

福建安曹下丰产杉木人工林林窗边缘效应的研究

蔡小英, 范海兰, 洪滔, 洪伟*, 吴承祯, 王萍兰, 王洪翠, 林琴琴

(福建农林大学林学院, 森林生态研究所, 福州 350002)

摘要: 根据福建安曹下杉木丰产林全林林窗样地调查资料, 运用 Shannon-Wiener 物种多样性指数和 Simpson 生态优势度指数计算边缘效应强度指数。33 个林窗的测定数据表明: 用物种多样性指数测定的林窗边缘效应强度值 E_D 为 0.6–1.8, 而用生态优势度值测定的边缘效应强度值 E_c 为 0.3–3.4。人为干扰形成林窗与自然干扰形成的林窗边缘效应强度接近, 边缘效应强度 E_D 在 250–300 m² 面积林窗内达最大值。边缘效应的作用有增大林窗边缘区物种多样性的趋势。

关键词: 杉木人工林; 林窗; 边缘效应; 物种多样性; 生态优势度

中图分类号: Q948.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2007)03-0229-08

Edge Effect of Gaps in *Cunninghamia lanceolata* Plantation in Ancaoxia, Fujian Province

CAI Xiao-ying, FAN Hai-lan, HONG Tao, HONG Wei*,

WU Cheng-zhen, WANG Ping-lan, WANG Hong-cui, LIN Qin-qin

(Forestry College, Institute of Forestry Ecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The edge effect of 33 gaps were studied in *Cunninghamia lanceolata* plantation in Ancaoxia, Fujian Province, China, using the Shannon-Wiener index and Simpson index. The two indexes illustrate the species diversity and the ecological dominance, respectively. The gap edge effect index based on the species diversity (E_D) was 0.6–1.8 and that based on the ecological dominance (E_c) was 0.3–3.4. Human disturbance had the same effect on the edge effect of the gaps as nature, and E_D reached the peak in the gaps of 250–300 m² in size. The edge effect of the gaps is suitable for species diversity in the edge zone.

Key words: *Cunninghamia lanceolata* plantation; Gap; Edge effect; Species diversity; Ecological dominance

Watt^[1]于 1947 年提出林窗(gap)的概念, 认为林窗是某一森林冠层的林木死亡之后产生的林中空隙。它是森林更新和生长的潜在空间, 同时在林窗与森林的结合部位构成林窗边缘区。由于林窗边缘区的环境变化梯度和各植物物种在发生、竞争等过程上的差异, 形成了其组成物种的结构、配置和动态等多方面的特殊性质, 特别是其异质性, 使它出

现明显边缘效应(edge effect)。林窗边缘区不仅为森林苗木的更新提供主要场所, 也构成维持森林物种多样性的重要环境, 其边缘效应对森林生态系统平衡和群落的更新过程将产生重大的影响。因此, 对林窗及其边缘效应的研究不仅具有重要的生态学意义, 而且对森林生态系统管理也具有现实意义。

林窗及边缘效应研究成为森林动态研究的重

收稿日期: 2006-06-30

接受日期: 2006-10-25

基金项目: 福建省科技厅重大项目(2001F007); 福建省自然科学基金项目(B0110026)资助

* 通讯作者 Corresponding author

点^[2-16],对于林窗的边缘效应研究已有一些报道^[2-5,10-11],但大多集中于天然林^[5,9-11],有关人工林林窗边缘效应的研究报道较少。福建省安曹下老龄杉木丰产林(1919 年用插条造林)为世界上现存人工林中单位面积蓄积量最大的林分之一,具有极大的科学研究价值^[17-18],前人对此高产人工林也开展了一系列的相关研究^[18-21],但未见有关林窗边缘效应的研究报道。本文以福建省南平市安曹下丰产杉木人工林林窗为研究对象,探讨林窗边缘效应的特征和性质,以期为森林的营造和优化管理提供科学依据。

