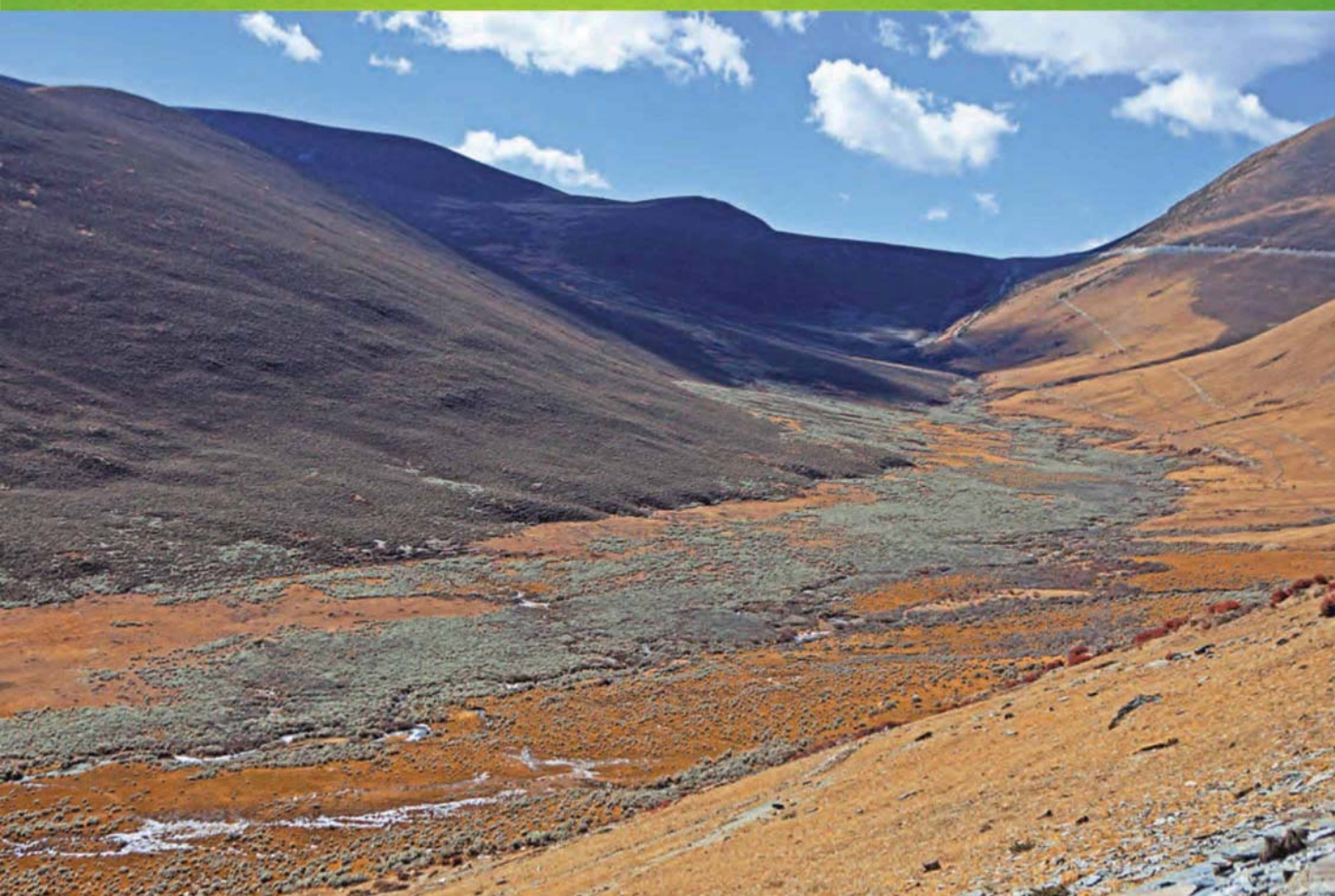


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

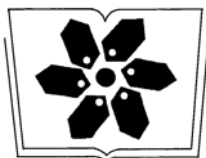
中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 18 期

2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305070978

温远光,雷丽群,朱宏光,刘虹,覃林,马祖陆,王克林,庄嘉,蓝嘉川,龙涛,陆晓明,邓艳,谢益君,王家妍.广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征.生态学报,2013,33(18):5723-5730.

Wen Y G, Lei L Q, Zhu H G, Liu H, Qin L, Ma Z L, Wang K L, Zhuan J, Lan J C, Long T, Lu X M, Den Y, Xie Y J, Wang J Y. Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5723-5730.

广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征

温远光^{1,2,*}, 雷丽群¹, 朱宏光¹, 刘虹^{1,5}, 覃林^{1,2}, 马祖陆³, 王克林⁴, 庄嘉¹,
蓝嘉川¹, 龙涛¹, 陆晓明¹, 邓艳³, 谢益君¹, 王家妍¹

(1. 广西大学林学院, 南宁 530004; 2. 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 南宁 530004;

3. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林 541004; 4. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125;

5. Department of Earth and Environment, Florida International University, Miami, Florida 33199 USA)

摘要:石漠化地区是我国西南植被恢复和生态重建的重点和难点地区。通过对马山县岩溶植被年龄序列(石漠、草丛、灌丛、小乔林和成熟林)5个演替阶段15个样地(20 m×50 m)的系统取样调查,研究了停止人为干扰后岩溶植被的更新、演替及群落特征的变化。结果表明:沿石漠、草丛、灌丛、小乔林、成熟林的顺向演替发展,群落各层次的覆盖度存在显著差异($P<0.05$),乔木层覆盖度以成熟林最大,灌木层覆盖度以小乔林最高,而草本层覆盖度以灌丛最高;重要值 ≥ 10.00 的科、属、种最大值出现在小乔林;不同演替阶段群落不同层次的结构明显不同,乔木层的植物密度存在显著差异($P<0.05$),以小乔林最高;成熟林灌木层的植物密度显著低于小乔林和草丛($P<0.05$),与石漠和灌丛差异不显著($P>0.05$);森林阶段草本层的植物密度显著低于灌丛、草丛和石漠($P<0.05$);群落的物种丰富度随着顺向演替发展而增加,但不同演替阶段不同层次的丰富度变化不同,草本层的物种丰富度以草丛阶段最大,成熟林最小;灌木层的丰富度以小乔林阶段最大,石漠阶段最小;乔木层的丰富度以小乔林最大,成熟林有所下降;不同演替阶段群落草本层的生态优势度无显著差异($P>0.05$),而灌木层和乔木层均存在显著差异($P<0.05$)。岩溶植被恢复可分为恶劣物理环境阈值和顶极种缺乏的阈值两个阶段,每一个阶段内由不同功能特征的驱动种和关键种决定着群落的演替方向和速度,越接近演替后期,顶极种越丰富,群落驱动种和关键种向高级、大型和长寿植物发展的趋势越明显。

