjhdj1009@126.com

and individuals in different forest gap zones of mixed forest are higher than those of *T. longibracteata* pure forest. There is a certain difference in  $D$  and  $C$  values among different developmental stages and different zones of forest gap of two stand types.  $D$  value in central and non-forest gap zones of forest gap of two stand types increases gradually with development process, while that in marginal zone of forest gap is the highest at early stage, and  $D$  values in central and marginal zones of forest gap at different developmental stages are higher than those in non-forest gap zone.  $C$  value in different zones of forest gap of pure forest is the lowest at middle stage, and slightly higher at early and later stages, while  $C$  value in central and non-forest gap zones of mixed forest decreases gradually and that in marginal zone of forest gap increases gradually with development process. With development process,  $E_D$  value of forest gap of two stand types decreases gradually and  $E_C$  value increases gradually, in which,  $E_D$  and  $E_C$  values at early stage are significantly different to those at middle and later stages ( $P < 0.05$ ).  $E_D$  value of forest gap at different developmental stages of mixed forest is higher than that of pure forest, while its  $E_C$  value is lower than that of pure forest. The comprehensive analysis result indicates that there are obvious edge effects of forest gaps of *T. longibracteata* pure forest and *T. longibracteata*-broadleaved tree mixed forest, and the strength of edge effect is related to forest gap area and stand type. Edge effect of forest gap of mixed forest is higher than that of pure forest in some degree, indicating that forest gap of mixed forest is more beneficial to stand renewing and tree growing.

**Key words:** *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng; stand type; forest gap; species composition; species diversity; edge effect

林窗 (forest gap) 是指因林冠层树木死亡或其他原因 (如火灾、台风、干旱等) 而造成的林冠层空窗现象, 它是森林进行自我生长和更新的潜在空间和重要途径<sup>[1]</sup>。森林与林窗的结合部分为林窗边缘区, 由于林窗边缘区环境变化差异较大, 而且边缘区内各种植物在生长和竞争等过程中存在明显差异, 造成林窗边缘区的物种组成和配置等呈现明显的异质性, 出现明显的边缘效应。林窗边缘区的边缘效应不仅对森林生态系统的动态平衡和更新有较大影响, 而且为森林物种多样性提高以及幼苗和幼树的更新提供了重要生境。由于不同森林群落在群落类型、物种组成及数量变化等方面存在动态差异, 导致各群落的林窗效应出现异质性, 因此, 对不同类型群落的林窗及其边缘效应进行研究具有非常重要的生态学意义<sup>[2-5]</sup>。20世纪70年代以来, 随着森林生态平衡和生物多样性研究的深入, 国内关于森林群落林窗及其边缘效应的研究也取得了一定的研究成果<sup>[6-9]</sup>。

长苞铁杉 (*Tsuga longibracteata* W. C. Cheng) 为松科 (Pinaceae) 铁杉属 (*Tsuga* Carr.) 乔木, 为中国特有的珍稀濒危植物之一, 系第四纪冰川期的遗留物种; 不仅是中国亚热带地区典型的扁平叶型常绿针叶林树种, 还是铁杉属长苞铁杉组 (Sect. *Heopeuce* Keng) 在中国分布的惟一种类<sup>[10]</sup>。长苞铁杉分布于福建、广东、湖南、江西、广西、贵州等省份的中亚热带山地中, 其主要分布区位于南岭山地和戴云山脉山

区, 呈明显的斑块状分布<sup>[11]</sup>。长苞铁杉为阳性树种, 常与其他针阔叶树种或针叶树种组成混交林, 且多为林冠上层的大乔木, 但其在林下更新比较困难<sup>[12]</sup>, 为此, 本课题组自2004年以来围绕长苞铁杉的更新问题进行了大量的研究工作<sup>[12-15]</sup>。

林窗是森林树种幼苗存活和更新的有效场所, 对长苞铁杉种群的天然更新具有重要作用, 目前, 有关长苞铁杉的林隙干扰和物种更新已有研究报道<sup>[16]</sup>, 但有关不同林型和发育阶段长苞铁杉林的林窗差异及其更新机制尚不明确。为了揭示不同林型长苞铁杉林的林窗边缘效应性质和特征, 在前期对福建天宝岩国家级自然保护区内不同林型长苞铁杉林的植被更新、数量特征及环境因子等进行调查和研究<sup>[12-15, 17]</sup>的基础上, 作者以同一区域内长苞铁杉纯林和长苞铁杉-阔叶树混交林的24个林窗为研究对象, 对它们的物种多样性水平和林窗边缘效应强度进行比较分析, 以期对长苞铁杉林群落生态系统的保护和更新研究以及森林培育和优化管理提供科学依据。