1 研究区概况

安曹下位于福建省南平市王台镇溪后村,东经 117°57',北纬 26°28',属武夷山系南伸支脉,为中亚热带季风气候,年平均气温 19.3℃,1 月平均气温 9.1℃,7 月平均气温 28.4℃,年平均降雨量为 1 669 mm,降雨多集中在 3-8 月,年平均蒸发量为 1 413 mm,年平均相对湿度为 83%,海拔高度在 200 m 左右,土壤是由燕山晚期白云母化中细粒花岗岩发育的山地暗红壤,土壤厚度在 100 cm 以上,A+AB 层厚度为 20-35 cm,土壤表层疏松,质地为砾质轻壤土,试验地海拔高度在 20-40 m 左右。表层土壤细土容重为 1.076 g cm⁻³,总孔隙度 44.50%,>0.25 mm 水稳性团聚体质量百分数为 72.86%,土壤有机质、全 N、全 P、全 K、全 Ca、全 Mg 分别为 25.84 g kg⁻¹、0.83 g kg⁻¹、0.48 g kg⁻¹、17.10 g kg⁻¹、4.11 g kg⁻¹ 和 4.10 g kg⁻¹^[19]。林下植被主要有狗脊(*Woodwardia japonica*)、观音座莲(*Archangiopteris henryi*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)等。林地的人工营造前为天然阔叶林,1918 年 10 月进行砍树、劈草、炼山,翌年立春后插杉。插条选自经过炼山的健壮的 2 a 生杉木萌芽条顶枝,长 50 cm,留在地面部分为 20-25 cm,插条后复土并踏实土壤,使切口与土壤紧接,以便吸水生根。造林的初植密度 240 株,造林后前 2 年锄草 3 次,4-5 年每年劈草 2 次,幼林郁闭后在第 8 年及第 11 年各劈草 1 次并结合砍除部分生长不良木,起到调节密度和改善林内环境的作用。该老龄林的面积为 3.15 hm²^[18]。

2 研究方法

2.1 取样数量

在对安曹下丰产杉木人工林群落调查的基础上,对全林所有林窗(33 个,总面积 3 376.05 m²)取样。本次研究按形成原因分为:人为干扰形成林窗(16 个,1 936.77 m²)、自然干扰形成林窗(13 个,1 216.96 m²)、人为干扰和自然干扰综合原因形成林窗(4 个,222.32 m²)。

2.2 取样方法

调查全林,确定所有林窗,对所确定的每 1 个林窗记载其环境特征和周围群落性质,对构成林窗边界的所有大乔木(DBH>7.5 cm)^[22]进行每木检尺;以林窗边界乔木树干之间的距离为准,采用矩形法确定林窗大小。在每个林窗中心区、边缘区及非林窗区各取 1 个 4 m×4 m 的样方,分别调查各区小乔木(DBH<7.5 cm,H>0.5 m)^[22]、灌木及幼苗,记录物种种类、个体数、高度、冠幅等指标;对样方草本植物记录其种类、个体数和盖度等。

2.3 测定方法

采用 Shannon-Wiener 指数测定林窗不同区域的物种多样性(D):

$$D = 3.3219 (\lg N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^s n_i \lg n_i) \quad (1)$$

以 Simpson 指数测定林窗各区域的生态优势度(C):

$$C = \sum_{i=1}^s (n_i/N)^2 \quad (2)$$

式中, N 为所有种的个体数; n_i 为第 i 种的个体数; S 为物种数。

在此基础上,以王伯荪等^[23]确定的边缘效应指数测定林窗的边缘效应强度(E):

$$E = my / \sum_{i=1}^m y_i \quad (3)$$

式中, y 为 m 个群落形成的交错区里度量群落内种群数量和结构的定量指标。本文选用 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数分别计算(3)式,得出分别由 D 值和 C 值计算出的边缘效应值 E_D 和 E_C :

$$E_D = mD / \sum_{i=1}^m D_i$$

(4)

$$E_C = mC / \sum_{i=1}^m C_i$$

(5)

3 结果和分析

3.1 不同原因形成林窗的边缘效应

根据林窗样地数据, 由(1)、(2)式计算出各林窗林窗地段的物种多样性指数及生态优势度指标, 再

由(4)、(5)两式分别求出各林窗相应的边缘强度值, 其计算结果按各林窗形成原因和林窗面积的大小分别列于表 1、2、3。

从物种构成上看, 安曹下丰产杉木人工林中人为干扰形成的林窗的中心区常见的植物多为喜阳植物, 如芒萁、狗脊、里白(*Diplazium glaucum*)等, 它们构成了森林群落更新的先锋植物, 而在林窗边缘区则为多种植物生态型物种的汇合, 如粗毛榕(*Ficus hirta*)、杜茎山(*Maesa japonica*)、绒毛楠(*Machilus velutina*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、丝

