

元宝山中山针阔叶混交林林窗特征及更新研究*

Gap Features and Regeneration of the Mid-montane Mixed Needle Broad-leaved Forest in Yuanbao Mountain

丁涛, 宁世江, 盘波, 唐润琴

DING Tao, NING Shi-jiang, PAN Bo, TANG Run-qin

(中国科学院广西壮族自治区植物研究所, 广西桂林 541006)

(Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuangzu Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China)

摘要:元宝山中山针阔叶混交林以小林窗居多,林冠林窗中面积5~30m²的林窗所占面积比为39.3%,扩展林窗中面积50~100m²的林窗所占面积比达51.8%。林窗形成方式以折干和根拔倒为主,分别占形成木总数的50.0%和31.3%,冬季积雪积冰和强劲的风力是林窗形成的主要外部驱动力。林窗形成木的种类主要是包果石栎(*Lithocarpus cleistocarpus*)、褐叶青冈(*Cyclobalanopsis stewardiana*)、南方红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *mairei*)、马蹄参(*Diplopanax stachyanthus*)等树种。林窗内的幼苗密度高于林冠下。乔木上层优势树种的幼苗更新情况各异,元宝山冷杉幼苗在林窗和林冠下都更新良好,南方红豆杉林窗更新较为显著,南方铁杉表现为较明显的林冠下更新。

关键词:林窗 特征 更新 针阔叶混交林

中图法分类号:Q948 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2010)04-0377-05

Abstract: The most of the gaps were the form of small gap in mid-montane mixed needle broad-leaved forest in Yuanbao mountain. The gaps in size of 5~30m² occupies 39.3% in the total area in the case of the genuine gaps, while 50~100m² occupies 51.8% in the extended gaps. Due to the snow accumulation and the strong wind in winter, the branch break and treefall were the main types of gap makers, and accounted for 50.0% and 31.3% the total number of gap makers, respectively. Species of gap makers mostly consisted of *Lithocarpus cleistocarpus*, *Cyclobalanopsis stewardiana*, *Taxus wallichiana* var. *mairei*, *Diplopanax stachyanthus*. For the tree seedlings, the density in the gaps is much higher than in non-gap stand, and the regeneration of dominant species of up-layer varied, *Abies yuanbaoshanensis* was well in both, and *Taxus wallichiana* var. *mairei* dominated in gap-regeneration mode, where as in non-gap-regeneration mode.

Key words: gap, features, regeneration, mixed needle broad-leaved forest

林窗(或林隙)是指森林群落中老龄树死亡或因偶然因素(如台风、火灾、冰灾等)导致成熟阶段优势树种的死亡,从而在林冠层造成空隙的现象,其面积大小通常是4~1000 m²[1~3]。林窗是森林生态系统长期变化中必不可少的要素,它不仅为森林更新提供了主要场所,而且也构成了维持森林物种多样性的重要环境。由于林窗的存在,森林可以看作是空间上处于不同发育阶段的斑块镶嵌体,林窗更新的循环往复

使森林永远处于动态的变化和平衡中。因此,林窗是森林更新与演替中的重要因素与驱动因子。

近十余年来我国学者在林窗方面的研究已经取得大量成果,如对热带山地雨林[4]、亚热带常绿阔叶林[5]、亚热带山地湿性常绿阔叶林[6,7]、亚热带暖性针叶林[8]、亚高山针叶林[9~11]、东北阔叶红松林[12]等群落类型的林窗特征及动态更新进行了研究。但是对于华南地区山地垂直带谱上普遍存在的原生中山针阔叶混交林的林窗研究至今鲜见报道。

中山针阔叶混交林是亚热带山地垂直带上的重要类型,元宝山分布的中山针阔叶混交林是广西境内保存最完好、成带最明显的中山针阔叶混交林[13,14]。本文以该植被群落为研究对象,通过对其林窗特征和

