

# 茂兰喀斯特森林林隙树种更新及其与环境的相关性分析

龙翠玲<sup>1,2</sup>, 余世孝<sup>1,2</sup>

(1. 贵州师范大学地理与生物科学学院, 贵州 贵阳 550001; 2. 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275)

**摘 要:** 通过对茂兰喀斯特森林林隙更新状况及林隙环境特征的调查, 分析了茂兰喀斯特森林主要树种在不同大小和年龄林隙中的更新密度、无性繁殖特征以及林隙特征、立地条件等因素对树种更新密度的影响。结果表明: 不同树种的更新密度随林隙大小的变化因树种的耐荫性强弱而存在差异, 表现为耐荫性较强的树种在小面积林隙中更新密度较大, 而耐荫性较弱树种在大面积林隙中更新密度较大; 主要树种的更新密度随林隙年龄的变化曲线有单峰型和双峰型两种类型, 可用多项式进行最好的拟合; 大部分树种在林隙中的萌枝率较非林隙中的高, 无性繁殖的幼苗数量随林隙面积的增大而增多, 随林隙年龄的增大而减少, 表明林隙的形成对喀斯特森林的无性繁殖也有显著的促进作用, 无性繁殖亦是喀斯特森林的重要更新对策; 林隙面积、年龄、枯落物厚度及小生境类型等是林隙树种更新的主要影响因子。

**关键词:** 喀斯特森林; 林隙更新; 无性繁殖; 林隙特征; 相关性分析

**中图分类号:** Q948.3

**文献标识码:** A

林隙 (gap) 广泛分布于森林, 是森林更新的起点, 也是森林自然演替的一种重要机制<sup>[1]</sup>。因此, 对林隙更新过程的探讨日益成为森林动态学研究的一个重要领域。目前有关林隙更新的研究主要集中在林隙与非林隙植物更新的差异<sup>[2-4]</sup>以及林隙大小和发育阶段对林隙更新的影响<sup>[5-7]</sup>等方面。迄今为止, 林隙更新动态的研究已较为充分, 但以往的研究均为对林隙植物有性繁殖特性的研究, 有关林隙更新过程中植物的无性繁殖以及林隙微环境特征对植物更新的影响等方面的研究很少见报道。喀斯特森林是我国南方地区广为分布的植被类型, 是一类特殊的森林生态系统, 蕴藏着丰富的生物多样性。由于人类的破坏, 大面积的喀斯特植被处于退化状态。因此, 对喀斯特植被更新规律及物种多样性维持机制的研究具有重要的现实意义。有关喀斯特森林的

林隙特征、更新对策等方面已有了一些研究工作<sup>[8-9]</sup>, 在此基础上开展林隙更新与环境特征相互关系的研究, 将有助于深入分析喀斯特森林的循环更新机制及动态规律, 为此类森林的合理保护和持续经营提供科学依据。

## 1 研究地点与研究方法

### 1.1 研究地点概况

研究地位于贵州省南部黔、桂交界处的茂兰国家级喀斯特森林自然保护区 (25°09'~25°20'N, 107°52'~108°05'E)。区内为典型的喀斯特峰丛地貌, 海拔最高 1 078.6 m, 最低 430 m, 平均 800 m 以上。成土母岩以中下石炭纪白云岩及石灰岩为主。年均温 15.3℃, 7月均温 26.4℃, 1月均温 8.3℃, >

收稿日期 (Received date): 2007-06-01; 改回日期 (Accepted): 2007-10-11。

基金项目 (Foundation item): 贵州省自然科学基金 (黔科合 J 字 (2007) 2049 号) [Supported by Natural Science Foundation of Guizhou Province No (2007) 2049]

作者简介 (Biography): 龙翠玲 (1973-), 女, 侗族, 贵州锦屏县人, 副教授, 博士, 主要从事自然资源学及植被生态学的教学和研究。Tel 13595078295, E-mail: longcuiling898@163.com [Long Cuiling (1973-), Female, born in Guizhou Province, associated professor, Ph.D. work mainly on natural resource science and plant ecology.]