## 1 研究区自然概况和研究方法

### 1.1 研究区自然概况

福建天宝岩国家级自然保护区位于福建省永安市东部, 地理坐标为北纬  $25^{\circ}50'51'' \sim 26^{\circ}01'20''$ 、东经  $117^{\circ}28'03'' \sim 117^{\circ}35'28''$ , 地处中亚热带南缘的戴云

山余脉,为典型的中低山地貌。保护区总面积 11 015.38 hm<sup>2</sup>,其中,实验区、核心区和缓冲区面积分别为 4 936、3 402 和 2 680 hm<sup>2</sup>,森林覆盖率 96.8%;最高海拔 1 604.6 m。属中亚热带海洋性季风气候,年均温约 15 ℃,最热月(7 月份)均温 23 ℃,绝对最高温度 40 ℃;最冷月(1 月份)均温 5 ℃,绝对最低温度 -11 ℃;年降水量约 2 000 mm,多集中在 5 月份至 9 月份,年无霜期 290 d,空气相对湿度达 80% 以上。区内海拔 1 350 m 以上为黄壤,海拔 800 ~ 1 350 m 为黄红壤,海拔 800 m 以下为红壤。保护区内物种丰富,分布着许多中国中亚热带地区的典型植被类型,保留了大面积的长苞铁杉林,约占保护区总面积的 10.71%<sup>[17-18]</sup>。

## 1.2 研究方法

在不同海拔的长苞铁杉林中分散选取不同面积、林型和发育阶段的林窗共 24 个,总面积达 3 266 m<sup>2</sup>,各林窗的详细情况见表 1。其中,长苞铁杉纯林和长

苞铁杉-阔叶树混交林各 12 个林窗,每种林型均包含发育前期、中期和后期的林窗各 4 个。

对每个林窗分别进行调查,记录各林窗的环境特征和物种性质,并对林窗边界处的大乔木进行每木调查。分别测量每个林窗边界处距离最远的 2 株乔木间的距离(即椭圆形的长轴)及与之垂直的 2 株乔木间的距离(即椭圆形的短轴),并采用椭圆法<sup>[19]</sup>计算林窗面积。根据林窗的形成时间(依据形成木与断桩的腐烂程度进行估测)和林窗内部各层次植被的物种组成和生长情况,并参照 Dirzo 等<sup>[20]</sup>和 Knapp<sup>[21]</sup>的方法将林窗划分为 3 个发育期,分别为前期、中期和后期。参照洪伟等<sup>[9]</sup>的划分标准,在每个林窗中分别设立中心区、边缘区及非林窗区(距林窗边缘 10 m);在每个区域中划定 3 个面积 4 m×4 m 的样方,调查并记录样方中乔木(树高大于 3 m)和灌木(树高小于 3 m)的种类、个体数、胸径、树高和冠幅等,并统计样方中草本植物的种类、个体数和盖度等。

表 1 福建天宝岩国家级自然保护区内不同林型长苞铁杉林 24 个林窗的基本特征

Table 1 Basic characters of 24 forest gaps of different stand types of *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng in Tianbaoyan National Nature Reserve of Fujian

编号 No.	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向/(°) <sup>1)</sup> Aspect <sup>1)</sup>	面积/m <sup>2</sup> Area	林型 <sup>2)</sup> Stand type <sup>2)</sup>	发育阶段 Developmental stage
1	1 533	15	102.95	87	PF	后期 Later stage
2	1 535	18	221.63	113	PF	中期 Middle stage
3	1 348	21	105.45	158	MF	前期 Early stage
4	1 324	14	218.92	146	MF	前期 Early stage
5	1 463	23	93.88	154	PF	前期 Early stage
6	1 247	20	132.34	117	MF	中期 Middle stage
7	1 181	26	151.29	202	MF	前期 Early stage
8	1 216	22	144.46	132	MF	中期 Middle stage
9	1 155	11	121.38	112	MF	后期 Later stage
10	1 212	16	157.22	148	MF	中期 Middle stage
11	1 178	25	158.90	93	MF	后期 Later stage
12	1 474	16	211.65	128	MF	后期 Later stage
13	1 422	18	156.45	187	PF	前期 Early stage
14	1 507	13	122.92	134	PF	前期 Early stage
15	1 519	21	108.79	129	PF	中期 Middle stage
16	1 483	15	119.21	142	PF	中期 Middle stage
17	1 452	11	187.36	128	PF	后期 Later stage
18	1 437	20	133.92	95	PF	后期 Later stage
19	1 292	24	124.77	182	MF	前期 Early stage
20	1 127	23	170.75	143	MF	中期 Middle stage
21	1 412	18	173.56	116	PF	后期 Later stage
22	1 513	19	168.43	166	PF	前期 Early stage
23	1 305	17	142.57	121	MF	后期 Later stage
24	1 456	23	153.69	133	PF	中期 Middle stage