表 1 杉木林人为干扰形成林窗的边缘效应
Table 1 Edge effect of the gaps disturbed by human in *Cunninghamia lanceolata* plantation

样号 Plot no.	面积 Size (m ²)	样区 Sample zone	种数 Species (S)	总个体数 Individuals (N)	物种多样性 Species diversity (D)	生态优势度 Ecological dominance (C)	边缘效应 Edge effect	
							E _D	E _C
16	22.75	I	11	31	3.060	0.159	0.949	1.029
		II	10	31	3.021	0.143		
		III	12	30	3.311	0.118		
28	37.23	I	11	23	3.115	0.149	1.054	0.876
		II	14	29	3.508	0.111		
		III	15	42	3.543	0.103		
14	41.83	I	11	28	3.123	0.138	1.042	1.012
		II	14	42	3.251	0.141		
		III	11	40	3.120	0.140		
11	50.84	I	9	33	2.435	0.265	1.149	0.834
		II	15	39	3.276	0.158		
		III	11	37	3.266	0.115		
12	58.58	I	9	22	2.582	0.223	1.224	0.561
		II	13	26	3.459	0.104		
		III	11	33	3.070	0.146		
1	61.32	I	13	55	2.741	0.248	0.945	1.000
		II	10	32	2.841	0.186		
		III	13	58	3.275	0.124		
19	91.00	I	3	5	1.371	0.440	1.508	0.522
		II	10	31	2.837	0.184		
		III	8	18	2.392	0.265		
2	94.90	I	12	35	3.131	0.154	0.792	1.713
		II	8	40	2.401	0.261		
		III	9	42	2.934	0.151		
7	103.95	I	14	36	3.382	0.119	0.946	1.191
		II	11	34	2.872	0.183		
		III	9	46	2.692	0.189		
15	112.56	I	12	25	3.414	0.104	0.656	3.382
		II	9	28	2.236	0.352		
		III	12	24	3.407	0.104		

续表 1(Continued)

样号 Plot no.	面积 Size (m ²)	样区 Sample zone	种数 Species (S)	总个体数 Individuals (N)	物种多样性 Species diversity (D)	生态优势度 Ecological dominance (C)	边缘效应 Edge effect	
							E _D	E _C
5	127.50	I	13	78	3.197	0.145	1.000	0.910
		II	12	46	3.283	0.117		
		III	13	53	3.367	0.113		
25	157.70	I	7	26	1.854	0.414	1.110	0.738
		II	10	55	2.511	0.224		
		III	9	33	2.670	0.194		
27	172.55	I	12	46	3.112	0.149	1.039	0.952
		II	14	43	3.329	0.127		
		III	12	29	3.299	0.118		
21	185.64	I	3	8	1.406	0.406	1.762	0.341
		II	16	37	3.632	0.103		
		III	10	40	2.717	0.198		
20	298.50	I	1	2	0.000	1.000	1.614	0.545
		II	8	32	2.192	0.326		
		III	10	40	2.717	0.198		
32	319.92	I	18	44	3.798	0.096	0.975	1.098
		II	16	62	3.454	0.114		
		III	11	41	3.291	0.112		
平均数	121.05	I	9.94	31.06	2.608	0.238	1.11	1.044
Mean		II	11.88	37.94	3.006	0.177		
		III	11.00	37.88	3.067	0.141		

I : 中心区 The central of gaps; II : 边缘区 The border of gaps; III : 非林窗区 Non-gap area; 下同。 The same as below.

表 2 杉木林自然干扰形成林窗的边缘效应

Table 2 Edge effect of the gaps disturbed by nature in *Cunninghamia lanceolata* plantation

样号 Plot no.	面积 Size (m ²)	样区 Sample zone	种数 Species (S)	总个体数 Individuals (N)	物种多样性 Species diversity (D)	生态优势度 Ecological dominance (C)	边缘效应 Edge effect	
							E _D	E _C
31	49.6	I	10	51	2.554	0.254	1.296	0.600
		II	13	26	3.229	0.148		
		III	8	35	2.430	0.249		
8	56.61	I	9	39	2.638	0.202	1.094	0.900
		II	16	45	3.497	0.122		
		III	16	40	3.756	0.085		
4	57.68	I	15	38	3.586	0.100	0.973	1.000
		II	14	44	3.349	0.123		
		III	16	100	3.297	0.135		
10	65.19	I	13	35	3.234	0.133	0.896	1.700
		II	14	45	2.982	0.204		
		III	14	34	3.419	0.112		
6	86.62	I	14	48	3.404	0.111	0.991	1.100
		II	14	43	3.252	0.147		
		III	13	36	3.158	0.153		