收稿日期:2010-05-25

作者简介:丁涛(1980-),男,硕士,助理研究员,主要从事森林植物多样性和植被生态学研究。

*广西科学基金项目(桂科自0728167)资助。

更新的研究,探讨其形成的动力及小尺度干扰的内在机制,以及中山针阔叶混交林自然更新的维持机制和规律,为进一步研究林窗更新和森林自然资源的保护提供有益的参考。

1 研究地概况和研究方法

1.1 自然概况

研究地位于广西元宝山蓝坪峰海拔 1900 m 左右的冷杉坪,是元宝山自然保护区的核心地带。北纬 $25^{\circ}24'$,东经 $109^{\circ}09'$,属中亚热带季风气候,土壤为山地黄棕壤。冷杉坪一带年平均气温为 8.0°C ,最热月均温 17.0°C ,最冷月均温 -1.6°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温 1908°C ,相对湿度在 90% 以上。

研究地的中山针阔叶混交林是以元宝山冷杉 (*Abies yuanbaoshanensis*)、南方铁杉 (*Tsuga chinensis*) 和包果石栎 (*Lithocarpus cleistocarpus*) 为优势的群落类型,林内潮湿茂密,树干及岩石密布苔藓植物。群落高 16~20 m,可分为乔木上层、乔木中层、乔木下层、灌木层和草本层。乔木上层常见树种为元宝山冷杉、南方铁杉、马蹄参 (*Diplopanax stachyanthus*)、南方红豆杉 (*Taxus wallichiana* var. *mairei*)、包果石栎、褐叶青冈 (*Cyclobalanopsis stewardiana*) 等,盖度约 90%。乔木中层主要树种有桂南木莲 (*Manglietia conifera*)、大八角 (*Illicium majus*)、细柄莢叶五加 (*Gamblea ciliata*)、五裂槭 (*Acer oliverianum*)、椴叶吴茱萸 (*Tetradium glabrifolia*),盖度约 70%。乔木下层常见树种有红皮木姜子 (*Litsea pedunculata*)、尾叶山茶 (*Camellia caudata*)、乔木茵芋 (*Skimmia arborescens*)、红岩杜鹃 (*Rhododendron haofui*)、细齿吊钟 (*Enkianthus serrulatus*) 等,盖度约 70%。灌木层主要是尖尾箭竹 (*Fargesia cuspidata*) 为优势,盖度达 40% 左右,常见灌木种类还有白瑞香 (*Daphne papyracea*)、朱砂根 (*Ardisia crenata*)、阔叶十大功劳 (*Mahonia bealei*) 等。草本层以沿阶草属 (*Ophiopogon* spp.) 植物为优势,其它种类有骤尖楼梯草 (*Elatostema cuspidatum*)、绿萼凤仙花 (*Impatiens chlorosepala*)、开口箭 (*Tupistra chinensis*)、黑足鳞毛蕨 (*Dryopteris fuscipes*) 等。此外群落内层间植物也十分丰富,附生的蕨类植物有近邻槲蕨 (*Drynaria propinqua*)、凤丫蕨 (*Coniogramme japonica*)、落蕨 (*Mecodium badium*) 等,藤本及藤状灌木有小齿钻地风 (*Schizophragme integrifolium* f. *denticulatum*)、