<sup>1)</sup>坡向是以正北方向为 0°,按顺时针方向折算获得 Aspect is obtained by conversion with clockwise and regarding the north as 0°.

<sup>2)</sup>PF: 长苞铁杉纯林 *T. longibracteata* pure forest; MF: 长苞铁杉-阔叶树混交林 *T. longibracteata*-broadleaved tree mixed forest.

### 1.3 相关指标的计算方法

分别用 Shannon-Wiener 指数 ( $D$ )、Simpson 指数 ( $C$ ) 和边缘效应指数 ( $E$ ) 衡量林窗内各区域的物种多样性和生态优势度以及林窗的边缘效应强度, 其中, 根据  $D$  值计算出的边缘效应指数为  $E_D$ , 根据  $C$  值计算出的边缘效应指数为  $E_C$ 。各指标计算公式如下:

$D = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ ;  $C = \sum_{i=1}^S P_i^2$ ;  $E = my / \sum_{i=1}^m y_i$ 。式中,  $S$  为物种数;  $P_i$  为第  $i$  个物种的相对多度 (即第  $i$  种的个体数占个体总数的比例);  $m$  为形成交错区的区域数量;  $y$  为在  $m$  个群落形成的交错区里度量群落内种群结构和数量的定量指标, 计算  $E_D$  时  $y$  为  $D$ , 计算  $E_C$  时  $y$  为  $C$ ;  $y_i$  为第  $i$  个区域中度量群落内种群结构和数量的定量指标, 计算  $E_D$  时  $y_i$  为  $D_i$ , 计算  $E_C$  时  $y_i$  为  $C_i$ 。

采用 SPSS 21.0 数据分析软件对不同发育阶段林窗的  $E_D$  和  $E_C$  值进行差异显著性分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同林型林窗的物种构成差异分析

对长苞铁杉纯林林窗的物种构成调查结果显示: 在长苞铁杉纯林的林窗中, 长苞铁杉为绝对优势种,

其他树种多为伴生种, 从而导致群落中乔木种类和个体数均较少。由于光照条件有利, 林窗中心区分布喜阳植物, 如长苞铁杉和木荷 (*Schima superba* Gardn. et Champ.) 等乔灌木的幼苗及狗脊 [*Woodwardia japonica* (Linn. f.) Sm.] 和里白 [*Hicriopteris glauca* (Thunb.) Ching] 等草本植物。林窗边缘区处于林窗中心区和非林窗区的过渡地带, 因而 2 个区域的物种都能够在林窗边缘区生长, 常见树种有木荷、细齿叶柃 (*Eurya nitida* Korthals)、甜槠 [*Castanopsis eyrei* (Champ.) Tutch.] 和荚蒾 (*Viburnum dilatatum* Thunb.) 等植物。

长苞铁杉-阔叶树混交林的林窗环境与长苞铁杉纯林具有一定的相似性, 其林窗也以长苞铁杉为优势种, 但群落的物种组成与长苞铁杉纯林有一定差异。在长苞铁杉-阔叶树混交林的林窗中, 乔木种类数和个体数均比长苞铁杉纯林多, 常见树种主要有青冈 [*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.]、米槠 [*Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hay.] 和柯 [*Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai] 等。

在长苞铁杉纯林和长苞铁杉-阔叶树混交林林窗的不同发育阶段, 林窗不同区域的物种数和个体数统计结果分别见表 2 和表 3。结果显示: 在长苞铁杉纯

表 2 福建天宝岩国家级自然保护区内长苞铁杉纯林林窗的不同发育阶段各区域的物种数和个体数的统计结果

Table 2 Statistic result of numbers of species and individuals in different zones at different developmental stages of forest gap of *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng pure forest in Tianbaoyan National Nature Reserve of Fujian

