

滇西北亚高山针叶林林窗大小与更新的初步分析*

刘庆** 吴彦

(中国科学院成都生物研究所 成都 610041)

摘要 分析了云南西北部碧塔海自然保护区的亚高山针叶林林窗大小对林窗植被和更新的影响. 调查区域出现 I 级林窗(面积 $< 50 \text{ m}^2$) 占 36%, II 级($50 \sim 75 \text{ m}^2$) 21%, III 级($75 \sim 100 \text{ m}^2$) 19%, IV 级($100 \sim 125 \text{ m}^2$) 13% 和 V 级($> 125 \text{ m}^2$) 11%. 结果表明, 亚高山针叶林因林窗大小不同而导致小环境条件的差异, 使林窗植被和更新与林窗干扰密切相关. 林窗大小对林窗植被的物种多样性、结构、密度分布以及云冷杉更新苗的空间分布都有不同程度的影响. 小林窗(I 级)的物种多样性比大林窗(IV 级和 V 级)、中林窗(II 级和 III 级)高. 云冷杉更新幼苗以中、小林窗较多, 且在小林窗中呈随机分布, 主要分布在林窗中心和过渡区域(88%); 在大、中林窗中则呈集群分布, 主要分布在过渡区域, 占 44%~50%. 同时, 研究表明该区亚高山针叶林有效更新的林窗阈值面积大约为 75 m^2 . 图 4 表 3 参 22

关键词 亚高山针叶林; 林窗; 更新; 物种多样性; 碧塔海自然保护区

CLC S718.5(274)

EFFECTS OF GAP SIZE ON REGENERATION OF SUBALPINE CONIFEROUS FORESTS IN NORTHWEST YUNNAN*

LIU Qing** & WU Yan

(Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract Effects of gap size on regeneration of subalpine coniferous forests in northwest Yunnan, and species diversity, structure, distribution of the gap vegetation were analyzed. There were 36% of class I (gap area $< 50 \text{ m}^2$), 21% of class II ($50 \sim 75 \text{ m}^2$), 19% of class III ($75 \sim 100 \text{ m}^2$), 13% of class IV ($100 \sim 125 \text{ m}^2$) and 11% of class V ($> 125 \text{ m}^2$) forest gaps. The results showed that there was the maximum of species diversity index, a lot of seedlings of *Picea* spp. and *Abies* spp. and random distribution in small gap (class I gap), and clump of the seedlings to middle (class II and III gaps) and large (class IV and V gaps) ones. Further, many seedlings distributed in central and intermediate zones (88%) in small gaps, and in intermediate zone in middle (47%) and large (50%) ones. The results also suggested that the seedlings of *Picea* spp. and *Abies* spp. adapt to shade environment, and the threshold gap size keeping on regeneration may be about 75 m^2 in the subalpine coniferous forests. Fig 4, Tab 3, Ref 22

Keywords subalpine coniferous forest; forest gap; regeneration; species diversity; Bitahai Lake Nature Reserve

CLC S718.5(274)

林窗干扰是自然状况下森林生态系统维持的重要机制, 是一个动态更新过程. 林窗 (forest gap) 是指森林群落中由于某一上层林冠树木死亡而在林地上

形成的不连续的林中空隙地, 是森林更新和生长的潜在空间^[1], 可分为冠层林窗 (canopy gap) 和扩展林窗 (expanded gap), 本文所指林窗为前者. 自 1947 年 Watt 提出林窗一词以来, 有关林窗的研究已得到长足的发展, 内容涉及林窗的形成、林窗对森林群落组成和动态的影响等基础性调查研究^[2-6], 以及与现代计算机技术的结合研究林窗动态的一系列林窗模型^[6,7]. 近十余年来我国在林窗方面的研究已有了很大的发展^[8-14], 但这些研究多是对林窗形成和动态的

收稿日期: 2001-10-31 接受日期: 2001-12-18

* 中国科学院“九五”重大项目专题 (No. KZ951-A1-104-03-02)、中国科学院知识创新工程西南基地项目 (No. 010001) 和中国科学院成都地奥科学基金 (DASF) 资助 Supported by the “9th 5-Year-Plan” Key Program of Chinese Academy of Sciences (No. KZ951-A1-104-03-02), the Southwest Basis Program of Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (No. 010001), and Chengdu Di’ao Science Foundation of Chinese Academy of Sciences

** 通讯作者 Corresponding author

木层高度等有关. 光照强度均为中心 > 过渡区域 > 林缘. 林窗更新是自然状况下亚高山针叶林更新的重要方式, 通过林窗干扰使林窗内环境因子发生相应的时空变化, 为生活史周期中具有不同生物生态学特性树种的更新提供了条件.

4.3 亚高山针叶林的林窗大小与林窗植被和更新密切相关, 对林窗植被的物种多样性、结构、密度分布和更新苗木的空间分布都存在不同程度的影响. 小林窗的物种多样性比大、中林窗高, 云冷杉更新幼苗以中、小林窗较多, 且在小林窗中呈随机分布, 主要分布在林窗中心和过渡区域(共占 88%); 在大、中林窗中则呈集群分布, 主要分布在过渡区域, 达 44% 以上.