菝葜 (*Smilax china*)、悬钩子 (*Rubus* spp.) 等。

1.2 研究方法

研究地选择在元宝山冷杉坪西北坡,采用样线法进行林窗调查。在该群落范围内随机设置 2 条相隔 30m 的样线,每条样线长度 300m。根据林冠林窗和扩展林窗的定义^[3],林冠林窗大小为林冠在地面上的垂直投影所围成的面积,扩展林窗大小为周围树木的基干在地面上的所围成的面积。林窗面积的计算使用相关研究的方法^[9,15],即假定林窗为一椭圆形,测量每个林窗的最大直径 (L) 和与其中心相垂直的直径 (W),用公式 $S = \pi L W / 4$ 计算林窗面积,其中 S 为林窗面积, L 为椭圆长轴长度, W 为椭圆短轴长度。同时,记录林窗形成木的种类、数量、胸径及形成方式等特征。在扩展林窗内采用随机取样方法,以 $1\text{m} \times 2\text{m}$ 样方对林窗内高度 $H \leq 50\text{cm}$ 的乔木幼苗进行调查(根据林窗面积大小,每个林窗内 2~4 个样方不等)。同时,在每个林窗附近的林冠下以 $1\text{m} \times 2\text{m}$ 样方对林冠下高度 $H \leq 50\text{cm}$ 的乔木幼苗做对照调查。

2 结果与分析

2.1 林窗大小结构

元宝山中山针阔叶混交林林窗数 21 个,林冠林窗的最大面积为 58.7m^2 ,最小面积仅为 6.9m^2 ,平均面积为 23.8m^2 。大于 50m^2 的林窗仅有 2 个,其余的林窗面积都小于 50m^2 ,而且 $5\sim 15\text{m}^2$ 的林窗数量最多,有 8 个,占有林窗数的 38.1%,占林窗面积的 15.7%(表 1)。对于扩展林窗,最大面积为 157.0m^2 ,最小面积为 21.2m^2 ,平均面积为 68.7m^2 ,大于 100m^2 的林窗有 4 个,以面积 $50\sim 100\text{m}^2$ 的林窗居多,共有 11 个,占有林窗数的 52.3%,占林窗面积的 51.8%(表 2)。元宝山中山针阔叶混交林的林窗面积普遍比较小,以小林窗为主。这与文献^[2,10,16]研究得到的结果一致。

2.2 林窗形成方式

根据调查得到的 21 个林窗的资料,该群落林窗的形成有 4 种方式:(1)根拔倒木。倒木都是生长在较陡的坡面上的老龄树木,由于积雪和风吹使树木根拔翻倒。(2)枯立。即林冠层乔木由于病虫害或生理因素近于衰老后,枝叶脱落,主干枯死且伫立在林中。这种方式形成的林窗面积较小。(3)折大枝。这种方式通常是枝条在风力或雪压等外力的作用下发生的,形成的林窗也较小。(4)人为砍伐。该群落中的南方红豆杉,是珍贵的木材树种,是一些违法分子的主要盗伐对象,这些砍伐行导致了林窗的形成。此次调查中面积最大林窗就是一株胸径 72.5cm 的南方红豆

杉被砍伐而形成的。

表1 元宝山中山针阔叶混交林林冠林窗大小结构

Table 1 Size structure of canopy gap of mid-montane mixed needle broad-leaved forest in Yuanbao mountain

林冠林窗 Gap Size (m ²)	林窗数量(个) Numbers of CG	数量比例 Percents of amount(%)	面积比例 Percents of area(%)
5~15	8	38.1	15.7
15~30	6	28.6	23.6
30~50	5	23.8	38.7
50~70	2	9.5	22.0
合计 Total	21	100	100

表2 元宝山中山针阔叶混交林扩展林窗大小结构

Table 2 Size structure of extended gap of mid-montane mixed needle broad-leaved forest in Yuanbao mountain

扩展林窗 Gap size (m ²)	林窗数量(个) Numbers of CG	数量比例 Percents of amount(%)	面积比例 Percents of area(%)
<50	6	28.6	13.1
50~100	11	52.3	51.8
100~150	3	14.3	24.2
150~200	1	4.8	10.9
合计 Total	21	100	100

从表3结果可以看出,根拔倒的形成木有10株,折干的形成木有16株,分别占形成木总数的31.3%和50.0%,折干和根拔倒是该植被林窗形成的主要方式。

表3 元宝山中山针阔叶混交林林窗形成木形成方式和种类

Table 3 Forming modes and species of gap-makers of mid-montane mixed needle broad-leaved forest in Yuanbao mountain