林窗的发育阶段和编号 Developmental stage and No. of forest gap	不同区域的物种数 Species number in different zones			不同区域的个体数 Individual number in different zones		
	中心区 Central zone	边缘区 Marginal zone	非林窗区 Non-forest gap zone	中心区 Central zone	边缘区 Marginal zone	非林窗区 Non-forest gap zone
	前期 Early stage					
5	13	14	12	37	54	38
13	14	17	10	38	49	37
14	12	13	10	33	47	39
22	13	16	11	35	49	41
平均值 Mean	13.0	15.0	10.8	35.8	49.8	38.8
中期 Middle stage						
2	17	16	14	50	61	40
15	16	19	14	55	59	49
16	17	17	15	52	48	46
24	18	20	16	57	64	52
平均值 Mean	17.0	18.0	14.8	53.5	58.0	46.8
后期 Later stage						
1	16	20	13	60	66	52
17	19	18	18	63	61	58
18	18	19	17	62	67	60
21	20	22	20	65	71	68
平均值 Mean	18.3	19.8	17.0	62.5	66.3	59.5

表3 福建天宝岩国家级自然保护区内长苞铁杉-阔叶树混交林林窗的不同发育阶段各区域的物种数和个体数的统计结果

Table 3 Statistic result of numbers of species and individuals in different zones at different developmental stages of forest gap of *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng-broadleaved tree mixed forest in Tianbaoyan National Nature Reserve of Fujian

林窗的发育阶段和编号 Developmental stage and No. of forest gap	不同区域的物种数 Species number in different zones			不同区域的个体数 Individual number in different zones		
	中心区 Central zone	边缘区 Marginal zone	非林窗区 Non-forest gap zone	中心区 Central zone	边缘区 Marginal zone	非林窗区 Non-forest gap zone
前期 Early stage						
3	14	18	11	39	60	35
4	14	16	11	44	55	38
7	17	20	13	51	57	50
19	18	21	15	48	53	42
平均值 Mean	15.8	18.8	12.5	45.5	56.3	41.3
中期 Middle stage						
6	18	19	13	54	63	45
8	17	20	15	57	61	49
10	18	19	19	57	63	53
20	20	21	16	60	67	52
平均值 Mean	18.3	19.8	15.8	57.0	63.5	49.8
后期 Later stage						
9	20	21	16	75	73	64
11	19	18	17	67	62	58
12	19	22	17	55	64	54
23	17	19	20	62	69	67
平均值 Mean	18.8	20.0	17.5	64.8	67.0	60.8

林和长苞铁杉-阔叶树混交林林窗的不同发育阶段,物种数和个体数均随着发育进程而逐渐增加;且林窗不同区域的物种数和个体数也有一定差异,总体上表现为林窗边缘区最高、非林窗区最低。由比较结果可见:在长苞铁杉-阔叶树混交林的不同发育阶段林窗中各区域的物种数和个体数均高于长苞铁杉纯林。

## 2.2 不同林型林窗的边缘效应差异分析

在长苞铁杉纯林和长苞铁杉-阔叶树混交林林窗的不同发育阶段,林窗不同区域的物种多样性指数及林窗边缘效应指数分别见表4和表5,各林型林窗不同发育阶段的林窗边缘效应指数平均值的比较结果见表6。

由表4可见:长苞铁杉纯林林窗的中心区和非林窗区的 Shannon-Wiener 指数均随着发育进程呈现逐渐增大的趋势,林窗边缘区的 Shannon-Wiener 指数则随着发育进程呈现先增大后减小的趋势,且各发育阶段林窗中心区和边缘区的 Shannon-Wiener 指数均高于非林窗区;而林窗不同区域的 Simpson 指数则呈现在发育中期最低、发育前期和后期略高的现象,并且各发育阶段非林窗区的 Simpson 指数均最高。随着林窗的不断发育,发育前期、中期和后期的边缘效应指数  $E_D$  (根据 Shannon-Wiener 指数计算获得) 呈现逐渐

减小的趋势,分别为 1.092、1.018 和 0.990;林窗边缘效应指数  $E_C$  (根据 Simpson 指数计算获得) 却随发育进程逐渐增大,发育前期、中期和后期的  $E_C$  值分别为 0.807、1.003 和 1.041。