关键词:岩溶区域;植被;演替;群落特征;广西

Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi

WEN Yuanguang^{1,2,*}, LEI Liqun¹, ZHU Hongguang¹, LIU Hong^{1,5}, QIN Lin¹, MA Zulu³, WANG Kelin⁴,
ZHUANG Jia¹, LAN Jiachuan¹, LONG Tao¹, LU Xiaoming¹, DENG Yan³, XIE Yijun¹, WANG Jiayan¹

1 Forestry College, Guangxi University, Nanning, 530004, China

2 State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources, Nanning 530004, China

3 Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin, 541004, China

4 Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

5 Department of Earth and Environment, Florida International University, Miami, Florida 33199 USA

Abstract: Desertified karst region is a focal and difficult area of vegetation recovery and ecological restoration in southwest China. We investigated changes of the regeneration, succession and community characteristics in karst vegetation after stopping human disturbance, based on a chronosequence in the karst region of Mashan county. Our sampling includes 15 plots, each of 20 m×50 m representing five successional stages (desertified karst land, grassland, scrub, young forest and mature forest). We found that vegetation succession proceeded from desertified karst land to grassland to scrub to young forest, and finally to mature forest. Vegetation cover was significant different among different successional communities at

基金项目:国家科技支撑(2011BAC09B02);国家林业局重点资助项目(2010TK45)

收稿日期:2013-05-07; 修订日期:2013-07-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wenyg@263.net

three different layers ($P < 0.05$). The greatest cover of arbor layer was found in mature forests, of shrub layer was in young forests, and of grass layer was in scrub stage, while the maximum number of species, genera and families with importance values (IV) ≥ 10.00 were found in young forests. Community structures of all layers were remarkably different among successional stages, so were plant density of the tree layer, with the maximum tree density found in young forests. Plant density of the shrub layer in the mature forests was significantly lower than that in young forests and grasslands ($P < 0.05$), and was not significantly different with desertified karst lands and scrubs ($P > 0.05$). Species richness of the communities increased with succession, but the changes were different among all layers in different successional stages. The greatest species richness in the grass layer was found in the grassland and the lowest in the mature forest; the greatest species richness in the shrub layer was found in the young forest and the lowest in the desertified karst land stage; the greatest species richness in the tree layer was found in the young forest and the least in the mature forest. Ecological dominance was not significantly different among grass layers in different successional stages ($P > 0.05$), but significantly different among shrub and arbor layers in different successional stages ($P < 0.05$). The restoration of karst vegetation can be divided into two stages, each with a threshold, i.e. harsh physical environments and deficiency of climax species, respectively. At each stage, the successive direction and speed depended on the presence of different driving and keystone species with different functional characteristics. The later a successional stage was, the more abundance of climax species, and the more obvious it was that the driving and keystone species were those of advanced, large-sized and long-lived.

Key Words: Karst region; vegetation; succession; community characteristics; Guangxi

岩溶植被作为岩溶生态系统的主体,在维护岩溶生态系统稳定性、调节全球碳平衡、减缓温室气体浓度上升和保护物种多样性等生态服务功能方面具有重要的作用^[1-5]。由于岩溶植被生态系统的脆弱性和人类的长期干扰,我国西南岩溶森林植被大面积消失^[4],导致严重的环境退化和生态灾难^[6-8]。西南石漠化已成为我国植被恢复和生态重建的重点和难点地区^[9-10]。20 世纪 50—70 年代,由于人类的干扰,马山县的岩溶植被发生了大面积退化,成为国家石漠化治理重点县之一。岩溶植被的演替是一个极其漫长的过程,需要上百年甚至更长的时间^[8]。充分理解和认识岩溶植被演替过程中群落的动态特征,对岩溶植被退化生态系统的恢复和重建意义重大^[7,10]。Zimmerman 等对岩溶区弃耕 60a 的草地和咖啡园的森林更新进行研究,发现土地利用对物种多样性、基干面积和林木密度没有影响,但对物种组成有强烈的影响^[11]。刘京涛等^[12]、穆彪等^[13]研究了岩溶植被群落特征,他们发现沿着植被的顺向演替,物种多样性增加,最大值出现在灌木阶段,最小值在草本阶段。喻理飞等^[6]采用有序样本的最优分割法将自然恢复演替过程划分为 6 个阶段。温远光等的研究发现,桂西南岩溶区从草丛恢复到顶极森林至少需要 100a^[8]。此外,Zeng 等^[2]研究了岩溶峰丛洼地不同演替阶段的植物群落,宋同清等^[14]、彭晚霞等^[15]探讨了岩溶峰丛洼地常绿阔叶混交林植物的分布特征及其环境解释,杜虎等^[16]研究了岩溶峰丛洼地植物群落特征及其与土壤的耦合关系。这些研究较好的阐明和解释了岩溶植被的演替过程及其与环境的关系。但是,由于岩溶地区环境的异质性强,咫尺间变化大,关于岩溶植被不同演替阶段群落演替规律及特征的认知依然相当缺乏^[3-4]。本研究以马山县岩溶植被 5 个次生演替阶段的群落(石漠、草丛、灌丛、小乔林、森林)为对象,研究不同阶段群落植被盖度、组成、结构及物种多样性的变化规律,从而为岩溶植被的保护、恢复和石漠化治理提供理论与实践的参考依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于广西马山县(107°41′—108°29′E, 23°24′—24°2′N)、广西中部的大明山北麓和红水河中段南岸,境内岩溶地层广布,出露地表的碳酸盐岩面积占全县土地总面积的 60%。属南亚热带季风型气候,年均气温为 21.3℃,极端最高温度 38.9℃,最低温度 -0.7℃,年均降雨量为 1667.1 mm。土壤主要以碳酸盐岩发育的石灰土为主,土层浅薄,一般只有 20—30cm,石粒含量高,土质粘重,坡度大,通常在 30°以上,水土流失严重,岩石裸露度高,石漠化趋势严峻。原生植被已荡然无存,次生植被广布。代表性类型有石漠、草丛、灌丛和森林。不同演替阶段岩溶植被的群落类型不同:石漠主要以兰香草(*Caryopteris incana*)、青蒿(*Artemisia carvifolia*)、小飞蓬(*Erigeron canadensis*)为建群种的群落类型;草丛主要以臭根子草(*Bothriochloa bladhii*)、兰香草、青蒿为优势的群落类型;灌丛主要有以黄荆(*Vitex negundo*)、雀梅藤(*Sageretia thea*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)为优势的群落类型;小乔林主要有青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)、海红豆(*Adenanthera pavonina*)、苦木(*Picrasma quassioides*)、乌桕(*Diospyros eriantha*)、厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)为优势的群落类型;森林则以青冈栎、海红豆、南酸枣(*Choerospondias axillaris*)为优势的群落类型。

