

桂林岩溶石山阴香群落的数量分类 及其物种多样性研究

张忠华^{1,2}, 胡刚³, 梁士楚^{1*}

(1. 广西师范大学 生命科学学院, 广西 桂林 541004; 2. 华东师范大学 环境
科学系, 上海 200062; 3. 中山大学 生命科学学院, 广州 510275)

摘要: 采用双向指示种分析(TWINSPAN), 对桂林岩溶石山阴香群落进行数量分类, 并应用 Patrick 丰富度指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 多样性指数以及 Pielou 均匀度指数比较分析了各群丛类型的物种多样性特征。结果表明:(1)阴香群落可划分为 5 种群丛类型, 分别为: I. 阴香—山合欢—荩草群丛; II. 阴香—石山桂花+粗糠柴—麦冬群丛; III. 阴香—石山桂花—麦冬+凸脉苔草群丛; IV. 阴香—石山桂花+小叶女贞—麦冬群丛; V. 阴香—香槐+石山桂花—剑叶凤尾蕨+普通假毛蕨群丛;(2)阴香群落的结构较为简单, 物种多样性相对较低; 在 5 个群丛类型中, 群丛 III 和群丛 V 的物种丰富度和多样性指数较高, 群丛 II 的多样性指数较低; 由于生境条件和人为干扰程度的不同, 群丛类型的物种多样性存在一定差异。

关键词: 阴香群落; TWINSPAN 分类; 物种多样性; 群丛类型; 桂林

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2008)02-0191-06

Numerical classification and species diversity of *Cinnamomum burmannii* community in karst hills of Guilin

ZHANG Zhong-Hua^{1,2}, HU Gang³, LIANG Shi-Chu^{1*}

(1. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China; 2. Department of Environmental
Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. College of Life Sciences,
Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Classification of *Cinnamomum burmannii* communities in karst hills of Guilin was conducted by Two-way Indicator Species Analysis(TWINSPAN), and species diversity was analyzed by various kinds of diversity indices such as the Patrick's richness index (R), Simpson index (D), Shannon-Wiener index (H) and Pielou's evenness index(E). The results show that:(1)the *Cinnamomum burmannii* communities could be divided into five types: I. Ass. *Cinnamomum burmannii*—*Albizzia kalkora*—*Arthraxon hispidus*; II. Ass. *Cinnamomum burmannii*—*Osmanthus fordii*+*Mallotus philippinensis*—*Ophiopogon japonicus*; III. Ass. *Cinnamomum burmannii*—*Osmanthus fordii*—*Ophiopogon japonicus*+*Carex lanceolata*; IV. Ass. *Cinnamomum burmannii*—*Osmanthus fordii*+*Ligustrum quihoui*—*Ophiopogon japonicus*; V. Ass. *Cinnamomum burmannii*—*Cladrastis wilsonii*+*Osmanthus fordii*—*Pteris ensiformis*+*Pseudocyclosorus subochthodes*. (2)the community structure was simple, and species diversity indices were relatively lower. In the five community associations, species diversity indices of association III and V were higher than others, those of association II were relatively lower. Influenced by habitat conditions and human disturbance, species

收稿日期: 2006-06-27 修回日期: 2007-01-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2006CB403207); 广西新世纪十百千人才工程专项资金(2003228)[Sponsored by State Key Basic Research and Development Program of China(2006CB403207); Special Foundation for Shi-Bai-Qian Talents of Guangxi (2003228)]

作者简介: 张忠华(1981-), 女, 安徽金寨人, 博士研究生, 主要从事植被生态学研究。

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: gxlsc@sina.com)

diversity was different among the association types.