由表5可见:在长苞铁杉-阔叶树混交林林窗的发育前期、中期和后期,林窗中心区和非林窗区的 Shannon-Wiener 指数均随发育进程呈逐渐增大的趋势,林窗边缘区的 Shannon-Wiener 指数则在发育中期最低、发育后期次之、发育前期最高。而在发育前期、中期和后期,林窗中心区和非林窗区的 Simpson 指数则随发育进程逐步减小,林窗边缘区的 Simpson 指数则随发育进程逐渐增大;但在不同发育阶段,林窗不同区域的 Simpson 指数存在一定差异。在长苞铁杉-阔叶树混交林林窗的发育前期、中期和后期,林窗的  $E_D$  值随发育进程呈现逐渐减小的趋势,分别为 1.107、1.028 和 1.002;而林窗的  $E_C$  值则随发育进程呈现逐渐增大的趋势,分别为 0.797、0.967 和 1.036。

由表4和表5中  $E_D$  和  $E_C$  值的比较结果可以看出:在林窗的各发育阶段,长苞铁杉-阔叶树混交林林窗的  $E_D$  值均高于长苞铁杉纯林,而其  $E_C$  值则低于长苞铁杉纯林,说明长苞铁杉纯林林窗的边缘效应在一定程度上小于长苞铁杉-阔叶树混交林。

表4 福建天宝岩国家级自然保护区内长苞铁杉纯林林窗的不同发育阶段各区域的 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数及其边缘效应指数<sup>1)</sup>  
 Table 4 Shannon-Wiener index and Simpson index and their edge effect indexes of different zones at different developmental stages of forest gap of *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng pure forest in Tianbaoyan National Nature Reserve of Fujian<sup>1)</sup>

林窗的发育阶段和编号 Developmental stage and No. of forest gap	不同区域的 Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index in different zones			不同区域的 Simpson 指数 Simpson index in different zones			$E_D$	$E_C$
	中心区 Central zone	边缘区 Marginal zone	非林窗区 Non-forest gap zone	中心区 Central zone	边缘区 Marginal zone	非林窗区 Non-forest gap zone		
前期 Early stage								
5	2.389	2.542	2.229	0.121	0.088	0.120	1.101	0.730
13	2.369	2.489	2.207	0.118	0.097	0.141	1.087	0.749
14	2.422	2.527	2.266	0.119	0.112	0.127	1.078	0.911
22	2.427	2.539	2.176	0.113	0.102	0.130	1.103	0.838
平均值 Mean	2.402	2.524	2.220	0.118	0.100	0.130	1.092	0.807
中期 Middle stage								
2	2.539	2.499	2.474	0.095	0.104	0.111	0.997	1.010
15	2.591	2.598	2.594	0.097	0.089	0.080	1.002	1.008
16	2.602	2.677	2.493	0.098	0.091	0.088	1.051	0.978
24	2.589	2.625	2.543	0.088	0.097	0.103	1.023	1.014
平均值 Mean	2.580	2.600	2.526	0.095	0.095	0.096	1.018	1.003
后期 Later stage								
1	2.487	2.505	2.417	0.114	0.105	0.113	1.021	0.925
17	2.662	2.541	2.533	0.080	0.101	0.103	0.978	1.104
18	2.797	2.698	2.783	0.101	0.112	0.106	0.967	1.082
21	2.661	2.607	2.590	0.093	0.108	0.112	0.993	1.053
平均值 Mean	2.652	2.588	2.581	0.097	0.107	0.109	0.990	1.041

<sup>1)</sup>  $E_D$ : 根据 Shannon-Wiener 指数 ( $D$ ) 计算出的边缘效应指数 Edge effect index calculated according to Shannon-Wiener index ( $D$ );  $E_C$ : 根据 Simpson 指数 ( $C$ ) 计算出的边缘效应指数 Edge effect index calculated according to Simpson index ( $C$ ).