2012 年 11—12 月,选择了同一年龄序列 5 个不同演替阶段的群落,即 3—5a(石漠)、5—8a(草丛)、10—15a(灌丛)、20—

30a(小乔林)和50—70a(成熟林)。这些群落类型直线距离相差不到10 km,立地间变异小,具有相似的气候、海拔、母岩、土壤质地和地形,平均海拔204—273 m,坡度24—40°,土层厚度20—30 cm。各群落类型的环境概况见表1。

表1 不同演替阶段调查样地的基本情况
Table 1 Basic information of sample plots in different successional stages

阶段 Stage	年龄 Age /a	海拔 Elevation /m	坡度 Slope aspect /(°)	岩石裸露度 Bare rock cover rate /%	土层厚度 Horizon thickness /cm	土壤容重 Soil bulk density /(g/cm ³)	有机质 Organic matter /(g/kg)
石漠 Desertified karst land	3—5	224	34	85.6	0—20	1.052	51.4
草丛 Grassland	5—8	204	35	18.1	0—20	1.384	24.5
灌丛 Scrub	10—15	273	40	33.0	0—30	0.892	70.6
小乔林 Young forest	20—30	263	39	28.1	0—30	0.870	96.9
成熟林 Mature forest	50—70	261	24	41.0	0—30	0.935	82.8

1.2 样方设置与群落调查

在全面踏查的基础上,根据代表性和典型性原则,从上述5个生态系统的主要群落类型中各选择1个代表性地段,分别建立3个面积为20 m×50 m的样方,共15个样方。将每个样方细分成10个10 m×10 m的小型样方,调查每个胸径≥2 cm的个体,记录树种名称、胸径、树高、盖度等;在每个小型样方左上角设置1个2 m×2 m的微型样方,调查灌木、草本的种类、数量、高度、盖度和生长情况等。同时,记录群落的郁闭度、岩石裸露度、土层覆盖度、土层厚度等生态因子。

1.3 数据处理与统计分析

群落多样性指标的计算^[17]:

丰富度
$$R=S \tag{1}$$

Shannon-Wiener 指数
$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i \tag{2}$$

均匀度指数
$$E = H' / \ln S \tag{3}$$

生态优势度
$$C = \sum_{i=1}^s n_i (n_i - 1) / N(N - 1) \tag{4}$$

式中, S 为物种数目, p_i 为种 i 的相对重要值,即 $p_i = N_i / N_T$, N_i 为第 i 种的重要值, N_T 为所有种的重要值之和,重要值 $IV = RDE + RDO + RFE$ 。式中, RDE 为相对密度, RDO 为相对优势度(胸高断面积或盖度), RFE 为相对频度。 C 为生态优势度, n_i 为种 i 的株数, N 为种 i 所在样方的所有物种的总株数。数据分析在SPSS16.0软件下完成,并使用one-way ANOVA进行单因素方差分析与多重比较。

2 结果与分析

2.1 植被盖度

对5个演替阶段不同层次植被盖度分析可知,石漠的植被盖度显著低于其它群落阶段($P<0.05$),灌丛群落的盖度显著高于其它群落阶段($P<0.05$);不同演替阶段不同层次的植被盖度相差较大,草本层盖度从石漠到灌丛阶段迅速增加,从29.43%增至86.27%,随着森林的形成,盖度急剧下降,成熟林下草本层的盖度只有4%左右,显著低于灌丛、草丛甚至石漠($P<0.05$);灌木层的盖度有所不同,沿植被的顺向演替,灌木层的盖度不断增加,到小乔林群落阶段平均盖度达46.57%,显著高于其它群落阶段($P<0.05$),至成熟林阶段又下降(23.67%);经过20—30年的顺向演替,乔木层的盖度平均增至66.17%,至成熟林阶段,乔木层的盖度继续增加,为73.33%,显著高于小乔林($P<0.05$)(图1)。

