

# 广西马山岩溶山地植被恢复过程的种类更替与小气候动态\*

## Species Replacement and the Dynamics of Microclimate of Karst Upland Vegetation in Guangxi Mashan in the Process of Restoration

覃家科, 李先琨\*\*, 吕仕洪, 向悟生, 陆树华, 区智

Qin Jiako, Li Xiankun, Lü Shihong, Xiang Wusheng, Lu Shuhua, Ou Zhi

(广西植物研究所, 广西桂林 541006)

(Guangxi Institute of Botany, Guilin, Guangxi, 541006, China)

**摘要:**于2002年8月29~30日,采用“空间代替时间”的方法,研究广西马山县岩溶山地封山育林过程中植被种类更替与小气候变化之间的关系。结果表明,封山育林初期生境条件是干燥、高温、低湿,小气候因子日变幅度大,植物群落是一些耐干旱、耐瘠薄的草本和灌木;封山育林中期,植物群落结构包括灌草2个层次,夏季气温开始下降,湿度增大,光照度开始降低,土壤温度波动略为平缓,耐阴的灌木和草本种类增多,原生性森林群落的乔木幼树开始出现;封山育林中后期,群落的平均高度达7~15m,出现乔灌草3个层次的结构,逐渐形成森林小气候,群落内光照强度降低,夏季气温低,湿度增大,基本上由原生性森林群落的组成种类占主导地位,演替初期的阳性先锋草本和灌木种类基本上消失。

**关键词:** 植被 种类更替 小气候 封山育林 岩溶山地

中图法分类号: Q948.11; P642.25 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2005)02-0146-06

**Abstract** To study the microclimate variation on the karst upland forest in Mashan, Guangxi Zhuang Autonomous Region reservation process by methodology of “Temporal for Spatial”, during 29th to 30th, August, 2002. It reveals that in the initial phase of restoration, the habitat tends to be drought and high temperature, with intense daily changes microclimate. In this stage, the communities are mainly made up of sclerophyll grasses and drought-tolerant shrubs. While in the middle phase, the vertical profile of the community can be divided into two distinct layers, shrub and grass. In summer both temperature and intensity of illumination slightly decrease, and the air is more humid in the surveyed site. At the same time, soil temperature is getting less fluctuation. The community is composed with shade-tolerant shrub and grass, inhabiting new woody seedlings belonging to primary forest. Then in the later phase, the community physiognomy presents as high as 7~15m. The vertical profile of the community can be divided into three layers, arborous, shrub, and grass, chiefly dominated by primary forest species. The microclimate of this stage tends to be similar to that of forest, as inside the communities, it is both low illumination intensity and low temperature in summer, yet it is getting much more humid comparatively. Pioneer sun species of grass and shrub, used to dominate in the initial phase, disappear completely.

**Key words** vegetation, species replacement, micro-climate, forest reservation, karst terrain

收稿日期: 2004-05-08

修回日期: 2005-02-16

作者简介: 覃家科(1977-),男,广西融安人,研究员,主要从事植物生态学研究。

\* 国家自然科学基金(30069005),广西自然科学基金(桂科配

0135026),国家科技攻关(2001BA606A-08)项目资助。

\*\* 通讯作者,男,研究员。E-mail: xiankunli@163.com

广西的岩溶山地面积  $9.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占全区总面积

积的 41% , 主要分布在桂西南和桂中北。广西岩溶山地植被的本来面貌表现为高大茂盛, 组成丰富的森林景观, 从外表看不见裸岩<sup>[1]</sup>。由于人类不合理开发利用, 广西岩溶山地植被现已大面积退化, 森林覆盖率极低, 不少地方甚至退化形成石漠化山地。退化后的岩溶山地立地条件差, 在目前条件下难以进行大面积造林, 封山育林是岩溶山地恢复森林植被的有效途径之一<sup>[1~4]</sup>。