10℃积温 5 727.9℃, 年均降雨量 1 320.5 mm, 全年平均相对湿度 83%。土壤以黑色石灰土为主, 土层浅薄, 地面岩石裸露, pH 7.5~8.0 有机质和全氮含量特别丰富。

具体调查区域在保护区核心区顶极常绿阔叶林内进行, 主要植被以耐旱、喜钙类型为主。林分郁闭度 0.95, 平均树高 20 m, 平均胸径约 25 cm, 优势乔木高达 30.5 m, 胸径达 45 cm。群落乔木层树种主要有圆果化香 (*Platycarya longipes*)、翅荚香槐 (*Cladrastis platycarpa*)、青冈 (*Quercus glauca*)、栲木石楠 (*Photinia davidsoniae*)、掌叶木 (*Hameliodendron balinieri*) 等。灌木层主要有湖北十大功劳 (*Mahonia confusa*)、球核荚蒾 (*Viburnum propinquum*)、贵州悬竹 (*Ampelocalamus calcareus*) 等。草本地被层有庐山楼梯草 (*Elatostema stewartii*)、翠云草 (*Selaginella uncinata*)、柳叶蕨 (*Cyrtogonellum fraxinellum*) 等植物。

## 1.2 研究方法

2003年在茂兰保护区核心区选取森林群落类型一致的典型地段设置标准地, 面积约为 30 hm<sup>2</sup>。在标准地中设置 10 m × 10 m 的样地, 在样地内寻找林隙。当发现林隙时, 辨认林隙形成木的种类, 测量其胸径和高度。由于调查时条件的限制, 我们以倒木或枯立木腐烂级与附近林区 1974年择伐时遗留的伐倒木腐烂程度进行对照来大致估测林隙形成木的年龄。对每棵林隙边缘木做树冠投影图, 林隙大小由周围边缘木组成的多边形求算。采用相邻网格法, 在林隙中设置 1 m × 1 m 的小样方, 分别记载每一林隙中所有乔木、灌木的种类、个体数、高度、胸径或基径以及乔灌木幼苗的种类、个体数、盖度及发生类型(实生或萌生)等内容, 同时记载林隙的特征(形状、边缘木高度、成因)以及林隙立地条件(坡位、坡度、坡向、枯落物厚度、小生境类型)等内容, 共调查林隙 30个。

## 2 结果与分析

### 2.1 主要树种在不同大小林隙中的更新密度

不同树种在不同大小林隙内的平均密度的变化情况见图 1。由图 1可知, 各树种对林隙大小的反应虽然各不相同, 但也表现出一定的共性: 除光叶榉 (*Zelkova serrata*) 外, 大部分树种都呈中间高两头低的变化趋势, 即更新密度在中等面积林隙较大, 而小

面积和大面积林隙较小; 50~100 m<sup>2</sup> 左右的林隙中, 黄梨木 (*Boniodendron minus*) 的平均更新密度趋于最大, 而随着林隙面积的增大, 表现出比较明显的下降趋势, 但在林隙面积为 200~250 m<sup>2</sup> 时又有峰值出现。光叶榉在林隙面积为 300~350 m<sup>2</sup> 时, 其平均更新密度出现很明显的峰值。多脉榆 (*Ulmus castaneifolius*)、栲木石楠和翅荚香槐在林隙面积为 150~200 m<sup>2</sup> 时, 平均更新密度出现明显峰值, 而多脉榆在 ≥ 350 m<sup>2</sup> 时又出现一峰值, 但峰值较小。