表5 福建天宝岩国家级自然保护区内长苞铁杉-阔叶树混交林林窗的不同发育阶段各区域的 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数及其边缘效应指数<sup>1)</sup>  
 Table 5 Shannon-Wiener index and Simpson index and their edge effect indexes of different zones at different developmental stages of forest gap of *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng broadleaved tree mixed forest in Tianbaoyan National Nature Reserve of Fujian<sup>1)</sup>

林窗的发育阶段和编号 Developmental stage and No. of forest gap	不同区域的 Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index in different zones			不同区域的 Simpson 指数 Simpson index in different zones			$E_D$	$E_C$
	中心区 Central zone	边缘区 Marginal zone	非林窗区 Non-forest gap zone	中心区 Central zone	边缘区 Marginal zone	非林窗区 Non-forest gap zone		
前期 Early stage								
3	2.442	2.742	2.396	0.085	0.073	0.109	1.134	0.753
4	2.277	2.418	2.218	0.148	0.121	0.137	1.076	0.849
7	2.612	2.763	2.416	0.083	0.076	0.114	1.099	0.772
19	2.485	2.652	2.259	0.104	0.092	0.122	1.118	0.812
平均值 Mean	2.454	2.644	2.322	0.105	0.091	0.121	1.107	0.797
中期 Middle stage								
6	2.514	2.472	2.417	0.100	0.099	0.101	1.003	0.985
8	2.469	2.614	2.415	0.109	0.095	0.113	1.070	0.856
10	2.716	2.723	2.702	0.091	0.089	0.078	1.005	1.053
20	2.580	2.627	2.511	0.113	0.105	0.103	1.032	0.972
平均值 Mean	2.570	2.609	2.511	0.103	0.097	0.099	1.028	0.967
后期 Later stage								
9	2.686	2.602	2.574	0.091	0.098	0.091	0.991	1.077
11	2.700	2.593	2.501	0.090	0.102	0.117	0.997	0.986
12	2.698	2.701	2.680	0.104	0.100	0.091	1.004	1.026
23	2.591	2.659	2.648	0.120	0.113	0.094	1.015	1.054
平均值 Mean	2.669	2.639	2.601	0.101	0.103	0.098	1.002	1.036

<sup>1)</sup>  $E_D$ : 根据 Shannon-Wiener 指数 ( $D$ ) 计算出的边缘效应指数 Edge effect index calculated according to Shannon-Wiener index ( $D$ );  $E_C$ : 根据 Simpson 指数 ( $C$ ) 计算出的边缘效应指数 Edge effect index calculated according to Simpson index ( $C$ ).

表6 福建天宝岩国家级自然保护区内长苞铁杉纯林和长苞铁杉-阔叶树混交林林窗的不同发育阶段的边缘效应指数比较<sup>1)</sup>  
 Table 6 Comparison on edge effect index at different developmental stages of forest gaps of *Tsuga longibracteata* W. C. Cheng pure forest and *T. longibracteata*-broadleaved tree mixed forest in Tianbaoyan National Nature Reserve of Fujian<sup>1)</sup>

林型和发育阶段 Stand type and developmental stage	$E_D$	$E_C$
纯林 Pure forest		
前期 Early stage	1.092±0.012a	0.807±0.084c
中期 Middle stage	1.018±0.025bc	1.003±0.017ab
后期 Later stage	0.990±0.023c	1.041±0.080a
混交林 Mixed forest		
前期 Early stage	1.107±0.025a	0.797±0.043c
中期 Middle stage	1.028±0.031bc	0.967±0.082ab
后期 Later stage	1.002±0.010c	1.036±0.039a

<sup>1)</sup>  $E_D$ : 根据 Shannon-Wiener 指数 ( $D$ ) 计算出的边缘效应指数 Edge effect index calculated according to Shannon-Wiener index ( $D$ );  $E_C$ : 根据 Simpson 指数 ( $C$ ) 计算出的边缘效应指数 Edge effect index calculated according to Simpson index ( $C$ ). 同列中不同的小写字母表示同一林型的不同发育阶段林窗间同一指数差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference in the same index among different developmental stages of forest gap of the same stand type ( $P < 0.05$ ).