目前对岩溶山地森林植被恢复已进行不少研究工作, 包括: 岩区封山育林效果、森林植被恢复、森林自然恢复评价、群落动态、造林树种生理生态学特性及优良造林树种育苗和造林技术等方面的研究<sup>[1, 5~8]</sup>, 也有对群落的小气候特征方面的研究<sup>[9, 10]</sup>, 但是, 总的来说, 关于我国许多森林类型的小气候特征的研究报道并不多见<sup>[11]</sup>。研究岩溶山地森林植被恢复过程种类更替与小气候动态特征的关系将进一步丰富岩溶山地植被与环境关系的研究资料, 并为岩溶山地封山育林、植被恢复提供理论依据。

## 1 研究区概况与调查研究方法

### 1.1 自然条件概况

研究区拉屯位于广西马山县古零镇, 地处 108°19'E, 23°29'N, 是典型的峰丛岩溶地貌, 海拔 600~700m, 土壤为棕色石灰土。当地属于南亚热带气候, 年均气温 21.3℃, 无霜期 300~350d, 降雨量 1666mm, 4~9月为雨季<sup>[12]</sup>。拉屯现存的植被属于人为破坏后通过封山育林形成的次生植被, 有封山 10a、20a、40a 和目前仍然受放牧、取薪严重干扰等形成的次生性群落, 以人为干扰后形成的藤刺灌丛为主, 其次是乔木幼林, 少数为草丛群落。

### 1.2 调查研究方法

#### 1.2.1 植被调查

根据封山育林植被恢复过程的不同阶段, 采用以“空间代替时间”<sup>[13]</sup>的方法, 调查拉屯周边岩溶峰丛洼地环境条件相似的草丛、灌丛、幼年林、成年林 4 个阶段的群落。在不同群落类型内选取典型地段设置样地, 样地大小分别为: 成年林 30 m×20 m, 幼年林 20 m×20 m, 灌丛 10 m×10 m, 草丛 10 m×10 m。成年林、幼年林样地均划分为若干 10 m×10 m 的小样方进行调查, 记录每个小样方内乔木的种类、数量、胸径、高度、冠幅、盖度, 灌木和草本样方调查植物种类、平均高度、盖度等。对各样地乔木层分别算出每个物种的重要值<sup>[14]</sup>, 用它来分析各个种类在群落中所处的位置。物种重要值(%) = 相对密度(%) + 相对频度(%) + 相对显著度(%)。

#### 1.2.2 小气候因子监测

森林小气候观测受天气状况的影响, 为提高数据的可信度和可比性, 本研究选择典型(晴好)天气或小气候差异较为明显的干热季进行观测<sup>[11]</sup>。另外根据岩溶植被生长的主要限制因子(高温、干旱)出现在夏季, 本次小气候监测选择在 2002年 8月 29~30日(晴天)连续 2d 进行, 监测时间从 9:00 至 17:00, 每隔 2h 观测 1次, 中午 12:00 及 14:00 各增加监测 1次。每次监测都是在各群落中选择 3 个典型点同时监测, 监测的指标为各群落内不同高度(0 m、0.5 m、1.5 m 和 3 m)的光照强度、空气温度、空气相对湿度和土壤温度。其中, 光照强度用 ZDS-10 型照度计测定, 空气温度和空气相对湿度采用电子时钟温度计测定, 曲管地温表测定土壤表面下 5cm 处的温度, 地表土温采用水银温度计测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被组成种类更替

#### 2.1.1 草丛

由耕地弃耕封山育林 6~7a 后形成的, 已恢复成具有一定灌木组成的草丛, 群落总盖度达到 83%, 样地内组成种类只有 13 种, 其中草本 6 种, 灌木 4 种, 藤本 3 种。群落内是一些生存能力很强并能在生境恶劣的弃耕地入侵、占领和定居下来的耐干旱、耐瘠薄的阳性草本、灌木和藤本。草本植物以蔓生莠竹(*Microstegium vagans*) 占优势, 高 1.0m, 盖度达到 50%, 其次为油芒(*Echinochloa polystachya*); 灌木以盐肤木(*Rhus chinensis*) 最多, 盖度为 10%; 藤本植物以山葛藤(*Pueraria montana*) 较多, 盖度为 5%。