形成木种类 Species of gap-makers	根拔倒木 Treefall	枯立 Stand- ing death	折枝 Branch break	砍伐 Fell- ing
包果石栎 <i>Lithocarpus cleistocarpus</i>		1	7	
褐叶青冈 <i>Cyclobalanopsis stewardiana</i>			4	
南方红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>mairei</i>	2			1
马蹄参 <i>Diplopanax stachyanthus</i>	1		3	
大八角 <i>Illicium majus</i>	3			
芬芳安息香 <i>Styrax odoratissimus</i>	2			
南方铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>			2	
椴叶吴茱萸 <i>Tetradium glabrifolia</i>	1			
短梗新木姜子 <i>Neolitsea brevipes</i>	1			
枯立未知 Dead standing tree		4		
合计 Total	10	5	16	1

2.3 林窗形成木数量和种类

从表3可以看出,在调查的21个林窗中,共有32株形成林窗的形成木,林窗内形成林窗的形成木的数量最多的有3个,最少的仅1个。一般由1株树形成的林窗最多,占12个,由2株树形成的林窗占7个,而由3株树所形成的林窗仅有2个。可见在元宝山中山针阔叶混交林中,绝大多数的林窗是由1~2株形成木形成的。形成林窗的树种主要是包果石栎、褐叶青冈、南方红豆杉、马蹄参等上层树种,以及大八角、芬芳安息香、椴叶吴茱萸等乔木中层树种。其中,包果石栎、褐叶青冈、马蹄参是形成林窗的最主要树种,而形成方式又以折大枝为主。南方红豆杉有2株倒木和1株被砍伐,南方铁杉也是以折大枝的情况而形成林窗。大八角、芬芳安息香、椴叶吴茱萸、短梗新木姜子等乔木中层树种则以倒木为主。枯立的树干有5株,其中4株已无法辨认,另1株为包果石栎。

包果石栎等上层优势乔木高大粗壮,冠幅大,折断或倒后形成较大林间空隙,形成林窗。大八角、短梗新木姜子等低矮的下层树种,矮小且冠幅面积小,即便倒伏,仍有上层乔木林冠所遮蔽,很难形成林窗。

2.4 林窗内植被更新

乔木幼苗的萌发和生长与其周围的小环境密切相关,当元宝山中山针阔叶混交林林窗形成后,林窗内小环境的改变往往会导致幼苗组成上的巨大差异。我们在21个林窗126m²的取样面积上共记录到高度H≤50cm的乔木幼苗34种,而在林冠下对照样地中的乔木幼苗种类只有24种,两者共有的乔木幼树种类有20种。林窗内的乔木幼苗种类明显多于林冠下的乔木幼苗种类。

林窗内乔木幼苗的总密度为19441株·hm⁻²,林冠下乔木幼苗的总密度为11189株·hm⁻²,前者远远高于后者(表4)。在林窗和林冠共有的乔木幼苗种类中,除短梗新木姜子(*Neolitsea brevipes*)、尾叶山茶、乔木茵芋、清香木姜子(*Litsea euosma*)和光叶细刺冬青(*Ilex hylonoma* var. *glabra*)外,其它种类在林窗内的密度都大于林冠下,可见林窗在保存森林物种多样性和推动森林更新方面具有重要作用^[17,18]。有些树种的幼苗只出现在林窗内,如桂南木莲、马蹄参、细柄莢叶五加、芬芳安息香(*Styrax odoratissimus*)、椴叶吴茱萸、褐叶青冈、青榨槭(*Acer davidii*)等,表明这些树种的更新与林窗有密切的关系。