随着亚高山针叶林林窗由大变小, 多样性指数则由低变高. 这种变化趋势与臧润国等^[14]研究的南亚热带常绿阔叶林不同大小林窗中树种多样性指数总体上呈单峰型变化规律有所不同. 亚高山针叶林大林窗的多样性指数较低, 反映了亚高山针叶林中适应开阔、裸露光照强烈的类似迹地环境的物种幼苗不多, 可能与大林窗中较严酷的环境影响种子萌发有关, 还有待进一步通过实验分析这些林窗植物种类的种子萌发特性, 进而深入解释大林窗中物种多样性低于小林窗的原因.

4.4 本研究结果同时也表明, 林窗大小是决定林窗期更新成功与否的关键因素. 虽然中小林窗中出现大量的云冷杉幼苗, 尤其是小于 75 m² 的林窗中单位面积幼苗数量最多, 面积大于 75 m² 以上的中等偏大的林窗和大林窗中幼苗数量明显降低; 但是, 观察发现, 在大中林窗中则出现了占相当比例的大龄级幼树, 说明大于 75 m² 的面积的林窗能够维持该区亚高山针叶林的年龄结构, 维持系统的动态平衡, 可以初步认为是该区亚高山针叶林循环更新的阈值林窗面积. 该面积略大于石培礼^{*}(1999)所调查的四川巴郎山林线交错带岷江冷杉林林窗更新的阈值面积 70 m². 因此, 是否可以认为 70 m² 左右是青藏高原东部亚高山针叶林林窗更新的有效面积, 本研究结果提供了进一步的实证参考. 同时, 该结果也可为亚高山针叶林的人工更新和持续利用提供参考.

致谢 中国科学院西双版纳热带植物园庞金虎、盛才余先生参加了部分野外调查工作.

References

- 1 Watt AS. Pattern and process in the plant communities. *J Ecol*, 1947, **35**: 1 ~ 22
- 2 Brokaw N. Gap-phase regeneration in a tropical forest. *Ecology*, 1985, **66**: 682 ~ 687
- 3 Gray AN, Spies TA. Gaps size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment. *Ecology*, 1996, **84**: 635 ~ 645
- 4 Kenneth PL. Pattern of gap-phase replacement in a subalpine, old-growth forest. *Ecology*, 1992, **73**(2): 657 ~ 669
- 5 Runkle JR. Gap regeneration in some old-growth forest of the eastern United States. *Ecology*, 1981, **62**(4): 1041 ~ 1051
- 6 Shugart HH. A Theory of Forest Dynamics—The Ecological Implications of Forest Succession Models. Springer-Verlag New York Inc., 1984. 55 ~ 57
- 7 Busing RT. Disturbance and the population dynamics of *Liriodendron tulipifera*: simulations with a spatial model of forest succession. *J Ecol*, 1995, **83**: 45 ~ 53
- 8 An SQ(安树青), Hong BG(洪必恭), Li CY(李朝阳), Zhang Y(张亚), Liu ZL(刘志礼). Environmental and vegetation studies of the gaps of secondary forests in Zijin Mountain. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 1997, **8**(3): 245 ~ 249
- 9 Wu G(吴刚). Regeneration dynamics of tree species in gaps of Korean pine broad-leaved mixed forest in Changbai Mountains. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 1998, **9**(8): 449 ~ 452
- 10 Wu N(吴宁). Dynamics of forest gaps in subalpine coniferous forests on the eastern slope Gongga Mountain. *Acta Phytocol Sin(植物生态学报)*, 1999, **23**(3): 228 ~ 237
- 11 Xia B(夏冰), He SA(贺善安), Lan T(兰涛), Deng F(邓飞), Yao G(姚淦). Growth release and disturbance of conifer trees in subalpine spruce-fir mixed forest. *J Plant Resour & Environ(植物资源与环境)*, 1997, **6**(1): 1 ~ 8
- 12 Zang RG(臧润国), Guo ZL(郭忠凌), Gao WT(高文韬). Gap regeneration in a broad-leaved Korean pine forest in Changbai Mountain Nature Reserve. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 1998, **9**(4): 349 ~ 353
- 13 Zang RG(臧润国). Research advances of gap regeneration dynamics. *Chin J Ecol(生态学杂志)*, 1998, **17**(2): 50 ~ 58
- 14 Zang RG(臧润国), Wang BS(王伯荪), Liu JY(刘静艳). Tree species diversity in gaps of different size and developmental stages in lower subtropical evergreen broadleaved forest, South China. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 2000, **11**(4): 485 ~ 488
- 15 Li CB(李承彪). Ecological Study of Sichuan Forest. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science & Technology, 1990. 513 ~ 537
- 16 Xia B(夏冰), He SA(贺善安), Lan T(兰涛), Deng F(邓飞), Yao G(姚淦). Canopy gaps in subalpine spruce-fir forests of the hills around Bitahai Lake, Yunnan Province. *J Plant Resour & Environ(植物资源与环境)*, 1996, **5**(4): 1 ~ 8