#### 2.1.2 灌丛

灌丛为封山育林 10a 形成的植物群落, 高度 2.5m, 总盖度 90%, 植物种类有所增加, 样地内总数达 43 种, 以阳性灌木和草本种类为主, 以飞龙掌血(*Toddalia asiatica*)、蔓生莠竹为优势种, 开始有少量的喜荫种类出现(见表 1), 如: 杜荃山(*Maesa japonica*)、卷柏(*Selaginella tamariscina*) 等种类, 原生性森林群落的组成种类有米念巴(*Tirpitzia ovoidea*)、茶条木(*Delavaya yunnanensis*)、假桂乌口树(*Tarenna attenuata*) 等种类。

#### 2.1.3 幼年林

幼年林群落经封育 17a 形成, 草丛和灌丛阶段的阳性先锋种类已基本上被淘汰(表 1), 被阳性常绿或落叶阔叶乔木种类所更替, 已有一定数量的原岩溶山地代表性森林群落的组成种类, 群落以阳性先锋常绿阔叶种类为主, 乔木层分 2 个亚层, 其中第 1 个亚层有 20 种 137 株, 平均高 9m, 盖度 85%, 以黄杞(*Engelhardtia roxburghiana*) 为优势种, 重要值

77. 78,第 2 个亚层乔木有 10 种 24 株,高 3~ 7m 灌木层,盖度 28%,主要种类有紫凌木 (*Decaspermum esquirolii*) 等 乔木更新层发生变化,阳性先锋种类如

Table 1 Dynamic of the component of essential species through succession stages

演替阶段 Succession phase	主要种类 Essential species
草丛 Herbosa stag	盐肤木,蔓生莠竹、油芒白茅、类芦、肾蕨、山葛藤 <i>Rhus chinensis, Microstegium vagans, Ecollopus cotulifer, Imperata cylindrical var. major, Neyraudia reynaudiana, Nephrolepis auriculata, Pueraria montana</i>
灌丛 Shrub stage	飞龙掌血、勾儿茶、黄荆条、杜茎山、西南远志、鹿饭、茶条木、假桂乌口树、阴香、米念巴、蔓生莠竹、类芦、卷柏、莎草 <i>Toddalia asiatica, Berchemia racemosa, Vitex negundo, Maesa japonica, Polygala wattersii, Ficus beecheyana, Delavaya yunnanensis, Tarenna attenuata, Cinnamomum burmanni, Tirpitzia ovoidea, Microstegium vagans, Neyraudia reynaudiana, Selaginella tamariscina, Cyperus sp.</i>
幼林 The saddling stage	黄杞、假肉桂、木姜子属一种、石山樟、阴香、青冈栎、澄广花、紫凌木、假刺藤、龙须藤、五月茶、杜茎山、大蛇根草、针毛蕨、圣蕨、大叶沿阶草、肾蕨 <i>Engelhardtia roxburghiana, Neolitsea levinei, Litsea sp., Cinnamomum saxatile, Cinnamomum burmanni, Cyclobalanopsis glauca, Orophea anceps, Decaspermum esquirolii, Embelia scandens, Bauhinia championi, Antidesma bunius, Maesa japonica, Ophiorrhiza cantoniensis, Nephrolepis sp., Dictyocline griffithii, Ophiopogon Latifolius, Nephrolepis auriculata</i>
成年林 Mature forest	长果冬青、黄杞、青冈栎、樟树、四川钩樟、花榈木、水冬瓜、水锦树、紫凌木、鸭嘴花、杜茎山、新月蕨、蕨菜、茜草 <i>Ilex purpurea, Engelhardtia roxburghiana, Cyclobalanopsis glauca, Cinnamomum camphora, Lindera pulcherrima var. hemsleyana, Ormosia henryi, Adina racemosa, Wendlandia urariifolia, Decaspermum esquirolii, Adhatoda vsica, Maesa japonica, Nephrolepis sp., Pteridium aquilinum, Rubia cordifolia</i>