2.2 科属种组成

由表2可知,石漠、草丛、灌丛、小乔林、森林植物分别有6科16属16种、23科40属45种、26科40属42种、50科70属79种和28科37属41种。

石漠、草丛、灌丛、小乔林、森林中重要值大于10.00的科分别有3、4、5、9、6科,占总科数的50.00%、17.39%、22.73%、

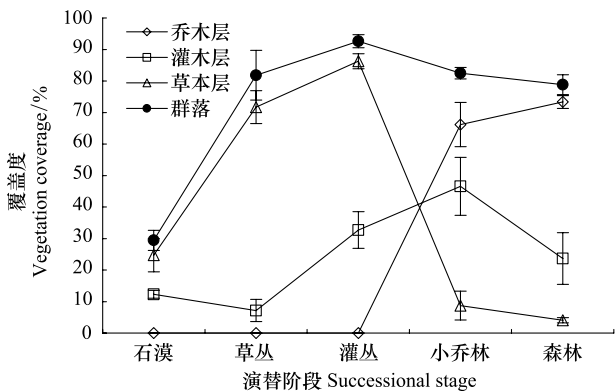


图1 不同演替阶段不同层次的植被盖度

Fig.1 Vegetation coverage of all layers in different successional stages

18.00% 和 21.43%, 占总重要值的 97.32%、83.79%、82.09%、67.51% 和 78.58%; 重要值大于 10.00 的属分别有 6、6、6、9 和 6 属, 占总重要值的 88.46%、77.33%、67.21%、55.90% 和 77.33%; 重要值大于 10.00 的种数与属数相同, 分别占总重要值的 88.46%、77.33%、67.21%、55.77% 和 76.02%。沿植被顺向演替, 重要值大于 10.00 的科、属、种的数量逐渐增加, 重要值大于 10.00 的科、属、种占总重要值的比例逐渐减少(表 2)。与此相反, 成熟林的科属种数有所下降, 比例有所回升。不同演替阶段群落中重要值大于 10.00 的优势科、属、种的数量占各自总数的比例均较小, 但它们的重要值之和占总重要值的比例较大。

表 2 不同演替阶段植物科、属、种及其重要值组成特点

Table 2 Composition characteristics of families, genera, species, and their importance values of plants in different successional stages

阶段 Stage	科* Family	属* Genus	种* Species	重要值大于 10.00 的科属种 Family, genus, species with importance values more than 10.00					
				Family, genus, species with importance values more than 10.00		Family, genus, species with importance values more than 10.00		Family, genus, species with importance values more than 10.00	
				科 Family	比例 Proportion /%	属 Genus	比例 Proportion /%	种 Species	比例 Proportion /%
石漠 Desertified karst land	6	16	16	3	97.32	6	88.46	6	88.46
草丛 Grassland	23	40	45	4	83.79	6	77.33	6	77.33
灌丛 Scrub	26	40	42	5	82.09	6	67.21	6	67.21
小乔林 Young forest	50	70	79	9	67.51	9	55.90	9	55.77
成熟林 Mature forest	28	37	41	6	78.58	6	77.33	6	76.02

* 为 3000m²样地内的总和

2.3 物种组成

不同演替阶段群落不同层次的物种组成存在较大差异。在草本层中, 石漠阶段的优势种是兰香草 (IV: 153.26)、青蒿 (56.56)、小飞蓬 (18.43)、荩草 (*Arthraxon hispidus*) (16.94)、弓果黍 (*Cyrtococcum patens*) (13.98)、牛筋草 (*Eleusine indica*) (13.64) 和胜红蓟 (*Ageratum conyzoides*) (13.28), 其重要值之和占总值的 95.37%。草丛阶段, 优势种为臭根子草 (152.56)、类芦 (*Neyraudia reynaudiana*) (32.95)、弓果黍 (27.77)、蜈蚣草 (*Pteris vittata*) (16.02) 和荩草 (13.72), 5 个种的重要值和占 81.01%; 灌丛阶段, 优势种转变为荩草 (119.82)、蔓生莠竹 (*Microstegium vagans*) (88.03)、小苦荬 (*Ixeridium gracile*) (27.56)、兰香草 (15.96) 和弓果黍 (14.14), 5 个种的重要值和占 88.50%; 进入小乔林和成熟林阶段, 草本层的优势种分别为井栏边草 (*Pteridium multifida*) (98.83)、海南海金沙 (*Lygodium conforme*) (43.46)、灰绿耳蕨 (*Polystichum anomalum*) (35.28)、薯蓣 (*Dioscorea opposita*) (33.32)、薄叶卷柏 (*Selaginella delicatula*) (26.61)、崖姜 (*Pseudodrynaria coronans*) (15.42) 和海南海金沙 (202.69)、灰绿耳蕨 (40.63)、团叶鳞始蕨 (*Adiantum capillus-junonis*) (28.03)、井栏边草 (15.13)、金粟兰 (*Chloranthus fortunei*) (13.52), 分别占总重要值的 84.31% 和 100%。

在灌木层中, 石漠阶段灌木的物种只有 4 种, 以黄荆 (281.05) 占绝对优势, 其他有蔓草虫豆 (*Cajanus scarabaeoides*) (11.15)、山麻杆 (*Alchornea davidii*) (4.37) 和鹿藿 (*Rhynchosia volubilis*) (3.43); 草丛阶段灌木种类较丰富, 有 26 种, 优势种为黄荆 (62.53)、老鼠耳 (*Berchemia floribunda*) (50.01)、黄牛木 (*Cratogeomys cochinchinense*) (49.44)、余甘子 (*Phyllanthus emblica*) (18.36)、岗松 (*Baeckea frutescens*) (18.14)、青篱柴 (*Tirpitzia sinensis*) (15.02) 和黄花稔 (*Sida acuta*) (14.04), 和占总重要值的 75.85%; 灌丛阶段的灌木层物种也较丰富, 共 21 种, 以黄荆 (144.23)、雀梅藤 (35.27)、红背山麻杆 (28.46)、地桃花 (*Urena lobata*) (18.28) 和花椒 (*Zanthoxylum avicennae*) (15.67) 为主, 5 种植物的重要值占总值的 80.64%; 小乔林阶段, 灌木层的种类最丰富, 共有 51 种, 主要有青冈栎 (28.35)、假鹰爪 (*Desmos chinensis*) (22.81)、九节 (*Psychotria rubra*) (21.24)、网脉酸藤子 (*Embelia rudis*) (19.86)、龙须藤 (*Bauhinia championii*) (19.64)、乌材 (14.93)、杜茎山 (*Maesa japonica*) (13.30)、齿叶黄皮 (*Clausena dentata*) (12.99)、山茶 (*Camellia japonica*) (11.14) 和海红豆 (10.81), 10 个种的重要值只占总重要值的 58.36%; 进入成熟林阶段, 灌木层的种类有所减少, 共有 24 种, 优势种与小乔林相似, 主要为青冈栎 (72.06)、西南山茶 (*Camellia pitardii*) (60.86)、假鹰爪 (40.18)、海红豆 (38.36)、九节 (16.65)、野桐 (*Mallotus japonicus var. floccosus*) (15.85) 和润楠 (*Machilus sp.*) (10.86), 这些种类的重要值和占总重要值的 84.94%。