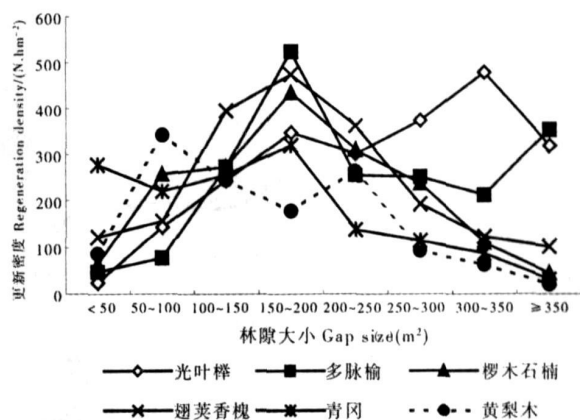


图 1 6个树种的更新密度随林隙大小的变化

Fig 1 The regeneration response of 6 tree species to gap size

### 2.2 主要树种在不同年龄林隙中的更新密度

由图 2可知, 不同树种更新密度随林隙年龄的变化趋势不一。多脉榆、光叶榉的更新密度属急剧下降型, 在林隙年龄 < 10 时最大, 但随后便迅速下降, 30 a 后两树种更新密度保持一定水平, 如圆果化香、香叶树 (*Lindera communis*)、云贵鹅耳枥 (*Carpinus pubescens*)、黄连木 (*Pistacia chinensis*) 等树种属此类型。栲木石楠、翅荚香槐和青冈的更新密度随林隙年龄的增大呈单峰型变化, 但它们峰值出现的时间有差别。青冈属早期单峰型, 峰值出现在林隙形成的前 20 a 内, 如小叶青冈 (*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、黄杞 (*Engelhardtia roxburghiana*)、大叶冬青 (*Ilex latifolia*)、美脉琼楠 (*Beilschmiedia deliata*) 等属此类型。翅荚香槐属中期单峰型, 峰值出现在林隙中期的 20~30 a 间, 如长梗罗伞 (*Brassaiopsis glomerulata*)、四照花 (*Dendrobenthamia japonica*)、轮叶木姜子 (*Litsea verticillata*)、樟叶槭 (*Acer cinnamomifolium*) 等属于此类型。栲木石楠属后期单峰型, 峰值出现在林隙后期 30~40 a 间, 如掌叶木、狭叶润楠 (*Machilus rehderi*)、小叶柿 (*Diospyros*

*dumetorum*)、齿叶黄皮 (*Clausena dunniana*) 等属于此类型。而黄梨木的更新密度随林隙年龄的增大呈双峰型, 峰值分别出现在早期林隙 (10 a) 和后期林隙 (30 a) 阶段, 如贵州泡花树 (*Meliosma henryi*)、巴东荚蒾 (*Viburnum henryi*)、尾叶罗伞 (*Brassiopsis producta*) 等属此类型。对每类树种的折线图用幂函数、指数函数、对数函数和多项式进行拟合, 结果发

现, 绝大多数树种的更新密度随林隙发育阶段的变化都可用多项式来得到最好的拟合 (且  $R^2$  值大都在 0.8 以上, 且通过显著性检验,  $P < 0.05$ )。