根据乔木幼苗在林窗内外相对多度的差异,可将元宝山中山针阔叶混交林内的主要乔木幼苗分为4类:(1)在林窗内外相对多度都排位较前。如红皮木

表 4 元宝山中山针阔叶混交林林窗及林冠下乔木幼苗的组成特征

Table 4 Tree seedling species composition in gaps and under canopy in the mid-montane mixed needle broad-leaved forest in Yuanbao mountain

种名 Species	密度 Density (N · hm ⁻²)		相对多度 Relative abundance	
	林窗 Gap	林下 Non-gap	林窗 Gap	林下 Non-gap
红皮木姜子 <i>Litsea pedunculata</i>	3175	2778	16.32	24.81
五裂槭 <i>Acer oliverianum</i>	2302	159	11.83	1.42
大八角 <i>Illicium majus</i>	1825	635	9.39	5.67
元宝山冷杉 <i>Abies yuanbaoshanensis</i>	1587	1270	8.16	11.34
南方红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>mairei</i>	1349	79	6.93	0.71
短梗新木姜子 <i>Neolitsea brevipes</i>	1190	1508	6.12	13.47
桂南木莲 <i>Manglietia conifera</i>	794		4.08	
细枝柃 <i>Eurya loquiana</i>	714		3.67	
灯笼树 <i>Enkianthus chinensis</i>	635	397	3.27	3.55
杜鹃一种 <i>Rhododendron</i> sp.	635	317	3.27	2.84
红岩杜鹃 <i>Rhododendron haofui</i>	476	238	2.45	2.13
马蹄参 <i>Diplopanax stachyanthus</i>	476		2.45	
细柄黄叶五加 <i>Gamblea ciliata</i>	476		2.45	
细齿吊钟 <i>Enkianthus serrulatus</i>	397	397	2.04	3.55
尖叶柃 <i>Eurya acuminatissima</i>	397	238	2.04	2.13
南烛 <i>Lyonia ovalifolia</i>	317	79	1.63	0.71
芬芳安息香 <i>Styrax odoratissimus</i>	317		1.63	
美丽马醉木 <i>Pieris formosa</i>	317		1.63	
尾叶山茶 <i>Camellia caudata</i>	238	635	1.22	5.67
西南白山茶 <i>C. pitardii</i> var. <i>alba</i>	238		1.22	
乔木茵芋 <i>Skimmia arborescens</i>	159	238	0.82	2.13
褐叶青冈 <i>Cyclobalanopsis stewardiana</i>	159		0.82	
椴叶吴茱萸 <i>Tetradium glabrifolia</i>	159		0.82	
亮叶厚皮香 <i>Ternstroemia nitida</i>	159		0.82	
青榨槭 <i>Acer davidii</i>	159		0.82	
野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	159		0.82	
清香木姜子 <i>Litsea euosma</i>	79	556	0.41	4.96
光叶细刺冬青 <i>Ilex hylonoma</i> var. <i>glabra</i>	79	397	0.41	3.55
江南山柳 <i>Clethra delavayi</i>	79	79	0.41	0.71

续表 4

Continue table 4

种名 Species	密度 Density (N · hm ⁻²)		相对多度 Relative abundance	
	林窗 Gap	林下 Non-gap	林窗 Gap	林下 Non-gap
网脉木犀 <i>Osmanthus reticulatus</i>	79	79	0.41	0.71
白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	79	79	0.41	0.71
三花冬青 <i>Ilex triflora</i>	79	79	0.41	0.71
包果石栎 <i>Lithocarpus cleistocarpus</i>	79		0.41	
光叶石栎 <i>L. hancei</i>	79		0.41	
南方铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>		397		3.55
粗榧 <i>Cephalotaxus sinensis</i>		317		2.84
毛山矾 <i>Symplocos groffii</i>		159		1.42
美脉花楸 <i>Sorbus caloneura</i>		79		0.71
合计 Total	19441	11189	100	100