Key words: *Cinnamomum burmannii* community; TWINSpan classification; species diversity; association type; Guilin

阴香(*Cinnamomum burmannii*)为樟科常绿阔叶乔木树种,在我国主要分布于海南、广东、广西、云南等地(中国科学院植物研究所,1983)。阴香通常分布在非钙质土的生境中,但在桂林岩溶石山,阴香也较为常见,多分布在土壤覆盖度较大、土层相对深厚的生境中,并成为乔木群落的建群种或优势种,这对研究岩溶地区生境条件的改善与植被演替方向的关系具有重要意义。岩溶生态系统较其它生态系统脆弱,植被生境条件严酷,且破坏容易恢复困难,岩溶区生态环境建设和石漠化治理的首要任务是植被恢复(李先琨等,2003)。因此,应加强岩溶区的生物资源及其生物多样性的保护工作。物种多样性是生境中物种丰富度及分布均匀性的一个量度,它能表征生物群落组成结构的数量特征,反映生物群落的生境条件差异以及稳定程度等,因此被广泛应用于群落生态学研究(梁士楚等,2001)。目前为止,对岩溶石山阴香种群的生态学研究未见有文献报道。本文采用 TWINSpan 多元等级分类法对阴香群落进行数量分类,在群丛类型划分的基础上对其物种多样性特征进行分析,探讨植物群落多样性与其环境的关系,以期为其合理保护与利用以及岩溶地区退化生态系统的植被恢复与重建提供科学的理论依据。

1 研究地区环境概况

研究区位于桂林岩溶地貌区,地处广西壮族自治区东北部,110°9′~110°42′ E,24°40′~25°40′ N,总土地面积 7 420 km²(张朝晖等,2005)。境内岩溶地貌特征明显,海拔多在 100~500 m 之间,属中亚热带湿润季风气候,气候温和,雨量充沛,年均气温 19 °C,日照 1 465 h,最冷(1月)平均气温 8 °C,最热(8月)平均气温 28 °C,全年无霜期 309 d,年均降雨量 1 856.7 mm,降雨量年分配不均,秋、冬季干燥少雨,年均蒸发量 1 458.4 mm(黄雅丹等,2003)。

2 研究方法

2.1 样地调查

经充分踏查,选择阴香林保存较好的地段,考虑阴香不同群落类型、生境特点和人为干扰等因子的

代表性,共设置 11 个样地,其中普陀山 6 个、南溪山 2 个、阳朔 3 个。选取的样地面积多数为 20 m×20 m,个别地点由于岩溶石山地势的影响在取样时对样地面积作相应调整。将每一样地划分为 10 m×10 m 的样方进行调查,测量样方内所有乔木树种胸径≥2.5 cm 的个体的特征值,即个体坐标、高度、胸围、冠幅、郁闭度等数量特征。同时,在每个样地内设置 2 个 5 m×5 m 的小样方,分别统计灌木层和草本层的物种个体数、高度和盖度等指标。同时记录样地的乔、灌、草总盖度、岩石裸露率、坡度、坡向、人为干扰等群落综合特征和生境特征。并在每个样地中取 0~20 cm 土层的土壤作为样品,测定其 N、P、K、Ca 和有机质含量以及 pH 值等理化性质。样地概况见表 1。

2.2 数据处理

2.2.1 群落的数量分类 双向指示种分析(Two-way Indicator Species Analysis, TWINSpan)是由 Hill 在指示种分析的基础上发展起来的一种多元等级分类方法,在国内外植被生态学研究中得到广泛使用(Hill 等,1975;张金屯,2004;Edward 等,1997;Suh & Lee,1998)。本文应用 TWINSpan 分类法对 11 个阴香群落样地进行数量分析,计算过程采用国际通用软件 TWINSpan(Hill,1979)完成。

2.2.2 物种多样性的测度 采用 Patrick 丰富度指数(R)、Simpson 指数(D)、Shannon-Wiener 指数(H)和 Pielou 均匀度(E)指数进行物种多样性的测度,其表达式分别为:

$$R=S; D=1-\sum p_i^2; H=-\sum p_i \log p_i; E=H'/\ln S$$

式中, $p_i=n_i/N$, n_i 为种 i 在样地中的重要值, N 为所有种在样地中的重要值总和, S 为出现在样地内的物种总数(Zhang,2005)。