### 2.3 无性系分株的数量与林隙年龄和面积的相关性分析

以根、干不定芽萌发和根际萌条为主的无性繁殖是植物进行种群繁衍和扩大其分布范围的主要方

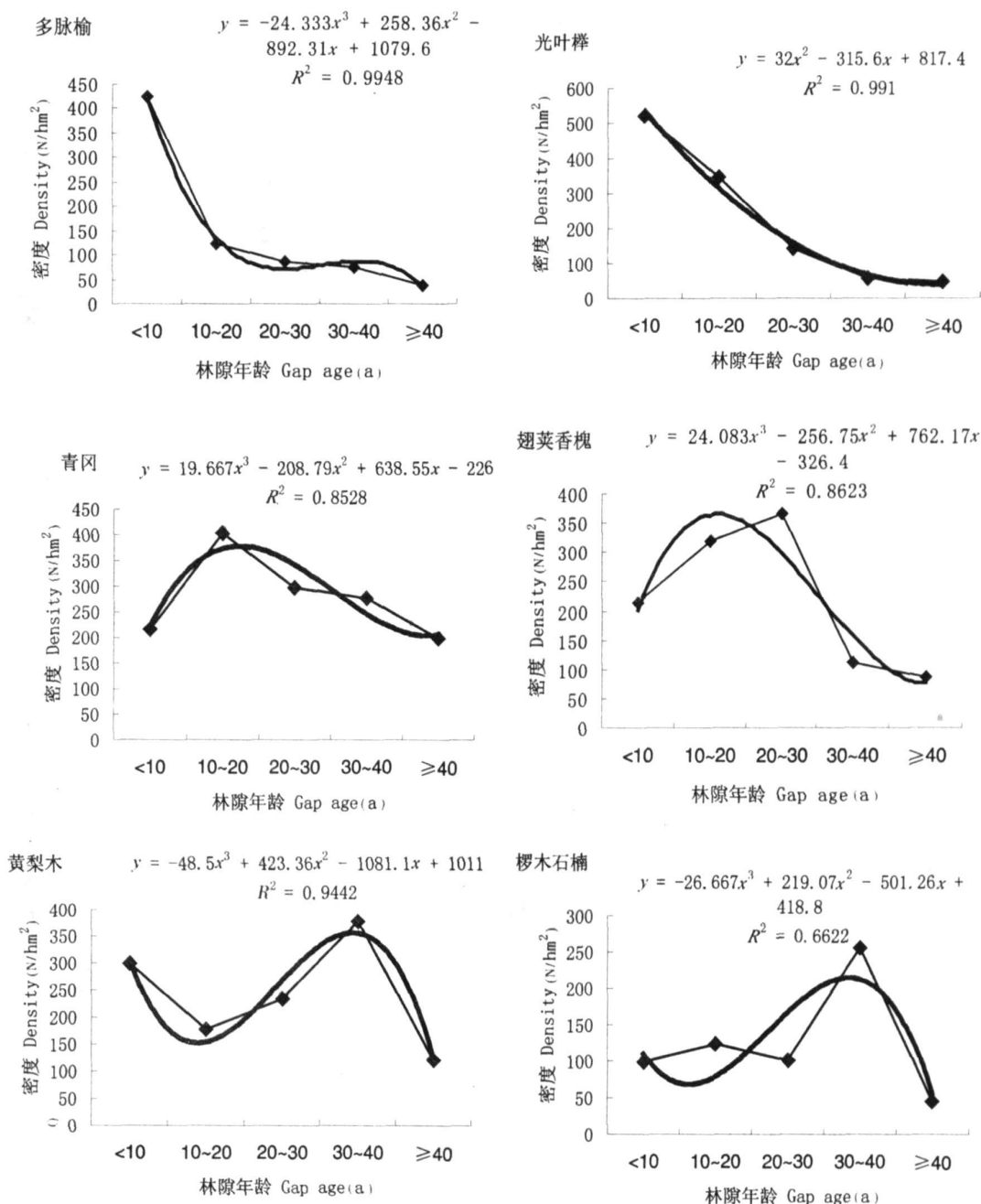


图 2 不同树种的更新密度随林隙年龄的变化

Fig 2 The regeneration response of tree species to gap age

式之一,也是林隙填充的主要途径。统计表明,在所调查林隙中无性繁殖个体数占总个体数的 44% (表 1)。由表 1可知,不同树种在林隙内外的无性繁殖幼苗数量及萌枝率存在差别,大部分树种在林隙中的萌枝率较非林隙中的高,萌芽植株所占比例多数超过 50%。阳性树种比耐荫树种更为突出,如光叶槎、小叶栎树、朴树、多脉榆等阳性树种的萌枝率在林隙中比非林隙的大 40% 以上,表明林隙的形成对喀斯特森林的无性更新也有显著的促进作用。由此

可知,茂兰喀斯特森林中无性繁殖能力强的物种比例高、优势度大、适应性强,都能通过根萌生枝和实生幼苗两种更新方式来维持种群的稳定,也体现了喀斯特森林中树种多以成丛状态分布的特征,这是由其生态习性和喀斯特生境协同作用的结果。无性繁殖和生长与林隙干扰及其所引发的资源状况、生态格局、生态过程的改变有关联,不同年龄和面积的林隙所引起的环境资源的差异对林隙更新过程中无性种群的繁殖、生长有重要影响。由图 3可知,无性

表 1 主要树种在林隙与非林隙中的萌枝率  
Table 1 Comparability for sprouting ratio of the main tree species in gaps and non-gap stand