盐肤木和黄荆条 (*Vitex negundo*) 消失,鳞尾木 (*Lepionurusylvestris*)、黄杞、青冈栎 (*Cyclobalanopsis glauca*) 等乔木幼树出现,草本层仅有 5 种,详见表 1,阳性草本植物种类消失

#### 2. 1. 4 成年林

群落封山育林 43a 形成,封山育林过程中仍受过度伐薪、放牧等轻度干扰,总盖度达 90%,平均高 10m 样地内共有植物 96 种,其中乔木 32 种,104 株由表 1 可知,群落种类进一步发生变化,优势种是原生性森林常绿阔叶林群落更耐荫的种类,阳性先锋常绿阔叶种类退居次要的地位 乔木层优势种不很明显,长果冬青 (*Ilex purpurea*) 稍突出,但重要值仅为 40. 38,其它种类处于共优状态(并非所有类型都是这样)。乔木层分 2 个亚层,第 1 个亚层平均高 10m,覆盖度 70%,以长果冬青为优势种,重要值 47. 90,第 2 个亚层高 3~ 7m,覆盖度 40%,优势种为水锦树 (*Wendlandia urariifolia*),重要值 97. 25 灌木层高 2. 5~ 3m,覆盖度 70%,优势种为紫凌木、鸭嘴花 (*Adhatoda vsica*),杜茎山。草本层高 0. 8~ 1. 2m,盖度 20%,主要有新月蕨 (*Nephrolepis sp.*)、蕨菜 (*Pteridium aquilinum*)、茜草 (*Rubia cordifolia*) 等。

#### 2. 2 小气候变化

##### 2. 2. 1 光照强度变化

草丛阶段,由于植被种类少、结构简单、高度低,除近地层受植被覆盖而光照强度低外,整个群落的光照强度大,波动范围也大。灌丛阶段,除观测日受天气变化影响,3m 处高度的光照强度日变化曲线表现异常外,其余各高度的光照强度日变化曲线表明群落的光照强度均比草丛群落小,但整个群落的光照强度仍然较大 幼年林阶段,各高度的光照日变化趋于一致且比较平缓,光照强度波动范围是 3000~ 20000Lx,波动小,光照强度也变小,林内开始出现荫蔽。成年林阶段,群落结构完善,郁闭度大,透入林内光照较少,以散射漫射光为主,光照强度仅在 600~ 4000Lx 较小范围内波动 从图 1 可看出,从草丛群落恢复到成年林的过程中,随着群落结构的逐渐完善,群落盖度、高度进一步增加,进入群落内的光照强度变小,趋向稳定,并保持在较小的范围内波动

##### 2. 2. 2 空气温度变化

草丛群落空气温度升降快、不稳定(图 2a),空气温度升降与太阳辐射日变化一致,中午时空气温度高,早晚空气温度低。灌丛群落空气温度上升、下降开始缓和,空气温度总体上较前一个恢复演替阶段低。幼年林群落空气温度比灌丛空气温度低(图 2c),大约在 25~ 31°C,波动范围小,早晚和中午的空气温度相

差不多,较稳定。成年林群落空气温度最稳定,仅在 25.5~29.0°C 范围内波动,也是恢复演替过程中空气温度最低的一个群落。由此可见,封山育林过程中,植被程度越高,群落空气温度越低,变幅越小,越稳定。