姜子、短梗新木姜子和元宝山冷杉,表明这类树种能充分利用林窗内外的环境资源,保持自己种群的优势地位,并起到维持群落稳定性的作用。(2)林窗内的相对多度明显高于林冠下。如五裂槭、南方红豆杉、大八角等,表明这类树种幼苗更适应林窗下的更新,而随着林窗的逐渐郁闭,环境对其越来越不利,在与适应于林冠下生境树种的竞争中处于劣势,从而作为伴生树种出现在乔木层中。(3)林窗内的相对多度明显低于林冠下。如尾叶山茶、清香木姜子和南方铁杉等,表明这类树种幼苗较为适应林窗下的更新,在林窗的更新过程中,这类树种对生态位的占据能力不断加强,进而巩固在群落中的优势地位。(4)在林窗内外相对多度较为接近,且排位较后。如灯笼树 (*Enkianthus chinensis*)、红岩杜鹃 (*Rhododendron haofui*)、尖叶柃 (*Eurya acuminatissima*)、江南山柳 (*Clethra delavayi*) 等,这类树种往往是乔木下层的常见树种,对林窗和林冠下的生境都较为适应。

林窗内外乔木幼苗组成上的这种差异进一步说明林窗的形成使小环境发生了改变,使许多不能在林冠下正常更新的树种,如南方红豆杉、五裂槭等,得以在林窗内生长,增加了林窗内幼苗的种类和数量,推动了中山针阔叶混交林群落的自然更新过程。

3 讨论

(1)该群落分布在元宝山的山体顶部,冬季强劲的风力和厚重的冰雪是形成林窗的主要外部驱动力。在风力作用下,一些衰老和受病虫害侵扰的林冠层乔木发生根倒。在冰雪积压下,一些横展的大枝条发生

折断。在 32 株林窗形成木中,根拔倒和折大枝方式,分别占 31.3%和 50%。根拔倒和折大枝是该群落林窗形成的主要方式。

在林窗的形成木中主要是乔木上层的常绿阔叶树种包果石栎、马蹄参等,而元宝山冷杉和南方铁杉则很少参与到林窗的形成。可见,相对于常绿阔叶树种,元宝山冷杉和南方铁杉更能适应这种冬季冰挂和雪压的不利环境,其针形的树叶和斜展的枝条都有利于减轻冰雪对其的压迫,减少机械损伤机率。因此,元宝山冷杉和南方铁杉能长期占据群落的上层空间,使群落外貌保持动态的稳定。

(2)元宝山中山针阔叶混交林的林冠林窗和扩展林窗分布面积都较小,林冠林窗平均面积为 23.8 m²,扩展林窗的平均面积为 68.7 m²,明显小于针叶林类型植被的林窗面积^[10,19]。这也与林窗的形成主要以折大枝为主有关系,折枝形成的林窗面积通常较小^[15],加上本群落的上层乔木如元宝山冷杉、南方铁杉和包果石栎,高度多在 20 m 以上、侧枝横展、冠幅较大的原因,当有林窗出现时,上层乔木的侧向生长较为明显,迅速占据林窗的上层空间,使得林冠林窗的面积较小。而由于该群落内植株密度较大,中下层乔木数量多,当 1 株上层乔木倒伏后,中下层乔木树种的树冠在林窗四周形成遮覆,占据了扩展林窗中的很大一部分面积,使得扩展林窗的面积也较小。