2.2.3 重要值计算 以重要值作为分析的数量指标,其计算方法为:乔木层重要值=(相对密度+相对频度+相对优势度)/300;灌木层和草本层重要值=(相对高度+相对盖度)/200。

3 结果与分析

3.1 TWINSpan 分类

采用 TWINSpan 多元等级分类法,经过 4 次

划分,将 11 个样地划分为 5 组(图 1),代表 5 种群丛类型,其主要特征如下:

I. 阴香-山合欢-荩草群丛(*Ass. Cinnamomum burmannii-Albizzia kalkora-Arthraxon hispidus*): 包含样地 10。位于阳朔,坡向为北坡,坡度 10°,岩石裸露率高达 75%,平均高度 10 m,群丛总盖度 60%,乔木层的郁闭度 0.5 左右,其中阴香盖度 45%,高度为 9~10 m,伴生有翅荚香槐(*Cladrastis platycarpa*)、苦楝(*Melia azedarach*)等树种,林下阴香幼树较少。由

于人为干扰较大和岩石裸露率高,灌木相对较少,以山合欢占优势,盖度为 20%~25%,还有粗糠柴(*Mallotus philippinensis*)、小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)、朴树(*Celtis sinensis*)、胡颓子(*Elaeagnus pungens*)等。草本层种类稀少,盖度为 20%左右,以荩草占优势,另有江南星蕨(*Microsorium fortunei*)、牛耳朵(*Chirita eburnea*)等。层间植物主要有九龙藤(*Bauhinia championii*)、老虎刺(*Pterolobium punctatum*)等。

表 1 样地概况
Table 1 The description of experimental plots

样地编号 Plot No.	群落盖度(%) Total cover of community	坡度(°) Slope	岩石裸露率(%) Ratio of rock bareness	土壤有机质(%) Organic matter	pH	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)
Q1	80	15	30	5.34	6.16	0.24	0.04	1.11	0.63
Q2	80	5	25	3.51	4.89	0.20	0.05	1.55	0.31
Q3	80	30	20	4.54	5.61	0.24	0.05	1.53	0.44
Q4	70	5	10	3.62	5.59	0.22	0.04	1.52	0.54
Q5	85	15	15	5.34	5.57	0.27	0.04	1.78	0.48
Q6	75	15	20	4.02	6.24	0.23	0.05	1.60	0.71
Q7	75	55	40	7.64	6.70	0.38	0.06	1.76	0.79
Q8	80	50	35	8.51	5.47	0.40	0.06	1.34	0.75
Q9	90	5	10	3.51	6.89	0.22	0.11	1.23	0.69
Q10	60	10	75	2.76	6.47	0.20	0.10	1.20	0.36
Q11	85	12	10	3.45	7.85	0.20	0.05	0.56	0.01

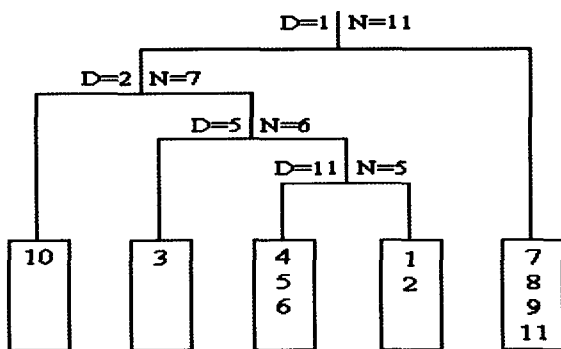


图 1 阴香群落 11 个样地的 TWINSpan 分类树状图
Fig. 1 Dendrogram of the TWINSpan classification of 11 plots of *Cinnamomum burmannii* community