* 石培礼. 亚高山林线生态交错带的植被生态学研究. 中国科学院自然资源综合考察委员会博士论文, 1999

初步研究,还较少涉及到不同大小林窗干扰对森林更新影响的比较分析。

亚高山针叶林是我国西南林区森林的主体,近几十年来遭到采伐或火烧等人为活动的破坏,形成的迹地往往难以自然更新^[15]。为此,我国许多学者一直都非常重视西南亚高山针叶林更新的研究,在林窗与更新方面开展了林窗动态、林窗更新模式和营林更新技术的研究工作^[10,15-17]。林窗的形成使小气候突然发生变化,可能给更新幼苗及其它植物或其它生命形式提供有利或不利条件。对于不同大小的林窗,优势立木死亡后因小生境改变所产生的影响也不一样^[6]。本文旨在通过分析滇西北碧塔海自然保护区亚高山针叶林不同大小林窗对林窗植被更新的影响,探索亚高山针叶林自然更新的维持机制和规律,并为我国西南亚高山针叶林的人工恢复提供科学依据。

1 自然概况与群落特征

1.1 自然概况

研究地点为碧塔海自然保护区,位于云南省西北部的迪庆藏族自治州中甸县东部 25 km,地理位置 λ (E) $99^{\circ}54' \sim 100^{\circ}03'$, φ (N) $27^{\circ}46' \sim 27^{\circ}55'$,碧塔海湖面海拔 3 539 m,总面积 14 181 hm^2 ^[18]。该地区气候属于冷凉湿润的北温带气候。据中甸气象站资料,该区年均温 6.2 $^{\circ}\text{C}$,年降水量集中在 6~9 月,占全年的 75% 以上。主要土壤类型有山地红壤、棕壤、暗棕壤、漂灰土和草甸土等。亚高山针叶林下的主要土壤类型为暗棕壤。

1.2 群落结构特征

碧塔海地区主要植被类型有亚高山针叶林、亚高山草甸、亚高山灌丛和沼泽化草甸等。在阴坡主要为云冷杉林,阳坡主要为川滇高山栎 (*Quercus aquifolioides*) 林,在土壤瘠薄的山脊上常为高山栎 (*Quercus semicarpifolia*) 灌丛和高山松 (*Pinus densata*) 林等。据初步统计,在该区有种子植物近 200 余种,入侵种少见,区系成分较为原始^[18]。

该区云冷杉林的林相整齐,树冠塔形,结构简单。郁闭度一般为 0.5~0.7,高 30~42 m,胸径 30~60 cm,最粗可达 1 m。乔木层以长苞冷杉 (*Abies georgei*) 和油麦吊云杉 (*Picea brachytyla* var. *complanata*) 占绝对优势,并混生有少量的大果红杉 (*Larix potaninii* var. *macrocarpa*)。林下主要有红毛花楸 (*Sorbus rufopilosa*),柳叶忍冬 (*Lonicera lanceolata*),华西箭竹 (*Fargesia nitida*) 和多种杜鹃 (*Rhododendron* spp.) 等。草本层高度一般在 10~40 cm,盖度 40% 左右。苔藓

层发育,厚度一般为 3~5 cm 左右。

在调查林窗的形成过程中发现,碧塔海保护区针叶林的很多林窗都不止一个倒木,这些倒木的大小也不相同,其死亡方式几乎与采伐等人为干扰无关,主要是云冷杉的自然枯死、病虫害和自然因子,包括风倒、雪压等作用的结果,据夏冰等 (1996, 1997) 报导^[11,16],风倒和雪压是碧塔海保护区亚高山针叶林林窗形成的主要因素。

2 研究方法

2.1 林窗调查

对碧塔海自然保护区亚高山针叶林的林窗大小进行面上踏查,并对沿湖周西北坡 3 550 m 左右的范围的其中 20 个林窗进行群落和更新情况调查。林窗分布位置和环境基本相似,据夏冰等^[16]对该区域的研究结果,林窗年龄多为 5~10 a,因此本研究注意选择不同林窗边缘树木大小基本一致的林窗,使调查林窗的年龄相近。调查内容包括测量林窗大小,林窗组成植物的名称、高度和胸径等;本文的林窗指由 1 株或多株乔木层树木死亡或倒伏后,林缘树冠垂线围成的内部空间,即通常所指的冠层林窗^[16,19]。在每个林窗中从中心沿两条对轴线设置 2 m $\times$ 2 m 大小的基本样方 (图 1),记录小样方中木本植物名称、数量和高度等,包括云冷杉更新幼苗 (高度 < 1.0 m) 的数量、高度、地上 2 cm 处基径等。