树种	林隙			非林隙		
	萌枝数	总枝干数	萌枝率(%)	萌枝数	总枝干数	萌枝率(%)
光叶槎 <sup>(6)</sup>	106	192	55.2	23	180	12.8
小叶青冈 <sup>1</sup>	115	205	56.1	36	126	28.5
小叶栎树 <sup>20</sup>	102	186	54.8	12	88	13.6
朴树 <sup>(8)</sup>	142	226	62.8	26	166	15.7
椴木石楠 <sup>(5)</sup>	44	204	21.6	57	228	25.0
黄梨木 <sup>(3)</sup>	32	234	13.7	51	304	16.8
云贵鹅耳枥 <sup>(1)</sup>	268	420	63.8	126	255	49.4
美脉琼楠 <sup>(10)</sup>	142	311	45.7	132	317	41.6
青冈 <sup>-</sup>	177	340	52.1	51	302	16.9
翅荚香槐 <sup>(10)</sup>	74	172	43.0	21	236	8.9
大叶冬青 <sup>(11)</sup>	169	356	47.5	22	188	11.7
多脉榆 <sup>(12)</sup>	170	253	67.2	19	333	5.7
南酸枣 <sup>(13)</sup>	237	473	50.1	30	270	11.1
川桂 <sup>(14)</sup>	177	421	42.0	36	286	12.6

注: (6)*Zelkova serrata*; 1 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*; 20 *Quercus laevis*; (8)*Celtis sinensis*; (5)*Photinia davidsoniae*; (3)*Boniodendron minus*; (1)*Carpinus pubescens*; (10)*Beilschmiedia delavayi*; - *Quercus glauca*; (4)*Cladrastis platycarpa*; 1 *Ilex latifolia*; 17 *Ulmus acutifolia*; (13)*Choerodendron axillare*; 2 *Cinnamomum wilsonii*

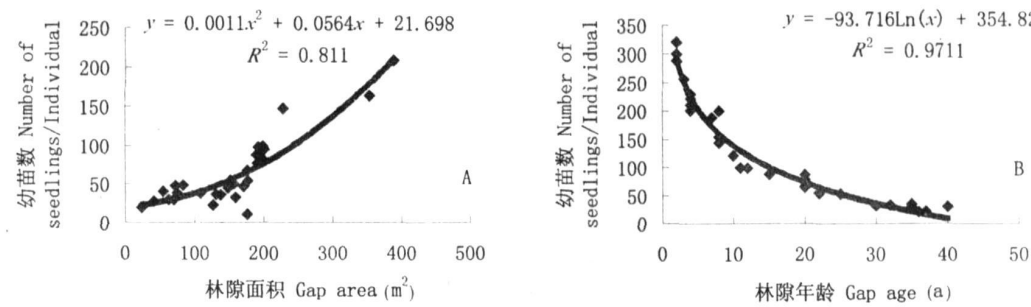


图 3 无性系分株的数量与林隙面积和年龄的相关性  
Fig 3 Relationship between number of ramet and gaps area and age

繁殖的幼苗数量随林隙面积的增大而增多, 而随林隙年龄的增大而减少, 分别可用二次多项式和对数函数进行拟合 (且  $R^2$  都在 0.8 以上, 并通过显著性检验,  $P < 0.05$ )。表明喀斯特森林的无性繁殖能力在大林隙和幼年林隙中较强, 原因可能是在此类林隙中光照条件优越, 因此有利于树木进行萌蘖生长。旁证了无性繁殖在茂兰喀斯特森林林隙更新过程中普遍存在, 亦是喀斯特森林的重要更新对策。

#### 2.4 树种的更新密度与林隙特征的相关性分析

由于林隙环境条件的差异, 使林隙中树种的更新与林隙环境特征密切相关。运用逐步回归方法从 30 个林隙的林隙特征 (面积、年龄、形状、边缘木高度、成因) 以及林隙立地条件 (坡位、坡度、坡向、枯落物厚度、小生境类型) 中筛选影响林隙树木更新密度的主要因子。