续表 2(Continued)

样号 Plot no.	面积 Size (m ²)	样区 Sample zone	种数 Species (S)	总个体数 Individuals (N)	物种多样性 Species diversity (D)	生态优势度 Ecological dominance (C)	边缘效应 Edge effect	
							E _D	E _C
22	87.36	I	3	9	1.352	0.432	1.345	0.900
		II	13	55	2.437	0.329		
		III	7	16	2.272	0.273		
30	88.20	I	15	52	3.532	0.107	1.017	1.300
		II	17	82	3.170	0.189		
		III	10	43	2.703	0.191		
9	98.70	I	13	43	3.077	0.182	0.897	1.100
		II	11	26	3.065	0.148		
		III	16	40	3.756	0.085		
24	100.80	I	16	49	3.450	0.136	1.051	0.900
		II	16	54	3.599	0.108		
		III	12	23	3.403	0.104		
29	102.92	I	11	18	3.239	0.123	1.081	0.800
		II	13	27	3.500	0.100		
		III	12	21	3.237	0.138		
23	110.40	I	15	47	3.349	0.129	1.075	0.700
		II	13	33	3.336	0.120		
		III	12	61	2.854	0.207		
33	113.68	I	13	29	3.411	0.111	1.115	0.800
		II	16	48	3.402	0.132		
		III	10	25	2.691	0.235		
3	199.20	I	10	21	3.046	0.147	0.981	1.100
		II	12	36	2.809	0.207		
		III	10	46	2.683	0.233		
平均数	93.61	I	12.08	36.85	3.067	0.167	1.062	1.000
Mean		II	14.00	43.38	3.202	0.160		
		III	12.00	40.00	3.051	0.169		

栗栲(*Castanopsis fargesii*)等。林窗边缘区的植物种数和总个体数总体上大于林窗中心区,且群落的结构也较复杂(表 1、2、3)。自然干扰形成的林窗与人为和自然共同干扰形成的林窗都存在与人为干扰形成林窗相类似的特征,物种也相似。

同一林窗不同区域物种多样性测定结果,充分显示出林窗边缘区由于边缘效应的作用有增大物种多样性的趋势(表 1、2、3),其中以人为干扰形成的林窗的这种趋势最为明显(表 1),其次为自然干扰形成的林窗(表 2)。生态优势度的变化趋势表现了与物种多样性呈负相关的规律,即大多数林窗样地的中心区都表现为较小的物种多样性和较大的生态优势度值,而在林窗边缘区物种多样性和生态

优势度值则相反。例如,21 号林窗中心区的植物种数为 3,总个体数为 8,物种多样性指数为 1.406,生态优势度为 0.406;而该林窗边缘区的植物种数为 16,总个体数为 37,物种多样性指数为 3.632,生态优势度为 0.103;两者物种多样性指数相差 2.226,生态优势度相差 0.303(表 1)。

自然干扰形成的林窗、人为干扰和自然干扰综合原因形成的林窗边缘效应变化规律与人为干扰形成的林窗基本一致(表 1、2、3)。人为干扰形成林窗的边缘效应强度均值 E_D(1.110)大于自然干扰的(1.062);而自然干扰的又大于人为干扰和自然干扰综合原因形成的林窗的(1.021)。这一定程度上说明人为干扰(如有计划地择伐),形成林窗,产生边缘效

表 3 杉木林人为和自然共同干扰形成林窗的林窗效应
Table 3 Edge effect of the gaps disturbed by human and nature in *Cunninghamia lanceolata* plantation