有关林窗环境因子调查取样,选择相同天气同时测定每个林窗两条对轴线上的中心、过渡区域和林缘共 9 个点 (图 1) 的温度、湿度和光照强度等,将这些指标测定结果分别取平均值作为林窗中心、过渡区域和林缘的相应环境参数值。

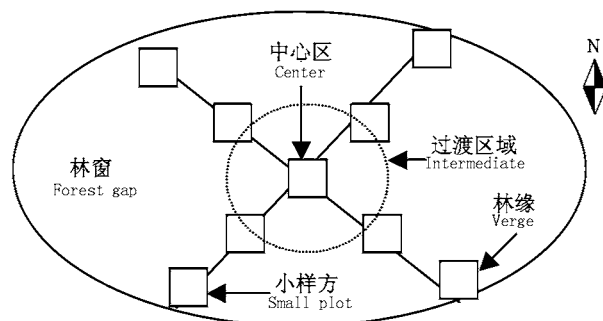


图 1 亚高山针叶林林窗内样方调查示意图

Fig 1 The plots in canopy gap of subalpine coniferous forests

2.2 数据处理

根据调查林窗的形状和目前计算林窗大小的通常方法,假设所调查的亚高山针叶林林窗为椭圆形,

林窗面积可采用如下公式计算^[20]：

$$A = \pi LW/4 \tag{1}$$

式中 A 为林窗面积,单位为 m^2 ; L 为林窗长度, W 为林窗宽度(与林窗长度相垂直的最大直径),单位为 m .

林窗植被的物种多样性采用 Margalef 物种丰富度指数(R), Pielou 均匀度指数(J), Shannon-Wiener 指数(H)和 Simpson 指数(D)进行计算^[21]. 亚高山针叶林的林窗植被中云冷杉幼苗分布格局的测定采用方差/均值比率 t 检验和 Morisita 格局指数方法进行计算.

3 结果与分析

3.1 林窗中的小气候特征比较

调查碧塔海亚高山针叶林不同大小林窗数 120 个,每个林窗大小面积由 15 m^2 到 240 m^2 不等. 为了便于研究统计,根据该森林群落林窗大小的实际情况,以 50 m^2 为基本大小(多为 100 m^2 左右), 25 m^2 为单位,将所调查亚高山针叶林林窗细分为 5 个等级,即 I 级为小于 50 m^2 的林窗, II 级为 $50\sim75\text{ m}^2$ 的林窗, III 级为 $75\sim100\text{ m}^2$ 的林窗, IV 级为 $100\sim125\text{ m}^2$ 的林窗, V 级为大于 125 m^2 的林窗. 统计结果显示, I 级林窗占 36%, II 级林窗 21%, III 级林窗 19%, IV 级 13%, V 级林窗 11%.

林窗干扰是植被演替和更新的主要动力. 林窗形成后,林窗内小环境特征必将发生相应的变化. 林窗内的小气候特征随着林窗形状、大小及位置的不同而表现出不同的特点^[22]. 据初步观测发现,由于调查地点亚高山针叶林的林窗面积比季节雨林林窗小些^[22],同时,虽然在林窗的不同方位(E, W, S, N)的小气候条件也存在一定的差异,但所调查的主要环境

指标差异不大. 因此,为了重点比较分析因林窗大小不同而带来的环境条件差异对更新的影响,本文未进一步分析在林窗内东、南、西、北不同方向上的环境因子差别,而主要比较了不同大小林窗从林窗中心到边缘不同位置上的主要小气候特征的差异.

由表 1 可见,不同大小林窗的光照、温度和湿度都具有明显的差异,且在林窗的不同位置也存在一定的差别. 不同大小的林窗都表现为林窗中心气温最高,从过渡区域到林缘气温开始急剧下降,直到林窗边缘和林内 2 m 左右才减缓和趋于稳定,林窗由大到小边缘气温分别比林窗中心低 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右. 与张一平等^[19]对热带次生林林窗中气温最高值和最大日较差在林窗东侧林缘处有所不同,这可能与两个不同的群落类型、高度、林窗大小、分布位置等有关.

相对湿度与气温变化呈相反的趋势,林窗中心较低,林窗边缘和林内则较高. 在林窗中,相对湿度随远离林窗中心有微弱的增加,一直到林窗边缘才显著升高,并直至林内相对湿度趋于稳定. 同时,由林窗中心到林窗边缘湿度升高的变化幅度为 V 级林窗 > IV 级林窗 > III 级林窗 > II 级林窗 > I 级林窗,林窗中心和林内的相对湿度差由大到小林窗分别为 28%, 25%, 23%, 21.5% 和 19% 左右. 除小林窗外,都大于刘文杰等^[22]对热带季节雨林的研究结果,即林窗中央湿度比林内低 20%. 这可能与各自研究的日观测时间以及群落大环境背景条件的不同有关. 与林窗边缘相比,林窗中心具有较高的气温和较低的湿度,林窗中心温度和湿度的波动性要高于非林窗环境.