由表6可见:2种林型林窗发育前期的边缘效应指数  $E_D$  和  $E_C$  均与各自的发育中期和后期差异显著 ( $P < 0.05$ ), 但林窗发育中期的  $E_D$  和  $E_C$  值与发育后期无显著差异 ( $P > 0.05$ )。说明发育期对长苞铁杉不同类型林分林窗的边缘效应有显著影响, 其中发育前期对边缘效应的影响最明显。

### 3 讨 论

林窗大小通常用林窗面积作为衡量指标, 它是评价林窗中资源分配和空间异质性的一个重要指标之一, 是林窗研究过程中不可或缺的重要特征<sup>[22-23]</sup>。调查结果显示: 供试2类长苞铁杉林分24个林窗的面积介于87~202 m<sup>2</sup>之间, 且变化幅度不大, 面积100~200 m<sup>2</sup>的林窗占林窗总数的83.3%。其中, 长苞铁杉纯林前期林窗的平均面积为160.3 m<sup>2</sup>, 中期林窗的平均面积为129.3 m<sup>2</sup>, 后期林窗的平均面积为106.6 m<sup>2</sup>; 长苞铁杉-阔叶树混交林前期林窗的平均面积为172.0 m<sup>2</sup>, 中期林窗的平均面积为135.0 m<sup>2</sup>, 后期林窗的平均面积为113.5 m<sup>2</sup>。可见, 2种林型不同发育阶段的林窗面积均呈现前期林窗最大、中期林窗居中、后期林窗最小的规律, 说明在林窗的发育过程中同一林型的林窗面积均逐渐减小。由于林窗面积对林窗内的物种更新有影响, 同时林窗内物种的更新生长也加快了林窗发育, 随着林窗的发育, 林窗内的群

落逐渐向原森林群落恢复, 导致林窗面积逐渐减小; 而且, 长苞铁杉-阔叶树混交林各发育阶段林窗的平均面积均大于相应的长苞铁杉纯林, 长苞铁杉-阔叶树混交林各发育阶段林窗的边缘效应指数  $E_D$  也均略高于长苞铁杉纯林。因此, 综合来看, 林窗面积不仅在一定程度上决定了林窗的环境特征和物种多样性, 而且对林窗的边缘效应强度也有影响。这一研究结论与蔡小英等<sup>[24]</sup>对杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 林窗的相关研究结论一致。

林窗是森林内普遍存在的干扰方式之一, 它是森林生态系统发展的重要推动力, 影响着森林植物的空间结构、物种组成及森林自我更新演替的方向<sup>[1,4-5]</sup>。林窗干扰可导致从林窗中心到林窗外的森林群落之间的光照、热量、水文等环境因素发生梯度性变化, 这种环境异质性可导致林窗内部尤其是林窗边缘区的种间竞争加强, 边缘效应明显。本研究结果表明: 福建天宝岩国家级自然保护区2类长苞铁杉林分的林窗边缘区的物种 Shannon-Wiener 指数较高, 且发育前期的边缘效应指数  $E_D$  最高, 随着林窗的不断发育, 林窗面积逐渐减小, 其边缘效应亦呈逐渐减弱的趋势, 直至消失; 而林窗内物种 Simpson 指数则表现为非林窗区较高, 其变化趋势与 Shannon-Wiener 指数的变化趋势不同。另外, 林窗边缘区的物种数量、个体总数和 Shannon-Wiener 指数总体上皆高于林窗中心区和非林窗区, 这一研究结果与洪伟等<sup>[9]</sup>的研究结果相似, 但却与闫淑君<sup>[25]</sup>的研究结果存在一定差异。闫淑君<sup>[25]</sup>的研究结果表明: 福建万木林中亚热带常绿阔叶林的林窗中心区、边缘区和非林窗区的物种丰富度和物种多样性呈递减的趋势。而本研究中, 这一规律仅在长苞铁杉林林窗的发育后期有所体现, 推测这可能与供试的森林群落类型和地形条件不同有关。

对供试的2种长苞铁杉林比较结果表明: 在长苞铁杉-阔叶树混交林林窗的不同发育阶段, 边缘效应指数  $E_D$  在一定程度上均高于长苞铁杉纯林。由于天然更新不良、密度相对较小等原因, 导致长苞铁杉纯林的树种构成单一、生态关系简单, 林中植物无法充分利用空间; 而长苞铁杉-阔叶树混交林则拥有复杂的物种组成和林分结构, 能更充分地利用森林的空间和地力, 改善森林的立地条件和生长环境, 利于林中树木的更新, 故长苞铁杉-阔叶树混交林的林窗对树木的生长发育更有利。