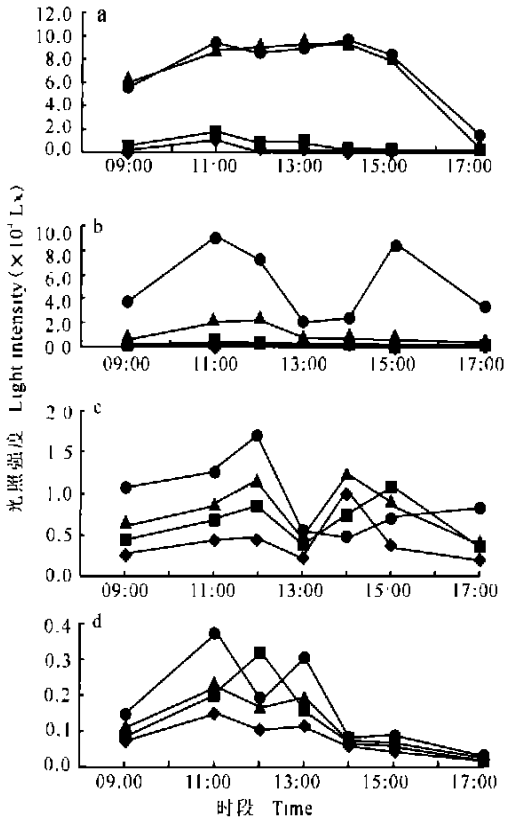


图 1 不同演替阶段的光照强度日变化

Fig. 1 Diurnal variation of illumination intensity in the succession stages

a. 草阶段; b. 灌丛阶段; c. 幼年林阶段; d. 成年林阶段

a. The herbage stage, b. The shrub stage, c. The youth tree stage, d. The adult forest stage

◆: 0m; ■: 0.5m; ▲: 1.5m; ●: 3.0m

### 2.2.3 相对湿度变化

草群落距地面 0.5 m 处的相对湿度大,而距地面 1.5 m 及 3.0 m 处相对湿度小,相对湿度垂直方向上差异明显,在 60%~97% 范围内变动。灌丛群落相对湿度无论在垂直方向上还是水平方向上都比草群落增加,垂直空间差异也变小。恢复至幼年林阶段,群落内相对湿度进一步增加,垂直空间相对湿度差异减小,变动范围在 73.8%~95.3%。成年林阶段,群落内相对湿度最大,垂直方向上保持在 85%~93% 较小范围内变动,各高度从早至晚保持在相对稳定范围内波动。

### 2.2.4 土壤温度变化

草群落种数少,层次简单,盖度低,太阳辐射可直接到达地面,地表温度升降快而不稳定。灌丛群落

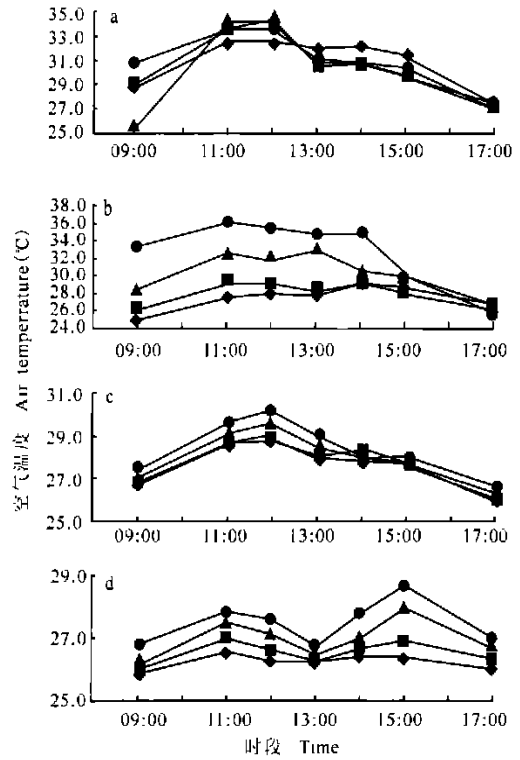


图 2 不同演替阶段的空气温度日变化

Fig. 2 Diurnal variation of air temperature in the succession stages

a. 草阶段; b. 灌丛阶段; c. 幼年林阶段; d. 成年林阶段

a. The herbage stage, b. The shrub stage, c. The youth tree stage, d. The mature forest stage