表 1 不同大小林窗中的小气候条件
Tab 1 Illuminance, temperature and humidity of forest gaps with different sizes

林窗大小 Gap size	光照强度 Illuminance (E/lx)			温度 Temperature ($\theta/^{\circ}\text{C}$)			湿度 Humidity (RH/%)		
	中心带 Center	过渡区域 Intermediate	林缘 Verge	中心带 Center	过渡区域 Intermediate	林缘 Verge	中心带 Center	过渡区域 Intermediate	林缘 Verge
V 级林窗 V class	9900 $\pm$ 200	5800 $\pm$ 170	2200 $\pm$ 150	21 $\pm$ 0.4	19.5 $\pm$ 0.6	17 $\pm$ 0.4	43 $\pm$ 6	55 $\pm$ 7	71 $\pm$ 4
IV 级林窗 IV class	7200 $\pm$ 200	5400 $\pm$ 160	2300 $\pm$ 150	20 $\pm$ 0.6	19 $\pm$ 0.8	17 $\pm$ 0.5	46 $\pm$ 5	57 $\pm$ 9	72 $\pm$ 5
III 级林窗 III class	6000 $\pm$ 200	4500 $\pm$ 160	2400 $\pm$ 150	20 $\pm$ 0.5	19 $\pm$ 0.6	17 $\pm$ 0.5	48 $\pm$ 5	59 $\pm$ 9	73 $\pm$ 5
II 级林窗 II class	4000 $\pm$ 190	3500 $\pm$ 170	2300 $\pm$ 140	20 $\pm$ 0.7	19.5 $\pm$ 0.7	17 $\pm$ 0.8	49 $\pm$ 5	62 $\pm$ 9	73.5 $\pm$ 5
I 级林窗 I class	3500 $\pm$ 180	2700 $\pm$ 170	2000 $\pm$ 120	19.5 $\pm$ 0.4	18.6 $\pm$ 0.6	17 $\pm$ 0.4	52 $\pm$ 6	64 $\pm$ 6	74 $\pm$ 5

不同大小林窗的光照强度均为中心 > 过渡区域 > 林缘,不同大小林窗中央光照强度的差异比林缘要明显. 大林窗(V 级)中央光照强度是小林窗(I 级)的 3 倍左右. 总之,不论大、中、小林窗中心的光照强度都大,到林窗边缘则逐渐减弱.

3.2 林窗大小与林窗植被物种多样性

3.2.1 林窗植被的物种组成和分布 林窗内共发现乔木、灌木共 10 种木本植物,其中乔木种类较少,仅 4 种,占 40%,灌木种类较多,占 60%. 乔木种类包括油麦吊云杉、长苞冷杉、大果红杉和红桦(*Betula al-*

bo-sinensis). 其中针叶树种几乎都是以幼苗、幼树的形式存在,数量大,占整个调查样方中总株数的 80% 左右. 桦木个体较大,形成乔木亚层. 灌木种类主要有红毛花楸、柳叶忍冬、杜鹃和箭竹等. 在林窗中灌木树种高度通常比桦木低,其总株数量在样方中比例较小,不足 20%,其中以红毛花楸和柳叶忍冬为主,杜鹃和箭竹少见. 在林窗植被中,阔叶树中的桦木和灌木占据上层,而大量的云冷杉针叶树种幼苗则在下层分布,真正成为较大个体、更新成功的则不多见,且通常出现在中等大小的林窗中的大树周围.

表 2 不同大小林窗植被的物种多样性指数

Tab 2 Species diversity indices of vegetation in forest gaps with different sizes

林窗大小 Gap size	物种数(<i>S</i>) No. of species	Margalef species richness(<i>R</i>)	Pielou evenness index(<i>J</i>)	Shannon-wiener index(<i>H</i>)	Simpson index(<i>D</i>)
V class	5	0.86	0.6	0.77	2.09
IV class	6	0.87	0.6	0.78	2.10
III class	8	0.89	0.7	0.79	2.15
II class	9	0.90	0.8	0.81	2.20
I class	10	0.92	0.9	0.83	2.33

另一方面,在小林窗中的物种多样性指数则较高,反映出小林窗较荫蔽的环境更适合亚高山针叶林大多数种类种子的萌发和幼苗、幼树的存活和生长. 出现不同大小林窗中物种多样性不同可能有两方面的原因:一是不同物种在不同生长发育阶段对光照等环境条件的需求不一样;二是林窗越大,其环境条件的变化与针叶林小林窗环境相比更大,更接近于采伐迹地,呈现退化环境状况的特征,不利于大多数物种的生存,因而其物种多样性也越低.