##### 1. 树木更新密度与林隙特征的关系

林隙特征 (面积 ( $x_1$ )、年龄 ( $x_2$ )、形状 ( $x_3$ )、边缘木高度 ( $x_4$ )、成因 ( $x_5$ )) 对林隙更新密度的逐步回归方程为

$$D = 1\,952 + 1\,469x_1 - 1\,115x_2$$

复相关系数  $R = 0.884$

式中  $D$ : 幼苗密度,  $x_1$  和  $x_2$  分别为林隙面积和年龄。

##### 2. 树木更新密度与林隙立地条件的关系

林隙立地条件 (坡位 ( $x_1$ )、坡度 ( $x_2$ )、坡向 ( $x_3$ )、枯落物厚度 ( $x_4$ )、小生境类型 ( $x_5$ )) 对林隙更新密度的逐步回归方程为

$$D = 1\,744 + 1\,539x_4 + 0\,636x_5$$

复相关系数

$$R = 0.792$$

式中  $D$ : 幼苗密度,  $x_4$  和  $x_5$  分别为枯落物厚度和小生境类型。

回归分析表明, 林隙面积和年龄对林隙中树木的更新密度有显著影响, 其中林隙面积对树木更新有正效应, 而林隙年龄对树木更新则有负效应。林隙内地表的枯落物厚度和小生境类型对林隙更新影响较大, 而其它因子的影响较小。林隙内地表枯落物厚度对树木更新有显著的正相关关系。

### 3 讨论

林隙大小和年龄是林隙的重要特征, 它们影响着林隙内的环境因子及其组合状况以及资源对植物

的有效性。通过生态因子的影响, 林隙大小和年龄对各种植物的生长和繁殖产生不同的作用, 进而影响到各种植物在林隙内的优势程度以及种间关系的变化。所以林隙研究者常以林隙大小和年龄作为林隙干扰的重要特征来研究树种的更新反应规律。不同树种的更新密度随林隙面积的变化规律表明:  $150 \sim 200 \text{ m}^2$  和  $\geq 350 \text{ m}^2$  的林隙, 是树种更新密度形成峰值的两个区域, 这两个面积范围的林隙物种多样性也最高。尤其是  $150 \sim 200 \text{ m}^2$  左右, 是树种平均更新密度发生变化的一个敏感区域, 这与南亚热带常绿阔叶林有所不同, 而与中亚热带常绿阔叶林相类似, 在南亚热带常绿阔叶林中  $500 \text{ m}^2$  左右林隙是树种平均更新密度发生变化的一个敏感区域<sup>[10]</sup>, 而在中亚热带常绿阔叶林中为  $100 \sim 200 \text{ m}^2$ <sup>[11]</sup>。除青冈外, 其他树种在林隙面积  $< 50 \text{ m}^2$  时, 其更新密度较小, 而在  $150 \sim 200 \text{ m}^2$  的林隙中更新密度达到最大, 光叶桦则是在林隙面积为  $300 \sim 350 \text{ m}^2$  左右达到最大。这种反应形成原因可能是: 在  $< 50 \text{ m}^2$  的林隙内, 更新环境有所改善, 资源有效性比林下增大, 所以其中的密度大于林下。但在  $< 50 \text{ m}^2$  的林隙内的环境条件仍受周围大树的影响较大, 此时的环境条件只适合如青冈、黄梨木等耐荫树种和喜阳耐荫树种的生存, 因此, 在  $< 50 \text{ m}^2$  的林隙内, 大多数树种的更新密度不会太大。当林隙为  $200 \text{ m}^2$  左右时, 林隙内的环境条件和资源有效性比林下有明显的改善, 从而促进了树种的大量更新, 所以, 这么大的林隙内, 大多数树种的更新密度最大。但当林隙面积大于  $200 \text{ m}^2$  以后, 林隙内的环境空间和资源有效性比林下更加增大, 特别是光照条件十分充足, 而这样的条件却又大大地促进了草灌木的大量繁殖, 这些草灌木很快就会占据林隙中的生长空间, 从而对乔木树种的更新起抑制作用, 所以随林隙面积的进一步增加, 乔木树种的更新密度呈减少趋势。光叶桦的最大更新密度出现在面积为  $300 \sim 350 \text{ m}^2$  的林隙中, 这与其生物学特性有关, 因其是喜光树种, 使其在较大的林隙中仍有较好的更新。总而言之, 树种在林隙内的繁殖、生长既受周围大树的影响, 又受到林隙内草本和灌木的作用。树种的更新对林隙大小的反应是各树种的生物、生态学综合特性对林隙内复杂的无机和有机环境因子复合体的系统反应。