II. 阴香-石山桂花+粗糠柴-麦冬群丛(*Ass. Cinnamomum burmannii-Osmanthus fordii + Mallotus philippinensis-Ophiopogon japonicus*): 包含样地 3。分布于桂林普陀山的东南坡,坡度 30°,岩石裸露率 20%,土壤水分、养分条件一般,平均高度 7m,群丛总盖度 80%,乔木层郁闭度为 0.7,阴香盖度 60%左右,乔木层种类除阴香占优势外,伴生有侧柏(*Platycladus orientalis*)、翅荚香槐等。林下有少量阴香幼树,灌木层种类组成较少,主要由阴香、石山桂花和粗糠

柴幼树组成。盖度为 15%~20%,此外还有红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、皱雀梅藤(*Sageretia rugosa*)等。草本层种类较单一,以麦冬为主,盖度为 30%~60%,此外伴生有苔草(*Carex lanceolata*)等。层间植物以九龙藤为多,盖度较大。

III. 阴香-石山桂花-麦冬+苔草群丛(*Ass. Cinnamomum burmannii-Osmanthus fordii-Ophiopogon japonicus + Carex lanceolata*): 包含样地 4、5、6。分布于桂林普陀山的东南坡,坡度为 5°~15°,岩石裸露率 10%~20%,土壤水分条件较好,平均高度 7.5 m,群丛总盖度 70%~85%,枯枝落叶较厚,其中样地 5 为幼龄的阴香群落。乔木层的郁闭度为 0.7~0.75,阴香盖度 60%~65%,乔木层种类较少,阴香占主要优势,还伴生有菜豆树(*Radermachera sinica*)、侧柏、朴树等树种。林下阴香幼树较多,灌木层种类组成比较单纯,主要以优势种阴香、石山桂花幼树为主,盖度 15%~25%,其次有粗糠柴、小叶女贞、胡颓子等。草本层以麦冬和苔草为多,盖度 30%~40%,还伴有剑叶凤尾蕨、荩草等。层间植物主要有九龙藤、络石(*Trachelospermum jasminoides*)等,盖度较小。

IV. 阴香-石山桂花+小叶女贞-麦冬群丛(*Ass. Cinnamomum burmannii-Osmanthus fordii +*

Ligustrum quihoui-Ophiopogon japonicus): 包含样地 1、2。分布于桂林普陀山的西南坡, 坡度为 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$, 岩石裸露率高达 $25\% \sim 30\%$, 人为干扰较严重, 土壤较为贫瘠, 平均高度 8 m、群丛总盖度 80% , 其中乔木层郁闭度为 $0.65 \sim 0.75$, 其中阴香的盖度为 $65\% \sim 70\%$, 高度为 $6 \sim 9$ m, 阴香占有明显优势, 伴生有菜豆树、香槐 (*Cladrastis wilsonii*)、侧柏等树种, 林下幼树多。灌木种类较少, 以阴香、石山桂花幼树和小叶女贞为主, 盖度为 $10\% \sim 30\%$, 伴生有皱雀梅藤等。草本层种类稀少, 盖度为 20% , 麦冬为优势种。层间植物以九龙藤为主, 另有山木通 (*Clematis armandi*)、菝葜 (*Smilax china*) 等, 盖度较大。

V. 阴香-香槐+石山桂花-剑叶凤尾蕨+普通假毛蕨群丛 (*Ass. Cinnamomum burmannii-Cladrastis wilsonii + Osmanthus fordii-Pteris ensiformis + Pseudocyclosorus subochthodes*): 包含样地 7、8、9、11。分布于桂林南溪山的西南坡和阳朔的南坡, 坡度为 $5^{\circ} \sim 55^{\circ}$, 岩石裸露率 $10\% \sim 40\%$, 平均高度 8.5 m、群丛总盖度 $75\% \sim 90\%$, 枯枝落叶较多, 个别样地土壤水分、养分条件较好。乔木层郁闭度为 0.8, 阴香盖度为 $60\% \sim 70\%$, 高度为 $6 \sim 10$ m, 伴生有石山桂花、大叶女贞 (*Ligustrum lucidum*)、香槐等树种。灌木层盖度 $15\% \sim 30\%$, 以香槐、阴香和石山桂花幼树数量较多, 伴生种为粗糠柴、胡颓子、小叶女贞等。草本层以剑叶凤尾蕨和普通假毛蕨为主, 此外尚有荇草、麦冬等, 盖度为 $15\% \sim 30\%$ 。层间植物主要有九龙藤、络石等, 盖度较大。