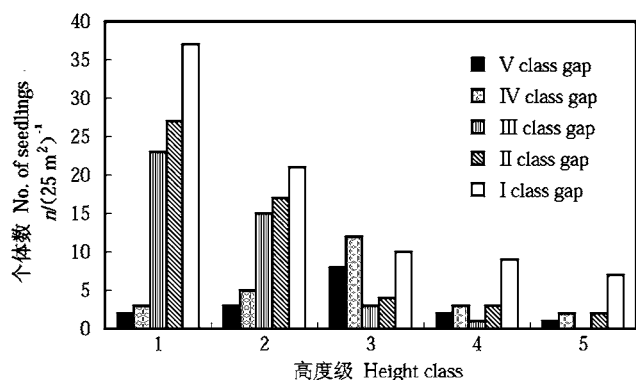


图 2 不同大小林窗中云冷杉幼苗的高度结构

Fig 2 Structure of height class of spruce-fir seedlings in forest gaps with different sizes

3.3 不同大小林窗云冷杉幼苗的数量和高度结构

3.3.1 云冷杉幼苗的高度结构 将所调查林窗中的云冷杉幼苗高度划分成 5 级,1 级为 <5 cm,2 级为 $5 \sim 10$ cm,3 级为 $10 \sim 15$ cm,4 级为 $15 \sim 20$ cm,5 级

3.2.2 物种丰富度、多样性指数和群落均匀度

表 2 列出了碧塔海亚高山针叶林 I 级(V 级不同大小林窗中植物群落的物种丰富度、多样性指数和群落均匀度. V 级大林窗中物种数最少,相反, I 级小林窗中物种数最多,随着林窗由大变小,林窗植被的物种数逐渐增加. 这也说明在大林窗中由于太阳光照较强,许多不喜阳的种类很难出现和存活. 由表 2 可见,随着林窗由大变小,亚高山针叶林窗植被的物种丰富度指数、均匀度指数、Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数都由小变大,变化趋势基本一致.

为 >20 cm.,可得到亚高山针叶林不同大小林窗中所调查针叶树种更新幼苗的高度结构(图 2). 由图 2 可见,大林窗(V 级和 IV 级)中云冷杉幼苗的高度分布呈钟形,以中等高度(2,3,4 级)的幼树居多,占 80% 以上;中等(III 级和 II 级)和小林窗(I 级)中更新苗都以低矮植株(1,2 级)为主,占 60% 以上. 中、小林窗中云冷杉更新幼苗均表现为随高度级的增加,更新幼苗数量越少. 初步表明在 100 m^2 以下的中小林窗中,云冷杉幼苗生长较慢,高度低矮,而在 100 m^2 左右以上的大林窗中,云冷杉幼苗生长较快,中等高度的更新幼苗占到一定比例.

3.3.2 不同大小林窗中云冷杉幼苗的数量差异

由图 3 可见,第 II 级 $50 \sim 75 \text{ m}^2$ 林窗中单位面积上更新苗的数量最多,第 I 级面积 $<50 \text{ m}^2$ 的林窗中次之,面积大于 125 m^2 林窗中单位面积上更新幼苗的数量最少. 单位面积上云冷杉更新幼苗数量随林窗大小总体上呈单峰型的变化规律(图 3). 在较小的林窗中单位面积上更新苗较多;另外,观察发现,不论林窗大小,林窗内的更新幼苗都比林内的多. 结果表明,在郁闭度较大的林内或大面积的空地上都不利于更新幼苗的生长. 这也说明,云冷杉幼苗适宜半阴湿环境条件. 小林窗的更新苗多由小龄级的幼苗组成,说明了小林窗的更新有“只见幼苗不见幼树,或只见幼树不成林”的问题.

表 3 不同大小林窗中云冷杉幼苗分布格局的测定结果
Tab 3 Testing results of spatial pattern of spruce-fir seedlings in forest gaps with different sizes

林窗大小 Gap size	方差 S^2	均值 $\bar{X}$	比值 $S^2/\bar{X}$	T	$n-1$	Morisita pattern index	格局 Pattern
V class	39.610	8.557	4.629	18.083 **	26	2.83	Clump
IV class	12.462	4.236	3.997	7.490 *	26	2.16	Clump
III class	2.343	1.163	2.015	2.471 *	26	4.61	Clump
II class	1.358	0.796	2.048	1.440 *	26	6.07	Clump
I class	0.815	0.571	1.427	1.389	19	7.22	Poisson

* : $P < 0.05$, * * : $P < 0.01$

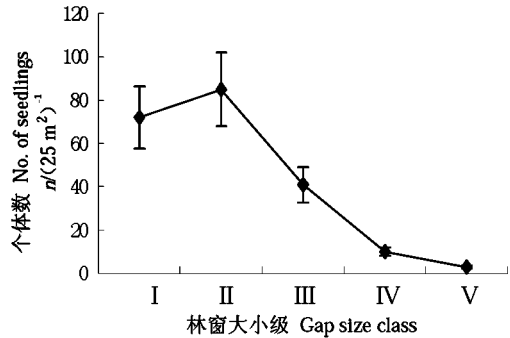


图 3 不同大小林窗中云冷杉幼苗的数量比较
Fig 3 Comparison of number of spruce-fir seedlings in forest gaps with different sizes

3.4 林窗中不同区域云冷杉幼苗的分布

不仅不同大小林窗内单位面积的云冷杉幼苗数量不一样,而且在林窗内不同部位更新幼苗的数量分布也不一致.如图 4 所示,随着林窗由小变大,林窗中过渡区域和林缘分布更新幼苗的百分率逐渐增加,而林窗中心更新幼苗所占整个林窗中幼苗的百分率则逐渐降低.