◆: 0m; ■: 0.5m; ▲: 1.5m; ●: 3.0m

与草群落相比,灌丛群落地表温度明显下降,变化幅度减小。由于频繁采伐灌木和放牧,使幼年林群落受到严重干扰,土壤上层地被植物遭到破坏,改变了土壤的理化性质,从而改变土壤的热传导途径,致使幼年林群落土壤地表温度及地表下 5cm 处的温度均高于其它各群落类型的土壤温度,波动也大,表现出特异和反常。成年林群落,地表温度变动最小,从早上至晚上地表温度几乎呈直线型变化。除幼年林群落外,其它各群落的土壤地表下 5cm 处温度变化规律与地表温度变化规律相一致,但土壤地表下 5cm 处的温度从早上到晚上上升趋势,总体上较地表温度低,变化幅度小。

## 3 讨论

本次研究表明,马山县岩溶山地植被恢复演替与小气候变化协同进行,植被恢复能明显改善环境小气候,小气候形成反过来又促进植被恢复及其种类更替。在炎热的夏季,草阶段的植物群落,组成种类较

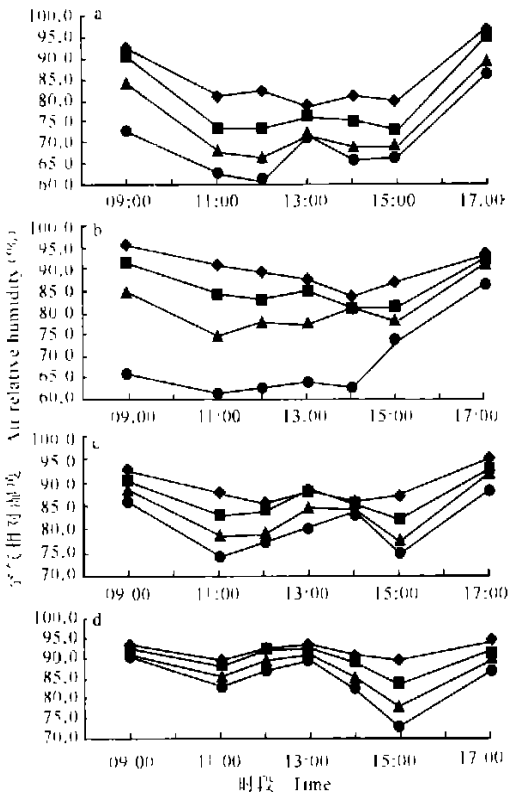


图3 不同演替阶段空气相对湿度日变化

Fig. 3 Diurnal variation of relative humidity in the succession stages

a. 草丛阶段; b. 灌木阶段; c. 幼年林阶段; d. 成年林阶段

a. The herbage stage, b. The shrub stage, c. The youth tree stage, d. The adult forest stage

◆: 0m; ■: 0.5m; ▲: 1.5m; ●: 3.0m

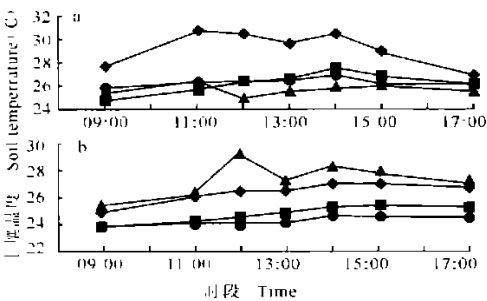


图4 地表0cm(a)和地表下5cm(b)壤温度日变化

Fig. 4 Diurnal variation of soil temperature at depth of 0cm (a) and 5cm (b) in the succession stages

◆: 草丛阶段; ■: 灌木阶段; ▲: 幼年林阶段; ●: 成年林阶段

◆: The herbage stage, ■: The shrub stage, ▲: The saddling stage, ●: The mature forest stage