3.2 群落的物种多样性

物种多样性是群落内物种数目和各物种个体数的分配均匀度。由表 2 和图 2 可知, 群落的丰富度、均匀度和物种多样性指数表和变化曲线较好地反映了桂林岩溶石山阴香 5 个群丛类型的物种丰富程度、种类组成等方面的差异。丰富度指数和物种多样性指数反映的各群丛多样性的变化趋势基本一致。群丛 III、群丛 V 的丰富度指数和多样性指数高于其它群丛, 变化趋势基本相同, 但均匀度指数却不是很高。这说明群落环境优越, 物种多样性高, 群丛 III 和群丛 V 的土壤有机质含量较高, 干扰相对较小, 生境对物种有较大的容纳量, 物种多样性较高, 但种间个体数差异较大, 均匀度较低。群丛 IV 多分布于人类活动较频繁的地区附近, 如桂林普陀山等地, 生境贫瘠, 岩石裸露率较高, 人为干扰较严重, 物种相对稀少, 主要为较适应岩溶石山干燥贫瘠土壤环境

的树种, 乔木层除阴香外, 伴生少量菜豆树、香槐、侧柏等, 灌木层种类较少, 有石山桂花、小叶女贞等, 草本稀少, 以麦冬为主, 分布也不均匀, 其均匀度指数和多样性指数是 5 个群丛中最低的。群丛 II 的丰富度指数高于群丛 I, 但多样性指数与群丛 I 基本持平, 且两个群丛的均匀度指数比其他群丛类型高。另外, 部分群丛丰富度指数和物种多样性指数表现出基本一致的变化趋势, 而均匀度指数与前两类指数相比, 呈相反的变化趋势。各项指数与群丛类型和结构有关, 第一, 丰富度指数随群落中物种数量的增加而增加; 第二, 群落结构越复杂, 丰富度指数和多样性指数越大, 均匀度指数越小 (郭艳萍等, 2005)。如群丛 III 和群丛 V 垂直结构复杂, 乔木层、灌木层和草本层种类均较多, 因而其丰富度指数和多样性指数较大, 而均匀度指数较小。

由于小生境条件的差异, 表现在同一群落内多样性、丰富度、均匀度的不同, 在选定的群落内, 受微环境和建群种自身发育特性的影响, 不同群丛的各层多样性变化各具特点。物种丰富度可度量群落内物种的数量特征, 丰富度指数大部分表现为乔木层最大, 灌木层较大, 草本层最小 (表 2), 但群丛 I 和群丛 V 类型表现为灌木层 $>$ 草本层 $>$ 乔木层和灌木层 $>$ 乔木层 $>$ 草本层。均匀度指数变化较为复杂, 五个群丛中, 乔木层种类虽多, 但在群落内物种的分布并不均匀, 而草本种类在群落内的分布要均匀得多, 因此表现为草本层 $>$ 灌木层 $>$ 乔木层和草本层 $>$ 乔木层 $>$ 灌木层。群丛 II、群丛 III 和群丛 IV 的多样性指数的变化趋势为乔木层 $>$ 灌木层 $>$ 草本层, 主要由于阴香群落乔木层盖度大, 林下枯枝落叶层较厚, 部分样地岩石裸露率高和人为干扰较严重, 致使群落下层的灌木和草本生长缓慢, 种类少且稀疏, 多样性指数较低; 而群丛 I、群丛 V 乔木层种类虽多, 但阴香占较大比例, 一定程度上降低了乔木层的多样性指数, 虽部分地段岩石裸露率较高, 但土壤水分与养分条件较好且具有丰富的小生境类型, 因此草本层种类较丰富, 从而多样性指数基本表现为草本层 $>$ 灌木层 $>$ 乔木层。群落内垂直结构上物种丰富度指数和均匀度指数的变化出现分异现象, 主要与群落内某个种群的绝对数量多少及其在群落内的分布有关, 在一个特定群落内的某一生长型, 丰富度指数与物种总数成正比, 与总个体数成反比, 与个体数在群落内的分布无关, 而均匀度指数强调个体在群落内的分布, 即群落内个体数分布越均匀, 均匀度