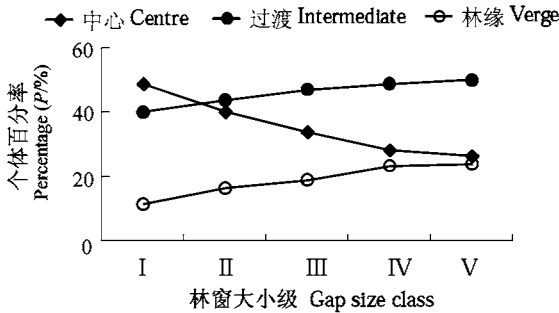


图 4 林窗内不同云冷杉幼苗的分布
Fig 4 Distribution of spruce-fir seedlings in forest gaps with different sizes

同时,结果也表明,在小林窗(I级)中云冷杉幼苗主要分布在林窗的中心和过渡区域,共占 88%;而在中等林窗(II级和 III级)和大林窗(IV级和 V级)中云冷杉幼苗则主要分布在过渡区域,达 44%以上,从 II级到 V级林窗分别为:44%,47%,49%和 50%.这种分布反映了亚高山针叶林自然更新过程中云冷杉树种的定居过程.结合表 1 不同大小林窗中 3 个区

域的环境因子来看,云冷杉幼苗集中分布区域的光照强度为 3 500 ~ 5 800 lx 范围(秋季晴天中午),大约是露地的 20% ~ 30%左右.由此可见,不同大小林窗中云冷杉幼苗的密度分布是与光照直接相关的.

3.5 林窗大小对优势种群空间格局的影响

从表 3 计算结果看,云冷杉幼苗在不同大小林窗中的分布具有一定的差异,在较大林窗(IV级和 V级)和中等林窗(II级和 III级)中呈集群分布,而在小林窗(I级)中则为随机分布.大、中林窗的集群分布可能与其较强的光照环境有关,使得幼苗的分布多集中于光照较弱的过渡区域;小林窗内一方面因本身光照在整体上就相对较弱,且在整个林窗内不同区带的差异并不如大、中林窗大,几乎都可适应幼苗的生长.另一方面在种子繁殖形成幼苗的初期,还没有强烈的种内竞争;因此,小林窗内的云冷杉在种子散布一致的情况下,因微生境条件差异出现随机分布的概率应该是最大的.

4 结论与讨论

4.1 云南西北部碧塔海自然保护区的亚高山针叶林是保护较好的天然林,人为干扰对更新的影响较弱,而林窗干扰是主要因素,云冷杉能够通过林窗进行天然更新.林窗大小分布通常为,I级林窗占 36%,II级林窗 21%,III级林窗 19%,IV级 13%,V级林窗 11%.面积大于 100 m²的较大林窗占 24%,中等林窗面积为 50 ~ 100 m²,占 40%,面积小于 50 m²的小林窗,占 36%.

4.2 林窗干扰对林内小环境条件的影响,不仅表现在因林窗大小不同而导致林窗小环境条件的差异,而且在林窗内的中心、过渡区域和林缘带等不同位置上,微生境条件也同样具有差异,从而影响其中云冷杉更新苗的分布和生长.不同大小林窗中心与林窗边缘相比,都表现为林窗中心具有较高的气温和较低的湿度,与张一平等^[19]对热带次生林林窗中气温最高值和最大日较差在林窗东侧林缘处有所不同,这可能与两个不同群落的类型、分布位置、林窗大小以及乔

- 17 Wang JX(王金锡), Xu JD(许金铎). Ecology and Regeneration of Cutted Blank in Alpine and Plateau Region of the Upper Reach of Yangtze River. Beijing: China Forestry Press, 1995
- 18 Wang YH(王跃华), Zhong LS(钟林生), Yang GH(杨桂华). Discussion on exploitation of the scientific exploration tour in the Bitu Lake Natural Reserve. *Chin J Ecol*(生态学杂志), 2000, **19**(2): 64~67
- 19 Zhang YP(张一平), Wang JX(王进欣), Liu YH(刘玉洪), Ma YX(马友鑫). Principle analysis on characteristics of the spatial variation of average air temperature in tropical secondary forest canopy gap. *Chin J Ecol*(生态学杂志). 2001, **20**(2): 1~4
- 20 Wang MX(汪明喜), Jin YX(金义兴), Zhang QF(张全发). A preliminary study on gap regeneration dynamics in Taiyangpin beech (*Fagus engleriana* SEEM) forest. *J Wuhan Botan Res*(武汉植物学研究), 1995, **13**(3): 225~230
- 21 Ma KP(马克平). Measurement of biodiversity. In: The Committee of Biodiversity, Chinese Academy of Sciences (中国科学院生物多样性委员会) ed. Theory and Measurement of Biodiversity. Beijing: China Publishing House of Science & Technology, 1994
- 22 Liu WJ(刘文杰), Li QJ(李庆军), Zhang GM(张光明), Shi JP(施济普), Bai KJ(白坤甲). Microclimatic characteristics of canopy gaps in *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), 2000, **24**(3): 356~361