样号 Plot no.	面积 Size (m ²)	样区 Sample zone	种数 Species (S)	总个体数 Individuals (N)	物种多样性 Species diversity (D)	生态优势度 Ecological dominance (C)	边缘效应 Edge effect	
							$\bar{E}_D$	$\bar{E}_C$
18	46.35	I	11	35	3.026	0.158	0.900	1.584
		II	12	33	2.761	0.243		
		III	13	42	3.107	0.150		
17	49.88	I	15	36	3.672	0.093	0.864	1.367
		II	10	31	3.021	0.143		
		III	12	34	3.319	0.116		
26	59.85	I	11	41	3.134	0.131	1.277	0.573
		II	14	32	3.476	0.111		
		III	7	31	2.308	0.257		
13	66.24	I	13	53	3.167	0.136	1.040	0.810
		II	12	27	3.384	0.106		
		III	14	49	3.340	0.125		
平均数 Mean	55.58	I	12.5	41.25	3.250	0.130	1.021	1.084
		II	12.00	30.75	3.161	0.151		
		III	11.50	39.00	3.019	0.162		

应,有助于群落的更新,增加森林物种多样性,有利于维持生态系统的稳定性,促进森林生态平衡。关于何时砍伐、砍伐面积、砍伐强度对物种多样性的影响有待进一步研究。

3.2 不同大小林窗的边缘效应

林窗大小是林窗的 1 个重要特征。根据所调查的林窗面积大小,把林窗分为 7 个等级,即:0-50 m²、50-100 m²、100-150 m²、150-200 m²、200-250 m²、250-300 m²、300-350 m²。由同一等级所有林窗的同一区的各物种个体数(n_i)、总个体数(N)、物种多样性(D)和生态优势度(C)计算出平均值 $\bar{n}_i$ 、 $\bar{N}$ 、 $\bar{D}$ 和 $\bar{C}$, 即为该等级林窗对应区的各物种个体数、总个体数、物种多样性和生态优势度,同样,由同一大小等级所有林窗的边缘强度值(E_D 、 E_C),取平均($\bar{E}_D$ 、 $\bar{E}_C$)即为各大小等级林窗相应的边缘强度值,并计算标准差,结果按林窗大小等级列于表 4。

由表 4 可以看出,250-300 m² 面积林窗的边缘效应强度 E_D 最大(1.614),150-200 m² 出现一小高峰值 E_D (1.223),其它大小等级的 E_D 波动不大,50-100 m² > 0-50 m² > 100-150 m² > 300-350 m², 而 250-300 m² 面积林窗的边缘效应 E_C 最小(0.545),150-200 m² 出现一小低峰值 E_C (0.78),其它大小等

级的 E_C 波动也不大, 其变化趋势与 E_D 刚好相反。由此看出,林窗并不是越大越好,本研究中人为干扰形成林窗平均面积为 121.05 m²;自然干扰形成林窗平均面积为 93.61 m²; 人为和自然共同干扰形成的林窗平均面积为 55.58 m²。林窗的大小不同,影响着林木的更新,不仅在很大程度上决定了林窗的环境特征,如光照、温度和湿度等的波动变化,而且影响着林窗植被的物种多样性和边缘效应的强度,从而构成影响林窗植被更新的重要方面。通过人为干扰影响使林窗面积在某一大小范围,可以增强边缘效应强度,起到增大物种多样性的作用。

4 讨论

林窗的存在进一步提高物种多样性,为树种更新和多个树种共存提供必要的生态空间,是森林结构变化的原动力之一和维持物种多样性的重要途径^[12]。由于森林群落内部到林窗中心的光、热、水等环境因素存在显著梯度化,使得森林内部构成丰富的生态分异。森林植物种源生物生态学性质的差异导致了林窗内部,特别是在林窗边缘区发生较为频繁的种间和种内竞争过程。林窗的不断形成,边缘效应机制的制约,使得林窗成为保持和恢复森林群落物种多样性的重要场所。林窗随森林的更新而逐