表 2 5 个阴香群丛的物种多样性

Table 2 Species diversity of 5 associations of *Cinnamomum burmannii*

群丛类型 Association type	分层 Layers	Patrick 指数 (R)	Simpson 指数 (D)	Shannon— Wiener 指数 (H)	Pielou 指数 (E)
I. 阴香—山合欢—荩草群丛	乔木层	4	0.5443	1.028	0.741
	灌木层	8	0.7590	1.587	0.842
	草本层	6	0.7760	1.633	0.912
	合计	18	0.8977	2.569	0.889
II. 阴香—石山桂花+粗糠柴—麦冬群丛	乔木层	12	0.8054	1.974	0.794
	灌木层	6	0.7488	1.587	0.886
	草本层	2	0.4647	0.657	0.948
	合计	20	0.8910	2.505	0.836
III. 阴香—石山桂花—麦冬+苔草群丛	乔木层	29	0.8732	2.645	0.785
	灌木层	8	0.6841	1.533	0.737
	草本层	5	0.6928	1.345	0.835
	合计	42	0.9167	2.940	0.786
IV. 阴香—石山桂花+小叶女贞—麦冬群丛	乔木层	21	0.8203	2.346	0.771
	灌木层	6	0.6262	1.337	0.746
	草本层	2	0.4989	0.692	0.998
	合计	29	0.8819	2.550	0.757
V. 阴香—香槐+石山桂花—剑叶凤尾蕨 +普通假毛蕨群丛	乔木层	15	0.6925	1.761	0.650
	灌木层	20	0.7819	2.271	0.758
	草本层	12	0.8486	2.167	0.872
	合计	47	0.9247	3.164	0.822

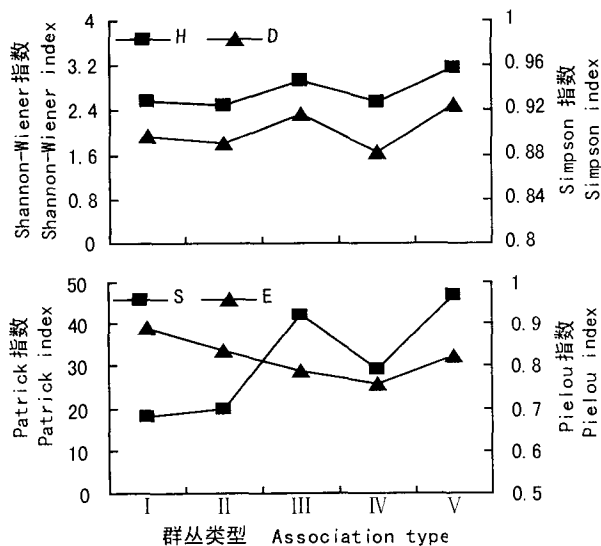


图 2 5 个阴香群丛类型的丰富度、均匀度和多样性指数变化曲线

Fig. 2 The curves of the richness, evenness and diversity index of 5 associations of *Cinnamomum burmannii*