稿 约

稿约网址 <http://www.cib.ac.cn/xuebao/bkgy.htm>

一 《应用与环境生物学报》是有关应用生物学和环境生物学基础研究、应用基础研究和应用研究的全国性学术期刊。主要发表: 1. 生物学及其各分支学科在资源、能源、环境、农林、医药、轻化工、食品等领域的原始研究论文和简报; 2. 有关生物学新技术方法研究论文; 3. 本刊特约的综述或述评。

二 来稿请用计算机 A₄ 纸打印, 正文字体不小于新五号(宋体), 稿中未表示出的字体、符号等特殊要求用铅笔标出; 来稿一式 3 份; 论文被接受后, 作者可将最后修回稿连同该稿电子文本(Email 或软盘)一起寄我部。本刊接受网上投稿(本刊 E-mail: biojaeb@public.sc.cninfo.net)。

三 格式、文字和计量单位等要求应依国家有关标准、条例和法规。具体要求如下:

1. 按书写顺序, 一篇论文应由题名、作者姓名、作者单位、中文摘要、中文关键词、CLC(中图法分类号)、英文题名、英译作者名及作者单位、英文摘要、英文关键词、正文、文中图表、(致谢)、参考文献、图版及其中文、英文说明等部分组成。CLC 作者可以留空。

2. 题名应恰当、简明。作者应是论文内容的主要责任者; 中国作者的英译用汉语拼音(见 GB/T 16159-1996)。中文摘要应具有独立引用的价值, 第三人称行文, 400 字左右; 英文摘要内容可详于中文摘要。

3. 关键词 3~8 个, 应尽量使国家公布的规范词。图表应具“自明性”, 内中文字用中、英文对照; 表插入文中适当位置; 插图可另附, 并在文中以方框示出位置, 于方框下书写中、英文一致的图题和说明。图版照片要清晰, 一式 2 份; 墨线图用计算机绘制(或交原始绘图数据)。

4. 参考文献表用“顺序编码制”, 即参考文献表中的各篇文献按其在正文中的标注序号依次列出。未公开文献不进入参考文献表, 必要时可以脚注方式使用。各类参考文献著录格式示意如下:

a. 专著类: 著者. 书名. 版次(1 版不著). 出版地: 出版者, 出版年

b. 期刊论文类: 论文作者. 论文题名. 刊名. 年, 卷次(期): 论文起止页码

c. 会议录、论文集类及其它分析文献: 论文作者. 题名. 见(In): 编者(加“编”或“ed”). 文集名(或: 会议名, 会址, 开会年). 出版地: 出版者, 出版年. 论文起止页码

d. 请注意, 本刊有关文献作者和国内期刊著录格式的具体规定:

①文献作者悉数列出(不用“等”或“et al”); ②引用国内期刊文献时, 无论原文是中文还是英文, 均用英文数据著录(但原文无英文数据者除外), 同时用“()”著录作者中文姓名和中文刊名以与国外期刊相区别。例:

- 1 Deng GB(邓光兵), Ma XR(马欣荣), Zhang XP(张小萍), Chen J(陈静), Yu MQ(余懋群). Effect of *ph1b* gene on hybrid F₁ between common wheat and *Haynaldia villosa*. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), 1998, **4**(3): 211~215

5. 论文应使用《GB 3100~3102-93 量与单位》规定的计量单位和符号。

四 本刊特向作者约定: 我部收到稿件后的 3 个月内通知作者稿件处理情况; 受理稿件将酌收审稿费; 刊用稿件酌收发表费; 赠送样刊 2 册, 抽印本 30 份。不拟刊登稿件将尽快退还作者。我刊已于 1998 年入编《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”, 并与该电子杂志社合作出版创刊以来过刊光盘。凡投稿我刊且未作特别声明者, 即表明作者同意所投论文在该电子杂志社出版。此外, 本刊还加入“万方数据—数字化期刊群”, 向本刊投稿即表明作者同意本刊将论文纳入“万方”系统。作者著作权使用费和本刊稿酬一次性给付(不低于发表费的 20%)。

五 本刊地址: 邮编 610041, 成都市人民南路 4 段 9 号, 中国科学院成都生物研究所《应用与环境生物学报》编辑部; 电话: (028)5229903, 5237341; Fax: (028)5222753