(3)元宝山中山针阔叶混交林乔木上层优势树种的幼苗,在林窗和林冠下表现出不同的分布格局。元宝山冷杉幼苗在林冠下和林窗里都有较多的数量,使其在林窗内外均能更新,这是由元宝山冷杉早期幼苗的生长阶段需要一定隐蔽而到了成年阶段需要充足光照的生物生态学特征和元宝山冷杉对高寒温凉气候的适应性所共同决定的^[20];南方铁杉的幼苗只分布在林冠下,对林窗更新反应不显著,表现为群落顶级树种的更新特征^[18];包果石栎的幼苗数量十分稀少,这也说明了常绿阔叶树种的更新需要较大面积的林窗^[5];南方红豆杉的幼苗主要分布在林窗中,对林窗更新反应显著,而且南方红豆杉还有特殊的克隆繁殖现象^[21],通过无性系繁殖扩大其种群空间。南方红豆杉在种群更新上正是基于林窗更新和克隆繁殖这 2 个特点,使其能长期在群落稳定存在。可见,该群落上层乔木优势树种表现出了不同的林窗更新特点,林窗的存在不仅增加了森林的物种丰富度,为不同树种的更新提供了必要的生态基础,同时也维持了森林结构的稳定性,使多种树种得以共存。

参考文献:

[1] 梁晓东,叶万辉.林窗研究进展[J].热带亚热带植物学广西科学 2010 年 11 月 第 17 卷第 4 期

报,2001,9(4):355-364.
[2] 王家华,李建东.林窗研究进展[J].世界林业研究,2006,19(1):27-30.
[3] 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.
[4] 臧润国,余世孝,刘静艳,等.海南霸王岭热带山地雨林林隙更新规律的研究[J].生态学报,1999,19(2):151-158.
[5] 刘静艳,王伯荪,臧润国.南亚热带常绿阔叶林林隙形成方式及其特征的研究[J].应用生态学报,1999,10(4):385-388.
[6] 包维楷,刘照光,袁亚夫,等.瓦屋山中亚热带湿性常绿阔叶林的林窗形成特征[J].应用生态学报,2001,12(4):485-490.
[7] 何永涛,李贵才,曹敏,等.哀牢山中山湿性常绿阔叶林林窗更新研究[J].应用生态学报,2003,14(9):1399-1404.
[8] 谢宗强.银杉(*Cathaya argyrophylla*)林窗更新的研究[J].生态学报,1999,19(6):775-779.
[9] 吴宁.贡嘎山东坡高山针叶林的林窗动态研究[J].植物生态学报,1999,23(3):228-237.
[10] 刘庆,吴彦,吴宁.玉龙雪山自然保护区丽江云杉林林窗特征研究[J].应用生态学报,2003,14(6):845-848.
[11] 鲜俊仁,胡庭兴,王开运,等.川西亚高山针叶林林窗特征的研究[J].生态学杂志,2004,23(3):6-10.
[12] 吴刚.长白山红松林林冠空隙特征的研究[J].应用生态学报,1997,8(4):360-364.
[13] 苏宗明,黄玉清,李先琨.广西元宝山南方红豆杉群落特征的研究[J].广西植物,2000,20(1):1-10.
[14] 欧祖兰,苏宗明,李先琨,等.元宝山冷杉群落学特点的研究[J].广西植物,2002,22(5):399-407.
[15] 李贵才,何永涛,韩兴国.哀牢山中山湿性常绿阔叶林林窗特征研究[J].生态学杂志,2003,22(3):13-17.
[16] 兰国玉,雷瑞德,安峰,等.秦岭中龄华山松群落林窗特征初步研究[J].西北林学院学报,2005,20(4):48-51.
[17] 梁晓东,叶万辉,蚁伟民.林窗与生物多样性维持[J].生态学杂志,2001,20(5):64-68.
[18] 臧润国.林隙(gap)更新动态研究进展[J].生态学杂志,1998,17(2):50-58.
[19] 刘庆,吴彦.滇西北亚高山针叶林林窗大小与更新的初步分析[J].应用与环境生物学报,2002,8(5):453-459.
[20] 李先琨,向悟生,欧祖兰,等.濒危植物元宝山冷杉与南方红豆杉种群生态学研究[M].北京:科学出版社,2006:41-46.
[21] 李先琨,向悟生,苏宗明.南方红豆杉无性系种群结构和动态研究[J].应用生态学报,2004,15(2):177-180.

(责任编辑:邓大玉)