少,盖度小,高度一般2m以下,垂直结构比较简单,因此,对光照的阻挡较弱,群落小环境表显为高温、低湿,日变化强烈<sup>[15]</sup>;适宜这一阶段生存的是一些耐干旱、耐瘠薄的阳性种类,如盐肤木、蔓生莠竹、油芒等。

草丛阶段,草本植物的覆盖使其保持有一定湿度和降温作用,为灌木种类入侵、生存、定居提供所需的小生境条件。灌木种类的定居和生存发展促使群落环境进一步改善,当草丛群落演替为灌丛群落,群落小气候因子波动趋于缓和,气温下降,湿度增大,此时,群落出现灌木、草本2个层次,种类发生了替代,群落以灌木为主,如黄荆条、阴香、茶条木等;喜阴的植物种类也开始在群落中出现,如杜茎山、卷柏等。灌丛群落内,灌木、草本二层垂直结构及林冠对太阳辐射阻挡,林冠层下有一定的荫蔽度,形成了比裸岩、草丛群落更为阴湿、低温、受太阳辐射影响较小的小气候环境,为乔木种类种源入侵,幼苗、幼树生存提供必需的小气候环境;乔木种类得以入侵定居后,在没有受到外来严重干扰情况下,群落逐渐恢复形成乔木先锋群落。乔木幼林的形成,林内光照强度、气温和土壤温度大幅度降低,空气相对湿度增大,小气候因子时空变化平缓<sup>[15]</sup>。乔木幼林小气候特点适合乔木种类生存,如黄杞、假肉桂、石山樟、阴香等,形成了乔、灌、草垂直结构的群落类型,而灌丛阶段的灌木和草本被新种类所替代;同时,乔木幼林小气候特点也为顶极群落类型的乔木树种进入群落奠定环境基础,乔木幼林的阳性先锋种渐渐将被顶极群落中阳性种类所替代,形成相对稳定的顶极群落,群落环境更进一步改良,形成明显的喀斯特森林小气候特征:林内湿度大、空气温度低、光照强度小、土壤温度低,小气候各因子日变化弱等。

由此可见,植被恢复和小气候形成是同步进行,植被恢复形成群落小气候,小气候形成又加速植被的恢复更替,其演替过程中由裸露的石面到草坡、灌木林、乔木林顶极群落,群落本身得到发展,同时更重要的是发展了环境,改造了环境,使之由恶劣走向优良,而环境的改良又将促进群落的进化<sup>[16]</sup>。随着演替进行,植被恢复发育及各层次结构的完善,群落小气候朝着更阴、凉、冷、湿的环境进行,小气候因子波动性减弱,稳定性增强<sup>[17]</sup>。可见,植被与环境之间是相互作用、相互依赖、不可分割的,植被恢复形成群落小气候,群落小气候反过来又促进植被种类更替,加快植被恢复。也就是说,植被要进一步恢复必需依靠前一阶段群落的小气候作为环境基础,没有前一阶段群落小气候环境基础植被向下一阶段演替是不可能的,植被恢复演替是一个由低级向高级演替的进展系列,中间任何一个环节遭到破坏,植被将发生逆行演替,也将导致环境破坏。植被与环境这种紧密相互作用的规律将为我们岩溶地区实施封山育林和造林提供科学依据。

在岩溶地区石漠化治理过程中,遵循植被与环境相互作用、相互影响、相互依赖这一规律,采取科学的封育方法和人工诱导措施,促进植被恢复,可以有效提高岩溶区封山育林成功率和植被覆盖率。比如,在岩溶山地封山育林和造林时要有针对性地实施“分类封育”和“封造结合”。裸地、丢荒地等地段处于草丛阶段,植被覆盖少,光照强、温度高、湿度低,水土流失严重,应采取全封育措施,减少人为干扰,使先锋树种入侵自然恢复,同时辅以种植一些阳性草本和灌木类植物,加快其恢复速度,遏制水土流失。灌丛阶段则加以人工干预,清除影响目的树种生长的藤本和灌木,适当种植一些阳性先锋树种。幼林阶段,根据封育的目的不同而采取不同的封育措施,若将其封育成用材林兼生态公益林,则应封育结合,适当地樵采林下部分灌木、藤本,既起到抚育作用又可解决农村能源来源的问题;若将其封育成水源涵养林,则采取封闭式封育,避免人畜干扰。成年林阶段,作为水源涵养生态公益林,应封闭式封育;作为一般林种则采取人工更新措施,选择优良适生树种更新造林,提高林分生态经济价值,改进森林质量以达到期望林分。