林隙面积与年龄是决定林隙环境特征的重要参数, 因而对林隙更新影响较大, 相对而言, 其它因子

影响却较小。就林隙大小看,它对树木更新有明显的正效应,产生这种效应的原因是林隙内环境因子与林下环境因子有所差异,对不同大小林隙的光照测定表明,林隙提高了光照强度,延长了光照时间,有效辐射增强;生长季内地面温度白天上升很快,夜晚迅速下降,在大林隙和中等林隙中这种变化尤为显著,这种较大的温度日较差对提高林木种子萌发可能有良好的作用。因此,对大多数林木而言,适当大小的林隙面积,有利于提高其种子萌发能力及幼苗的存活力,从而增加林隙中树木的更新密度。林隙的年龄与更新密度呈负相关,虽然土壤养分随林隙年龄的增大而增加,但光照条件却随林隙年龄的增大而减小,这表明在喀斯特森林中,由于喜阳耐旱树种较多,光照条件是林木更新初期种子萌发及幼苗定居阶段起决定性的因子。早期林隙光照条件好,对林木的更新有利,因而更新密度较大,随林隙的发育,林分郁闭,光照减弱,对多数树木的更新起限制作用,因而更新密度减小。

枯落物厚度和小生境类型对林隙更新影响较大,由于喀斯特生境中水分胁迫普遍存在,枯落物具有保水蓄水的作用,植物种子经常保持在湿润的环境中是萌发的主要条件之一。因此,在土层浅薄、水分渗漏性强、生境干旱的喀斯特生境中,枯落物对地表水分的贮存作用是林木更新成功与否的关键因子。林隙地面的小生境类型也对林木更新有重要影响,这种作用体现在两个方面:一方面是在喀斯特生境中岩石裸露率高,如果石沟、石缝等裂隙形成的小生境发育充分,则可以聚集较多的枯落物,这无疑对林木的更新是有利的;另一方面则是林隙形成后,由于倒木对其根部附近的土壤和树倒范围的植被产生明显的影响,进而引起小尺度的生境异质性,这对林木更新的幼苗密度和格局产生重要影响。调查中发现,更新幼苗常常集聚分布于倒木坑和倒木丘及腐烂的倒木上等微生境中,在各林隙中占调查幼苗总数的 40% 以上,特别是在岩石裸露率高,生境严酷的喀斯特生境中,倒木坑、倒木丘及倒木腐烂后所形成的粗腐质质层将成为林木种子萌发及幼苗定居的“安全岛”,对喀斯特森林的更新具有重要意义,这也可能是林隙中幼苗呈集群分布的原因之一。因此,森林更新是一个具体到微生境的复杂的生态学过程,林隙的形成提供了多样的微生境而成为森林更新的场所,在森林生物多样性的维持中起着重要的作用。

致谢:野外调查中得到茂兰保护区管理局的大力支持;地理与生物科学学院 2000 级毕业生韦嵘、刘欣、高兰和龙明鼎等参加野外调查,特此致谢!