在乔木层中, 随着群落的顺向演替, 灌木层中的优势种逐渐成长为乔木层的优势种或共建种, 其中, 小乔林中有 26 种, 以青冈栎 (96.47)、海红豆 (27.41)、苦木 (26.75)、乌材 (23.11)、厚壳桂 (21.61)、乌桕 (*Sapium sebiferum*) (16.03)、虎皮楠 (*Daphniphyllum oldhamii*) (12.67) 和仪花 (*Lysidice rhodostegia*) (10.04) 为主, 这些种类的重要值和占总重要值的 78.03%; 成熟林中乔木层有 19 种, 以青冈栎 (98.59)、南酸枣 (66.34)、海红豆 (62.77)、润楠 (15.12) 和仪花 (13.14) 为主, 这些种类的重要值和占总重要值的 85.32%。

2.4 群落结构

不同演替阶段群落不同层次的结构明显不同, 方差分析和多重比较表明(表 3): 乔木层的植物密度存在显著差异 ($P < 0.05$), 以小乔林最高; 灌木层的植物密度以成熟林最低, 显著低于小乔林和草丛 ($P < 0.05$), 与石漠和灌丛差异不显著 ($P >$

0.05);草本层的植物密度也是以森林阶段最低,显著低于灌丛、草丛和石漠($P<0.05$)。不同层次的植物高度也存在差异,乔木层成熟林显著高于小乔林($P<0.05$);灌木层植物高度,以灌丛最高,显著高于其它植被类型($P<0.05$);成熟林中草本层的植物高度显著低于小乔林、灌丛和草丛($P<0.05$),与石漠差异不显著($P>0.05$)。

表 3 不同演替阶段群落各层次的结构特点
Table 3 Structure characteristics of all layers in different successional stages

阶段 Stage	植物密度 Density/(株/m ²)			植物高度 Height/m		
	草本层 Grass layer	灌木层 Shrub layer	乔木层 Arbor layer	草本层 Grass layer	灌木层 Shrub layer	乔木层 Arbor layer
石漠 Desertified karst land	11.63±3.62A	5.01±2.61AB	0.00±0.00A	0.27±0.03AC	0.40±0.03AC	0.00±0.00A
草丛 Grassland	36.58±7.73B	7.18±1.15A	0.00±0.00A	0.64±0.13B	0.49±0.05A	0.00±0.00A
灌丛 Scrub	114.71±17.6C	6.09±1.62AB	0.00±0.00A	0.44±0.06A	0.92±0.04B	0.00±0.00A
小乔林 Young forest	0.99±0.45D	7.09±3.37A	0.28±0.03B	0.30±0.16A	0.52±0.03A	8.61±0.68B
成熟林 Mature forest	0.36±0.50D	2.66±0.99B	0.17±0.02C	0.10±0.10C	0.32±0.15C	11.51±0.06C

同一列不同大写字母表示差异显著($P<0.05$)

2.5 物种多样性

由表 4 可知,不同演替阶段群落不同层次的物种多样性不同。草本层的物种丰富度以草丛最高,依次为草丛>灌丛>石漠>小乔林>成熟林;物种多样性指数为石漠>小乔林>草丛>灌丛>成熟林,但差异不显著($P>0.05$);均匀度指数除成熟林显著低于小乔林($P<0.05$)外,其它类型间差异不显著($P>0.05$)。灌木层中,小乔林的物种丰富度显著高于其它群落类型($P<0.05$),草丛、森林和灌丛间的物种丰富度无显著差异($P>0.05$),但显著高于石漠($P<0.05$);物种多样性指数存在显著差异,大小顺序为小乔林>草丛>成熟林>灌丛>石漠;石漠的均匀度指数显著低于其它 4 种群落类型。乔木层中,小乔林的物种丰富度和多样性指数均显著高于成熟林($P<0.05$),均匀度指数无显著差异($P>0.05$);5 种群落草本层的生态优势度无显著差异($P>0.05$),灌木层和乔木层的生态优势度均存在显著差异($P<0.05$)(表 4)。

表 4 不同演替阶段群落各层次的物种多样性
Table 4 Species diversity of all layers in different successional stages

层次 Layer	多样性指数 Diversity index	石漠 Desertified karst land	草丛 Grassland	灌丛 Scrub	小乔林 Young forest	成熟林 Mature forest
草本层 Grass layer	丰富度 S Species richness	7.67±2.31ABC	13.33±0.58A	10.67±7.23AB	6.33±2.89BC	2.00±2.65C
	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	1.31±0.40A	1.28±0.39A	1.02±0.44A	1.29±0.47A	0.45±0.77A
	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	0.64±0.10AB	0.49±0.15AB	0.45±0.07AB	0.73±0.06A	0.28±0.48B
	生态优势度 Ecological dominance	0.38±0.18A	0.21±0.09A	0.47±0.17A	0.37±0.18A	0.42±0.52A
灌木层 Shrub layer	丰富度 S Species richness	2.00±0.00A	14.67±2.31B	11.00±5.57B	30.33±3.79C	13.67±2.31B
	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	0.14±0.14A	2.08±0.24B	1.43±0.63C	2.84±0.17D	1.99±0.06BC
	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	0.20±0.21A	0.78±0.05BC	0.60±0.13B	0.84±0.07C	0.77±0.07BC
	生态优势度 Ecological dominance	0.93±0.08A	0.42±0.14B	0.38±0.19C	0.07±0.02D	0.19±0.04E
乔木层 Arbor layer	丰富度 S Species richness	0.00±0.00A	0.00±0.00A	0.00±0.00A	19.33±3.51B	12.33±0.58C
	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	0.00±0.00A	0.00±0.00A	0.00±0.00A	1.95±0.26B	1.58±0.03C
	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	0.00±0.00A	0.00±0.00A	0.00±0.00A	0.66±0.06B	0.63±0.02B
	生态优势度 Ecological dominance	0.00±0.00A	0.00±0.00A	0.00±0.00A	0.26±0.08B	0.30±0.03C