本次监测仅对岩溶山地植被恢复的主要限制因子进行分析,对不同季节及昼夜之间岩溶地区封山育林不同演替阶段小气候动态变化及环境因子对植被恢复的连续作用与影响仍须进行进一步深入的研究。

#### 致谢

广西植物所苏宗明研究员参加植被调查并在本文完成过程中给予悉心指导,该所欧祖兰同志在论文资料整理中给予支持和帮助,广西师范大学生态学专业研究生李恩香、邓艳、蓝芙宁等同志参加部分野外监测工作,特此致谢。

#### 参考文献:

[1] 苏宗明,李先琨.广西石灰山地封山育林效果的分析[J].广西植物,1990,10(4):343-350.  
[2] 万福绪,张金池.黔中喀斯特山区的生态环境特点及植被恢复技术[J].南京林业大学学报(自然版),2003,27(1):45-49.

[3] 熊康宁,黎平,周忠发,等.喀斯特石漠的遥感-GIS典型研究——以贵州省为例[M].北京:地质出版社,2002.8.  
[4] 何道泉,敖惠修.广东石灰地区的森林植物及其恢复问题[J].热带地理,1993,13(3):213-218.  
[5] 喻理飞,朱守谦,叶镜中.退化喀斯特森林自然恢复评价[J].林业科学,2000,36(2):12-19.  
[6] 喻理飞,朱守谦,叶镜中.退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究[J].林业科学,2002,38(1):1-7.  
[7] 张祝平,何道泉,敖惠修,等.粤北石灰岩山地主要造林树种的生理生态学特性[J].植物生态学与地植物学学报,1993,17(2):133-142.  
[8] 陈强,李品荣,常恩福,等.滇东南岩溶山区树种配置的初步研究[J].云南林业科技,2002,101(4):1-10.  
[9] 常杰,潘晓东,葛滢,等.青冈常绿阔叶林内的小气候特征[J].生态学报,1999,19(1):68-75.  
[10] 李援越,穆彪,祝小科,等.喀斯特森林不同演替阶段群落的小气候特征[J].山地农业生物学报,1998,17(6):364-367.  
[11] 张璐,林伟强.森林小气候观测研究概述[J].广东林业科技,2002,18(4):52-56.  
[12] 蒋忠诚.广西喀拉峰丛石山生态重建经验及生态农业结构优化[J].广西科学,2001,8(4):308-312.  
[13] D Muller-Dombois H, Ellenberg. 植被生态学的目的和方法[M].鲍显诚,张绅,杨邦顺,等译.北京:科学出版社,1986.247-252.  
[14] 王伯荪,李鸣光,彭少麟,等.植物种群学[M].广州:广州高等教育出版社,1995.  
[15] 向悟生,李先琨,吕仕洪,等.广西岩溶植被演替过程中主要小气候因子日变化特征[J].生态科学,2004,23(1):25-31.  
[16] 张邦琨,张萍,赵云龙,等.喀斯特地貌不同演替阶段植被小气候特征研究[J].贵州气象,2000,24(3):17-21.  
[17] 潘开文,张咏梅,刘照光,等.四川亚热带扁刺栲-华木荷群系不同演替阶段林内小气候的比较[J].植物生态学报,2002,26(2):195-202.

(责任编辑:韦廷宗 邓大玉)