## 参考文献 (References)

- [1] Brokaw NVL. Gap-phase regeneration in a tropical forest [J]. *Ecology*, 1985, 66: 682~687
- [2] Xie Zongqiang. Gap-regeneration of *Cathaya argyrophylla* forests [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19((16)): 775~779 [谢宗强. 银杉 (*Cathaya argyrophylla*) 林分窗更新的研究 [J]. 生态学报, 1999, 19((6)): 775~779]
- [3] Wang Zhouping, Li Xuguang, Shi Shengyou, et al. A comparison study on the species diversity between the gap and non-gap in Jinyun Mountain [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14((1)): 7~10 [王周平, 李旭光, 石胜友, 等. 缙云山森林林隙与非林隙物种多样性比较研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14((1)): 7~10]
- [4] He Yongtao, Li Guicai, Cao Min, et al. Regeneration in gaps of the middle-mountain moist evergreen broad-leaved forest of Aikou Mountain [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14((9)): 1399~1404 [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]
- [5] Zang Runguo, Xu Huacheng, Gao Wentao. Regeneration response of main tree species to gap size and gap development phase in the Korean pine broad-leaved forest in Jiaohe Northeast China [J]. *Scientia Sinica Sinica*, 1999, 35((3)): 2~9 [臧润国, 徐化成, 高文韬. 红松阔叶林主要树种对林隙大小及其发育阶段更新反应规律的研究 [J]. 林业科学, 1999, 35((3)): 2~9]
- [6] Liu Qing, Wu Yan. Effects of gap size on regeneration of subalpine coniferous forests in Northwest Yunnan [J]. *China J Appl Environ Biol*, 2002, 20((5)): 453~459 [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, 20((5)): 453~459]
- [7] Luo Daqing, Guo Quanshui, Xue Huiying, et al. Characteristics and disturbance status of gaps in subalpine fir forest in Southeast Tibet [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 15((5)): 564~569 [罗大庆, 郭泉水, 薛会英, 等. 藏东南亚高山冷杉林林隙特征与干扰状况研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 15((5)): 564~569]
- [8] Long Cuiling, Yu Shixia, Wei Luming, et al. Disturbance regimes and the characteristics of gaps in Maolan karst forest, Guizhou Province [J]. *Scientia Sinica Sinica*, 2005, 41((4)): 13~19 [龙翠玲, 余世孝, 魏鲁明, 等. 茂兰喀斯特森林干扰状况与林隙特征 [J]. 林业科学, 2005, 41((4)): 13~19]
- [9] Long Cuiling, Yu Shixia, Xiong Zhibin, et al. Species diversity and regeneration in forest gaps of the karst forest in Maolan National Nature Reserve, Guizhou Province [J]. *Biodiversity Science*, 2005, 13((1)): 43~50 [龙翠玲, 余世孝, 熊志斌, 等. 茂兰喀斯特森林林隙的植物多样性与更新 [J]. 生物多样性, 2005, 13((1)): 43~50]

- [10] Zang Runguo, Wang Bosun, Liu Jingyan. Tree species diversity in gaps of different sizes and development stages in lower subtropical evergreen broadleaved forest, South China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 485~488 [臧润国, 王伯荪, 刘静艳. 南亚热带常绿阔叶林不同大小和发育阶段林隙的树种多样性研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 485~488]
- [11] Yan Shujin, Hong Wei, Wu Chengzhen. Gap phase regeneration in Mid-subtropical evergreen broad leaved forest in Wamulin, Fujian [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(6): 25~31 [闫淑君, 洪伟, 吴承祯. 福建万木林中亚热带常绿阔叶林林隙更新研究[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 25~31]

## Tree Regeneration and Its Relationship with Environment in Gaps of Karst Forest in Maolan Nature Reserve, Guizhou Province

LONG Cuiling<sup>1</sup>, YU Shixiao<sup>2</sup>

(1. School of Geography and Life Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2. School of Life Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract** On the base of investigation on regeneration of main trees and environmental characters in gaps of karst forest in Maolan, regeneration density, agamogenesis features of trees in gaps of different sizes and developmental stages and the relationship between tree regeneration and gap traits were studied. The results showed that regeneration density of trees in different size gaps were quite different because of their shade tolerance traits, regeneration density of shade tolerance trees was much in small gaps and non-shade tolerance trees was much in large gaps. There were two types of response curves of regeneration density changes of main trees with gap ages, i.e. the unimodal and double modal. They could be simulated with a multinomial. The rate of germs of most trees was much in gaps than in non-gaps and the number of agamogenesis seedlings became much with gap sizes, but became less with gap ages. Calculation and analyses showed that gaps could also promote agamogenesis of karst forest greatly, and agamogenesis was an important regeneration strategy of karst forest to adapt to gap disturbance. Gap size, gap age, coarse debris depth and microhabitat were main factors relation to regeneration of trees in gaps.

**Key words** karst forest, gap phase regeneration, agamogenesis, gap characteristics, relative analysis