实际上, 影响林窗边缘效应的因素除了与林窗内

分布的植物群落类型、面积和发育阶段等有关外,还与林窗的坡度、海拔、坡向等环境因子有关,因而,在今后的研究中应注重不同环境因子对林窗的影响。

#### 参考文献:

- [1] 宋小艳,张丹桔,张健,等. 马尾松人工林林窗对土壤团聚体及有机碳分布的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3083-3090.
- [2] RENTCH J S, SCHULER T M, NOWACKI G J, et al. Canopy gap dynamics of second-growth red spruce-northern hardwood stands in West Virginia[J]. Forest Ecology and Management, 2010, 260: 1921-1929.
- [3] KERN C C, REICH P B, MONTGOMERY R A, et al. Do deer and shrubs override canopy gap size effects on growth and survival of yellow birch, northern red oak, eastern white pine and eastern hemlock seedlings? [J]. Forest Ecology and Management, 2012, 267: 134-143.
- [4] ELIAS R B, DIAS E. Gap dynamics and regeneration strategies in *Juniperus-Laurus* forests of the Azores Islands[J]. Plant Ecology, 2009, 200: 179-189.
- [5] 周义贵,郝凯婕,李贤伟,等. 林窗对米亚罗林区云杉低效林土壤有机碳和微生物生物量碳季节动态的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(9): 2469-2476.
- [6] 王伯荪,彭少麟. 鼎湖山森林群落分析——X. 边缘效应[J]. 中山大学学报:自然科学版, 1986(4): 433-437.
- [7] 马世骏. 边缘效应与边际生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 43-45.
- [8] 廉振民,于广志. 边缘效应与生物多样性[J]. 生物多样性, 2000, 8(1): 120-125.
- [9] 洪伟,吴承祯,林成来,等. 福建龙栖山森林群落林窗边缘效应研究[J]. 林业科学, 2000, 36(2): 33-38.
- [10] 肖石红,何东进,游惠明,等. 天宝岩典型森林群落粗死木质残体现存量研究[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(5): 64-68.
- [11] 邱迎君,易官美,宁祖林,等. 濒危植物长苞铁杉的地理分布和资源现状及致危因素分析[J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(1): 53-59.
- [12] 游惠明,何东进,蔡昌棠,等. 天宝岩长苞铁杉林倒木对土壤肥力质量的影响评价[J]. 应用与环境生物学报, 2013, 19(1): 168-174.
- [13] 王磊,何东进,游惠明,等. 珍稀濒危植物长苞铁杉林地枯倒木数量特征[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2013, 37(2): 164-168.
- [14] 游惠明,何东进,刘进山,等. 倒木覆盖对天宝岩国家级自然保护区长苞铁杉林内土壤理化特性的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2013, 22(3): 18-24.
- [15] YOU H M, HE D J, YOU W B, et al. Effect of environmental gradients on the quantity and quality of fallen logs in *Tsuga longibracteata* forest in Tianbaoyan National Nature Reserve, Fujian Province, China [J]. Journal of Mountain Science, 2013, 10: 1118-1124.
- [16] 钱莲文. 长苞铁杉群落林窗干扰特征及物种更新动态研究[D]. 福州: 福建农林大学林学院, 2004.
- [17] 李苏闽,何东进,朱乃新,等. 天宝岩自然保护区长苞铁杉混交林粗木质残体蓄水能力研究[J]. 西北植物学报, 2014, 34(11): 2331-2338.
- [18] 游巍斌,林巧香,何东进,等. 天宝岩自然保护区森林景观格局与环境关系的尺度效应分析[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(5): 638-644.
- [19] 周东,刘国斌. 林窗对子午岭天然辽东栎群落林下植物多样性的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(22): 91-98.
- [20] DIRZO R, HORVITZ C C, QUEVEDO H, et al. The effects of gap size and age on the understorey herb community of a tropical Mexican rain forest[J]. Journal of Ecology, 1992, 80: 809-822.
- [21] KNAPP R. 植被动态[M]. 宋永昌,张绅,郑慧莹,等,译. 北京: 科学出版社, 1986: 68-76.
- [22] 李兵兵,秦琰,刘亚茜,等. 燕山山地油松人工林林窗大小对更新的影响[J]. 林业科学, 2012, 48(6): 147-151.
- [23] 谭辉,朱教君,康宏樟,等. 林窗干扰研究[J]. 生态学杂志, 2007, 26(4): 587-594.
- [24] 蔡小英,范海兰,洪滔,等. 福建安曹下丰产杉木人工林林窗边缘效应的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15(3): 229-236.
- [25] 闫淑君. 福建中亚热带常绿阔叶林林窗动态与森林生物多样性研究[D]. 福州: 福建农林大学林学院, 2002.

(责任编辑: 佟金凤)