同一行不同大写字母表示差异显著($P<0.05$)

2.6 岩石裸露度与植被盖度的关系

在岩溶地区,岩石的裸露度往往是影响植被发育的重要因素。相关分析发现(图2),岩石裸露度与植被的总盖度呈极显著的负相关($R^2 = 0.6615, P < 0.001, n = 150$),而与群落各亚层的盖度相关不紧密(乔木层: $R^2 = 0.0719, P > 0.05, n = 60$;灌木层: $R^2 = 0.0059, P > 0.05, n = 150$;草本层: $R^2 = 0.0945, P > 0.05, n = 150$);当去除乔木林阶段群落样地时,岩石裸露度与草本层盖度表现为极显著的负相关($R^2 = 0.6585, P < 0.001, n = 90$),而与灌木层盖度相关不显著($R^2 = 0.0059, P > 0.05, n = 90$)。

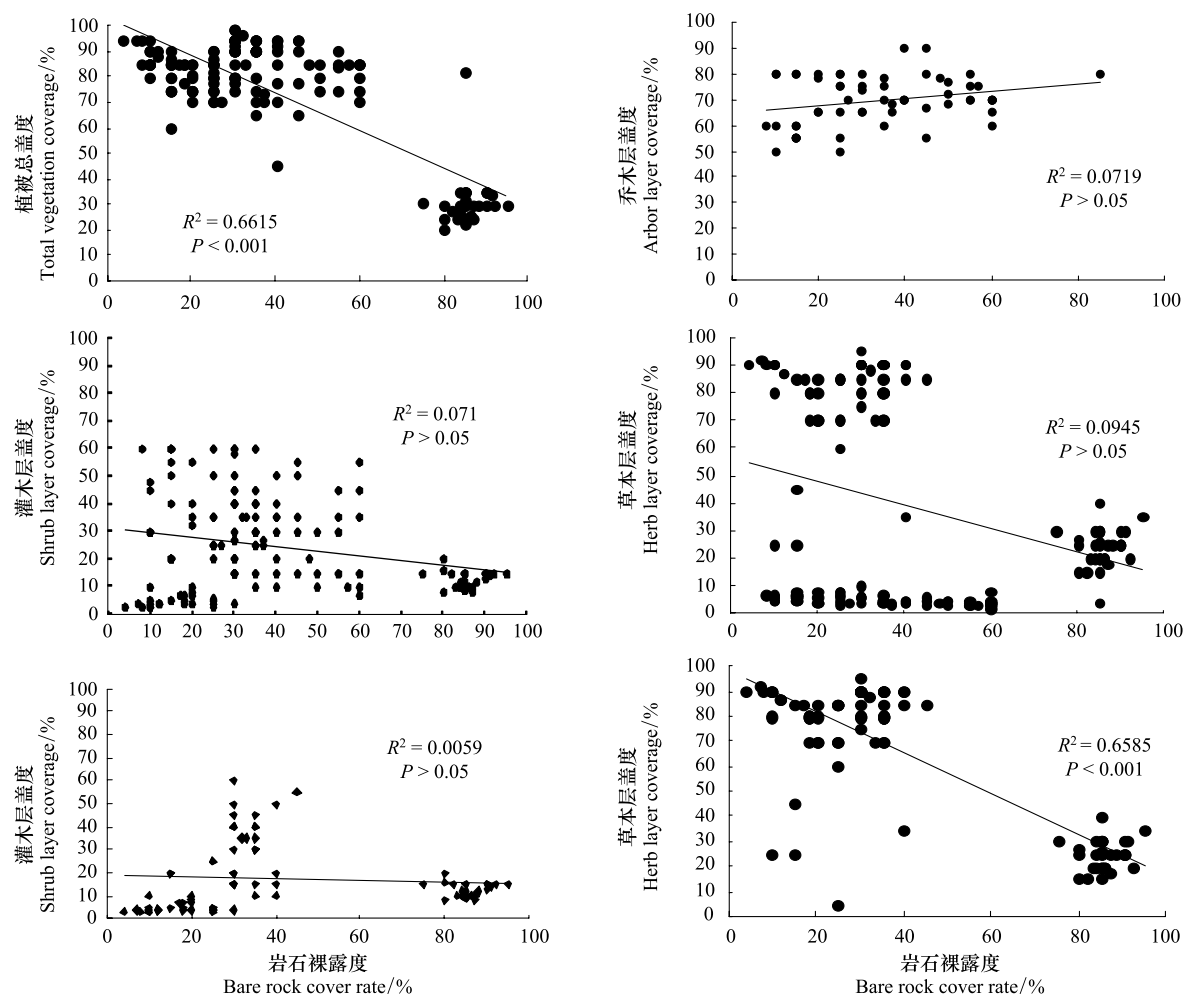


图2 植被盖度与岩石裸露度的关系

Fig.2 Relationship between vegetation coverage and bare rock coverage rate

3 结论与讨论

植被群落的盖度受诸多因素的综合影响,包括气候、土壤、群落结构和演替阶段等^[16,18]。宋同清等对岩溶区不同演替阶段的群落研究认为,群落总盖度是植物高度和密度共同作用的结果,演替初期的草本群落个体矮小、密度极高、盖度高^[18]。石漠阶段的群落总盖度很低($<30\%$),主要原因是该生态系统的岩石裸露度极高($>85\%$,表1)、土壤资源的有效性极低,极大的限制了植被的发育。其它演替阶段的群落总盖度普遍较高(83.99 ± 5.99),但群落不同层次的植被盖度变化很大。沿群落顺向演替,乔木层和灌木层的盖度显著增加,平均由 0.0% 和 7.17% 提高到 73.33% 和 46.57% ,但是,草本层盖度显著下降,平均由 71.70% 降至 4.07% 。研究还发现,在岩溶地区的不同植被演替阶段中,岩石裸露度与植被的总盖度呈极显著的负相关,但与各植被亚层的盖度相关并不紧密。表明在岩溶植被的年龄序列中,岩石裸露度对群落总盖度有重要影响,森林形成后,林冠的作用增强,推动群落内各亚层盖度的变化^[19-20]。