表 4 不同大小林窗的边缘效应
Table 4 Edge effect of the different size gaps

面积 Size (m ²)	林窗个数 Gaps	样区 Sample zone	种数 Species (S)	总个体数 Individuals (N)	物种多样性 Species diversity (D)	生态优势度 Ecological dominance (C)	边缘效应 Edge effect			
							E _D		E _C	
							平均值 Average	标准差 SD	平均值 Average	标准差 SD
0-50	6	I	11.50	34.00	3.092	0.159	1.018	0.348	1.076	0.792
		II	12.17	32.00	3.132	0.155				
		III	11.83	37.17	3.138	0.146				
50-100	14	I	10.86	36.29	2.813	0.205	1.082	0.715	0.999	1.318
		II	12.93	40.50	3.102	0.169				
		III	11.79	41.21	3.068	0.158				
100-150	7	I	13.43	40.29	3.349	0.124	0.989	0.386	1.232	2.355
		II	12.86	38.57	3.175	0.159				
		III	11.43	36.14	3.093	0.156				
150-200	4	I	8.00	25.25	2.355	0.279	1.223	0.629	0.780	0.565
		II	13.00	42.75	3.070	0.165				
		III	10.25	37.00	2.842	0.186				
250-300	1	I	1.00	2.00	0.000	1.000	1.614	0.000	0.545	0.000
		II	8.00	32.00	2.192	0.326				
		III	10.00	40.00	2.717	0.198				
300-350	1	I	18.00	44.00	3.798	0.096	0.975	0.000	1.098	0.000
		II	16.00	62.00	3.454	0.114				
		III	11.00	41.00	3.291	0.112				

渐消失,林窗的形成与消亡过程也正是森林演替的生态学过程。

缙云山针阔混交林前期、中期、后期林窗的边缘效应强度均值(E_D)分别为 1.763、1.179、1.013,常绿阔叶林的 E_D 均值为 1.381^[9]。龙栖山针阔混交林前期、中期、后期林窗的边缘效应强度均值(E_D)分别为 1.809、1.262、1.117,常绿阔叶混交林的为 1.179,常绿落叶阔叶混交林的为 1.504^[11]。与本研究的杉木人工林的 E_D(1.110、1.062、1.021)相比,天然林不同森林类型的林窗边缘效应基本大于人工林林窗边缘效应。这主要由于天然林比人工林拥有相对更稳定、结构复杂的森林生态系统,蕴藏着更丰富的生物资源(基因库)、丰腴的土壤肥力,种间种内竞争也更激烈。

安曹下丰产杉木人工林森林群落林窗边缘效应研究表明,大多数林窗边缘区都表现为较大的物种多样性和较小的生态优势度值,而在林窗样地的中心区物种多样性和生态优势度值则相反,说明林窗边缘区具有增大物种多样性的趋势,这与前人^[5,11]的研究结果一致,可以认为林窗边缘效应的性

质属于具有动态特征的正效应。林窗边缘效应的强度随森林的更新和林窗的大小发生相应变化,这可以为种间结构重建以及选择最佳林木择伐面积和强度等提供科学依据。维持一定的林窗边缘效应强度和边缘区面积,有利于森林物种多样性的保持和林木更新。这充分利用了森林的天然更新潜能,再与合理的采伐、抚育和结构优化管理相结合,有望加快森林恢复的作用。天然林不同森林类型的林窗边缘效应均大于人工林林窗边缘效应。林窗边缘效应与林窗的坡度、坡向等环境因子之间的关系还有待于深入研究,不断丰富和发展林窗理论。

参考文献

[1] Chen X W (陈雄文), Wang F Y (王凤友). Simulation of the potential responses of mixed coniferous and broad-leaved korean pine communities by BKPF model [J]. Acta Phytoecol Sin (植物生态学报), 2000, 24(3): 327-331.(in Chinese)

[2] Wang B S (王伯荪), Peng S L (彭少麟). Analysis on the forest communities of dinghushan Guangdong — X. Communities edge effect [J]. Acta Sci Nat Univ Sunyatseni (中山大学学报:自然科学版), 1986, (4): 52-56.(in Chinese)