岩溶植被恢复的主要驱动力是植物的多样性^[7,21],尤其是驱动种和关键种。岩溶区不同演替阶段群落的驱动种是不同的。在石漠阶段,岩石裸露度高,土壤和植被的覆盖度低,光照、温度和水分的变化剧烈,生境条件恶劣^[20],此时喜光、耐旱、繁殖力强的兰香草、青蒿、小飞蓬等成为群落演替的驱动种,随后,禾本科的臭根子草、类芦等大量入侵和繁殖,形成草丛群落。黄荆、山麻杆、红背山麻杆、老鼠耳、雀梅藤等常是灌丛阶段的驱动种,这些种具有显著的两性(有性和无性)繁殖能力,尤其是黄荆,

克隆繁殖能力特别强,形成密集的荆条,调查发现最大的株丛有 26 条,随着灌丛覆盖的增加,环境条件得到进一步改善,为乔木树种的定居创造了条件。然而,在人为干扰(如放牧)或缺乏种源的情况下,黄荆灌丛可以长期保持其优势地位。本研究中的小乔林和成熟林之所以有这样快的恢复速率,关键是在封山育林之前群落中就保留有较丰富的顶极群落的优势种、关键种,如青冈栎、海红豆、苦木、乌材、厚壳桂、南酸枣等。正是由于这些优势种和关键种的存在及其较强的克隆繁殖能力,才使得群落在停止人为干扰后能够较快的恢复,形成茂密的森林,而且在树高、胸径等方面达到顶极群落的水平。因此,作者认为,岩溶植被恢复可分为恶劣物理环境阈值和顶极种缺乏的阈值两个阶段,每一个阶段内由不同功能特征的驱动种和关键种决定着群落的演替方向和速度,越接近演替后期,群落的顶极种越丰富,驱动种和关键种向高级、大型和长寿植物发展的趋势越明显,支持初始植物区系学说^[21]。

许多研究表明,随着植被的顺向演替发展,群落的物种多样性增加^[6-8, 11-18, 20, 22],也有研究表明,滇东岩溶区不同演替阶段草本层的物种多样性>灌木层>乔木层^[23]。喻理飞、刘玉国等研究认为,随着岩溶植被的自然恢复,群落的物种丰富度、多样性指数和均匀度指数升高^[6, 20]。本研究结果与之相似,但是,不同层次的多样性与整个群落的多样性表现是不同的。在石漠、草丛、灌丛、小乔林和成熟林演替系列中,草本层的物种丰富度以草丛阶段最大,成熟林最小;灌木层的丰富度以小乔林阶段最大,石漠阶段最小;乔木层的丰富度以小乔林最大,成熟林有所下降;不同层次的物种多样性指数和均匀度指数并不完全随群落的顺向演替而升高,生态优势度也不完全随着植被的顺向演替而减少,但是,随着群落的顺向演替,优势度从以低级小型植物为主朝着高级大型植物发展、优势种寿命越来越长的趋势是十分明显的。群落特征和环境是密切联系的,草本群落阶段,光照充足,在土壤覆盖大的区域,草本植物生长繁茂,多样性较丰富。小乔林阶段由于土壤条件进一步改善,生境适合于更多的植物生长,并存活有不少阳性树种和阴性树种^[19],物种丰富度较高。成熟林下光照弱,限制了一些喜光物种在林下的生长,加之该样地岩石的裸露度较高(41.03±10.84),其灌木层和草本层的多样性较低。研究结果说明了演替是通过资源的变化而引起竞争关系的变化,导致组成群落的植物种随之改变^[24]。

References:

- [1] Rivera L W, Aide T M. Forest recovery in the karst region of Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 1998, 108(1/2): 63-75.
- [2] Zeng F P, Peng W X, Song T Q, Wang K L, Wu H Y, Song X J, Zeng Z X. Changes in vegetation after 22 years' natural restoration in the karst disturbed area in northwestern Guangxi, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5110-5119.
- [3] Ferlan M, Alberti G, Eler K, Batič F, Peressotti A, Miglietta F, Zaldei A, Simončič P, Vodnik D. Comparing carbon fluxes between different stages of secondary succession of a karst grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 140(1/2): 199-207.
- [4] Qi X K, Wang K L, Zhang C H. Effectiveness of ecological restoration projects in a karst region of southwest China assessed using vegetation succession mapping. *Ecological Engineering*, 2013, 54: 245-253.
- [5] Wu P, Chen J, Cui Y C, Ding F J, Zhu J. Study of soil organic carbon of major successional communities in Maolan Nature Reserve of Karst. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2012, 32(12): 181-186.
- [6] Yu L F, Zhu S Q, Ye J Z, Wei L M, Chen Z R. Dynamics of a degraded karst forest in the process of natural restoration. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(1): 1-7.
- [7] Li X K, Jiang Z C, Huang Y Q, Xiang W S, Lu S H, Ye D, Su Z M. Dynamics of dominant population and its influence on karstification in southwest Guangxi, China. *Acta Geoscientica Sinica*, 2008, 29(2): 253-259.
- [8] Wen Y G, Sun D J, Zhu H G, Liu J T, Liu S R, Shi Z M. Changes in aboveground biomass and diversity between different stages of secondary succession of a karst vegetation in Guangxi, China // Hu J, ed. *Advances in Biomedical Engineering*. Information Engineering Research Inst, Newark, USA. 2011.
- [9] He Q T, Lu P L. Rocky desertification and its preventive strategies in Karst regions of China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(1): 117-120.
- [10] Yuan D X. The development of Modern Karstology in China. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2005, 19(3): 139-141.
- [11] Zimmerman J K, Aide T M, Rosario M, Serrano M, Herrera L. Effects of land management and a recent hurricane on forest structure and composition in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 1995, 77(1/3): 65-76.
- [12] Liu J T, Wen Y G, Zhou F. Study on natural restoration of degraded karst vegetation in Southwest Guangxi. *Research of Soil and Water Conservation*, 2009, 16(3): 65-69.
- [13] Mu B, Yang L M, Zhang L. Characteristics of community succession in karst vegetation-restoration process. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2008, 30(6): 91-95.
- [14] Song T Q, Peng W X, Zeng F P, Wang K L, Cao H L, Li X K, Qin W G, Tan W N, Liu L. Community composition and biodiversity characteristics of forests in Karst cluster-peak-depression region. *Biodiversity Science*, 2010, 18(4): 355-364.
- [15] Peng W X, Song T Q, Zeng F P, Wang K L, Fu W, Liu L, Du H, Lu S Y, Ying Q C. The coupling relationships between vegetation, soil, and topography factors in karst mixed evergreen and deciduous broadleaf forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(13): 3472-3481.