[3] Niu W Y(牛文元). The basic of ecotone [M] // Modern Ecology

- Perspective. Beijing: Science Press, 1990: 46–53.(in Chinese)
- [4] Ma S J (马世骏). Edge effect and boundary ecology [M] // Modern ecology perspective. Beijing: Science Press, 1990: 43–45.(in Chinese)
- [5] Xi W M (奚为民), Zhong Z C (钟章成), Bi R C (毕润成). The study of edge effect of the forest communities in Jinyun Mountain [J]. Acta Phytoecol Sin (植物生态学报), 1993, 17(3): 232–242.(in Chinese)
- [6] Brokaw N V L. Gaps phase regeneration in tropical forest [J]. Ecology, 1985, (66): 682–687.
- [7] Hybbel S P, Foster R B. Canopy gaps and the dynamics of a netropical forest [M] // Crawley M J. Plant Ecology Chapter 3. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1986: 77–96.
- [8] Thomass V T. Forest development in tree-fall gaps in the temperate rain forests of Chile [J]. Nat Geogr Res, 1985, 1(2): 162–183.
- [9] Xi W M(奚为民). Advance in research of forest gaps vegetation [J]. J Southwest Norm Univ (Nat Sci) (西南师范大学学报:自然科学版), 1992, 17(2): 268–274.(in Chinese)
- [10] Liang H Y(梁红艳), Wang X G (王小国). Study on edge effect of deciduous broad-leaved forest in Mt.Wulu [J]. J Sanmenxia Polytechn (三门峡职业技术学院学报), 2006, 33(2): 108–110. (in Chinese)
- [11] Hong W (洪伟), Wu C Z (吴承祯), Lin C L (林成来), et al. Gap edge effect of the forest communities in Longxi Mountain, Fujian Province [J]. Sci Sil Sin (林业科学), 2000, 36(2): 33–38.(in Chinese)
- [12] Yan S J (闫淑君), Hong W(洪伟), Wu C Z (吴承祯), et al. Studies on the relationship between gaps and species diversity of mid-subtropical evergreen broad-leaved forest [J]. Chin J Eco-Agri (中国生态农业学报), 2005, 13(1): 38–41.(in Chinese)
- [13] Yan S J (闫淑君), Hong W (洪伟), Wu C Z (吴承祯). Gap phase regeneration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest in Wanmulin, Fujian [J]. Sci Sil Sin (林业科学), 2004, 40(6): 25–31.(in Chinese)
- [14] Yan S J (闫淑君), Hong W (洪伟), Wu C Z (吴承祯), et al. Gaps and their natural disturbance characteristics in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest in Wanmulin [J]. J Appl Ecol (应用生态学报), 2004, 15(7): 1126–1130.(in Chinese)
- [15] Yan S J (闫淑君), Hong W(洪伟), Wu C Z(吴承祯), et al. Height niche of main tree species of gaps in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest in Wanmulin of Fujian [J]. J Appl Environ Biol (应用与环境生物学报), 2002, 8(6): 578–582.(in Chinese)
- [16] Yan S J(闫淑君), Hong W(洪伟), Wu C Z (吴承祯). A study on weibull model for gap area in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest in Wanmulin [J]. Acta Agri Univ Jiangxi (江西农业大学学报), 2002, 24(6): 802–805.(in Chinese)
- [17] Zheng W J(郑万钧), Zhou B L(周本琳), Lin C G(林昌庚), et al. An investigative report on the fertility experience of *Cunninghamia lanceolata* forest in Xihou of Nanping City in Fujian Province [J]. J Nanjing For Univ (南京林学院学报), 1959, 2(1): 1–25.(in Chinese)
- [18] Lin J (林杰), Chen P L (陈平留), Huang J E (黄健儿). An investigation on the growth of *Cunninghamia lanceolata* forest in Xihou Ancaoxia of Nanping City in Fujian Province [J]. J Fujian Coll For (福建林学院学报), 1984, 4(1): 9–19.(in Chinese)
- [19] Zou S Q (邹双全), He Z M (何宗明), Yang Y S (杨玉盛), et al. Comparison of plant diversity of old-growth Chinese fir and *Pinus massoniana*-broadleaved mixed forest communities [J]. J Fujian Coll For (福建林学院学报), 2002, 22(2): 124–128.(in Chinese)
- [20] Lin K M (林开敏), Guo Y S (郭玉硕), Yu X T (俞新妥), et al. The structure characters of undergrowth vegetation composition in the old growth Chinese fir forest [J]. J Fujian Coll For (福建林学院学报), 1999, 19(2): 124–128.(in Chinese)
- [21] He Z M (何宗明), Chen G S (陈观水), Xie J S (谢锦升), et al. Comparison of flora of old-growth Chinese fir and *Pinus massoniana* broadleaved mixed forest communities [J]. J Fujian Coll For (福建林学院学报), 2001, 21(4): 289–292.(in Chinese)
- [22] Huang Q(黄全), Li Y (李意德). Primary analyses of regeneration communities on the cutting blanks of tropical mountain rain forest on the Jianfengling ridge, Hainan Island [J]. Acta Phytoecol Sin (植物生态学报), 1988, 12(1): 12–22.(in Chinese)