- [16] Du H, Peng W X, Song T Q, Wang K L, Zeng F P, Lu S Y, Shi W W, Tang C, Tan Q J. Plant community characteristics and its coupling relationships with soil in depressions between karst hills, North Guangxi, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2013, 37(3): 197-208.
- [17] Ma K P, Huang J H, Yu S L, Chen L Z. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China II. Species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3): 268-277.
- [18] Song T Q, Peng W X, Zeng F P, Wang K L, Ouyang Z W. Vegetation succession rule and regeneration strategies in disturbed karst area, Northwest Guangxi. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(5): 597-604.
- [19] Ma Z P, Xie Z D. A review on vegetation restoration by natural succession of karst areas in south China. *Sichuan Forestry Exploration and Design*, 2006, (1): 1-6.
- [20] Liu Y G, Liu C C, Wei Y F, Liu Y G, Guo K. Species composition and community structure at different vegetation successional stages in Puding, Guizhou Province, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(10): 1009-1018.
- [21] Peng S L. *Study and Application of Restoration Ecology in Tropical and Subtropical China*. Beijing: Science Press, 2003.
- [22] Si B, Yao X H, Ren H D, Li S, He B H. Species diversity in the process of vegetation succession in karst area in western Guangxi. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2008, 30(1): 113-118.
- [23] Si B, Yao X H, Ren H D, Li S, He B H. Species diversity in the process of vegetation succession in the karst area in eastern Yunnan. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2009, 31(1): 132-139.
- [24] Tilman D. The resource-ratio hypothesis of plant succession. *The American Naturalist*, 1985, 125(6): 827-852.

参考文献:

- [5] 吴鹏, 陈骏, 崔迎春, 丁访军, 朱军. 茂兰喀斯特植被主要演替群落土壤有机碳研究. *中南林业科技大学学报*, 2012, 32(12): 181-186.
- [6] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中, 魏鲁明, 陈正仁. 退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究. *林业科学*, 2002, 38(1): 1-7.
- [7] 李先琨, 蒋忠诚, 黄玉清, 向悟生, 吕仕洪, 叶铎, 苏宗明. 桂西南岩溶山地优势植物种群动态及其对岩溶作用的影响. *地球科学*, 2008, 29(2): 253-259.
- [9] 贺庆棠, 陆佩玲. 中国岩溶山地石漠化问题与对策研究. *北京林业大学学报*, 2006, 28(1): 117-120.
- [10] 袁道先. 现代岩溶学在我国的发展. *中国科学基金*, 2005, 19(3): 139-141.
- [12] 刘京涛, 温远光, 周峰. 桂西南退化喀斯特植被自然恢复研究. *水土保持研究*, 2009, 16(3): 65-69.
- [13] 穆彪, 杨立美, 张莉. 喀斯特植被恢复过程的群落演替特征. *西南大学学报: 自然科学版*, 2008, 30(6): 91-95.
- [14] 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 王克林, 曹洪麟, 李先琨, 覃文更, 谭卫宁, 刘璐. 喀斯特峰丛洼地不同类型森林群落的组成与生物多样性特征. *生物多样性*, 2010, 18(4): 355-364.
- [15] 彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 王克林, 傅伟, 刘璐, 杜虎, 鹿士杨, 殷庆仓. 喀斯特常绿落叶阔叶混交林植物与土壤地形因子的耦合关系. *生态学报*, 2010, 30(13): 3472-3481.
- [16] 杜虎, 彭晚霞, 宋同清, 王克林, 曾馥平, 鹿士杨, 时伟伟, 唐成, 谭秋锦. 桂北喀斯特峰丛洼地植物群落特征及其与土壤的耦合关系. *植物生态学报*, 2013, 37(3): 197-208.
- [17] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II: 丰富度、均匀度和物种多样性指数. *生态学报*, 1995, 15(3): 268-277.
- [18] 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 王克林, 欧阳资文. 桂西北喀斯特人为干扰区植被的演替规律与更新策略. *山地学报*, 2008, 26(5): 597-604.
- [19] 马遵平, 谢泽弋. 南方岩溶区植被自然演替恢复研究综述. *四川林业规划设计*, 2006, (1): 1-6.
- [20] 刘玉国, 刘长成, 魏雅芬, 刘永刚, 郭柯. 贵州省普定县不同植被演替阶段的物种组成与群落结构特征. *植物生态学报*, 2011, 35(10): 1009-1018.
- [21] 彭少麟. *热带亚热带恢复生态学研究与实践*. 北京: 科学出版社, 2003.
- [22] 司彬, 姚小华, 任华东, 李生, 何丙辉. 桂西喀斯特植被恢复演替过程中物种多样性变化. *西南大学学报: 自然科学版*, 2008, 30(3): 113-118.
- [23] 司彬, 姚小华, 任华东, 李生, 何丙辉. 滇东喀斯特植被恢复演替过程中物种多样性研究. *西南大学学报: 自然科学版*, 2009, 31(1): 132-139.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huaqun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiji, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元