指数越高。因此,一个具有较低物种丰富度指数和较高均匀度指数的群落,其多样性指数可能和一个物种丰富度指数大而均匀度指数低的群落相同。

4 讨论

(1) TWINSpan 是一种理想的植物群落分类方法,可得到比较客观、合理的分类结果(许彬等,

2006)。在本研究中, TWINSpan 分类方法较好地 将 11 个样地划分为 5 个群丛类型, 不同类型中, 物种在分布区域及样地中的地位存在一定的差异。在具体分类过程中, 应充分考虑群落的生境特征和物种在群落中的地位和作用, 才能获得更加客观和符合植被分类原则的结果。(2) 广西是全国植被类型最齐全和最丰富的省区之一, 岩溶区有高等植物 4 000 多种, 生态结构复杂, 物种多样性丰富(李先琨等, 2003)。岩溶石山的生境特征为岩石裸露率高, 土层浅薄, 水分、养分条件较差, 环境不利于很多物种的生长。群落的物种组成决定群落的性质、结构和功能, 环境因子对群落的物种组成具有决定性的影响, 各种人为扰动因素是影响群落性质、结构和功能的重要生态因子(李新荣等, 1999)。本文通过对阴香群落物种多样性分析可知, 由于岩溶石山生境条件和人为干扰程度的不同, 阴香各个群丛类型的物种多样性存在着一定的差异。在环境比较适合、土层较厚、水分和养分条件相对较好、岩石裸露率相对较低的地方, 物种多样性较高, 如群丛 III 和群丛 V 的物种比较丰富, 多样性指数高; 而在群落水热条件较差, 且人为干扰较大的地方, 如群丛 II 的物种数较少, 群落结构稳定性差, 物种多样性相对较低。因此, 可看出生境条件的差异和人为干扰程度是影响阴香群落结构与物种多样性的重要因素。(3) 阴香所处样地内, 人类活动较频繁, 岩石裸露率相对较高, 不同人为干扰程度, 使得植被受到一定的

破坏。由于岩溶生态系统的脆弱性,抗外界干扰能力弱,植被易于破坏难于恢复。因此,封山育林,减少人为干扰是保护岩溶地区植被的必要措施。

参考文献:

- 中国科学院植物研究所. 1983. 中国高等植物图鉴[M]. 北京: 科学出版社
- 张金屯. 2004. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社: 214—218
- Edward W B, Robert J H, Arthur W B. 1997. Upland plant community classification in Elk Island national park, Alberta, Canada, using disturbance history and physical site factors[J]. *Plant Ecol*, **130**: 171—190
- Guo YP(郭艳萍), Zhang JT(张金屯), Liu XZ(刘秀珍). 2005. Study on the species diversity of the plant community in Tianlong Mountain, Shanxi(山西天龙山植物群落物种多样性研究)[J]. *J Shanxi Univ(Nat Sci)*(山西大学学报·自然科学版), **28**(2): 205—208
- Huang YD(黄雅丹), Xie Q(谢强). 2003. A preliminary study on the ecological distribution of bryoflora karst stone hill in Guilin(桂林岩溶石山苔藓植物生态分布初探)[J]. *Carsol Sin*(中国岩溶), **4**(22): 299—305
- Hill M O, Bunce R G H, Shaw M W. 1975. Indicator species analysis, a divisive polythetic method of classification and its application to a survey of native pinewoods in Scotland[J]. *J Ecol*, **63**: 597—613
- Hill MO. 1979. TWINSPAN—a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. *Ecology and Systematic*, Ithaca [M]. New York: Cornell University press
- Li XK(李先琨), Su ZM(苏宗明), Lu SH(吕仕洪), et al. 2003. The spatial pattern of natural vegetation in the karst regions of Guangxi and the ecological significance for ecosystem rehabilitation and reconstruction(广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复重建的意义)[J]. *J Mount Sci*(山地学报), **21**(2): 129—130
- Li XR(李新荣), Zhang XS(张新时). 1999. Biodiversity of shrub community in desert steppe and steppe desert on Erdos plateau(鄂尔多斯高原荒漠化与草原化荒漠灌木类群生物多样性的研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **10**(6): 665—669
- Liang SC(梁士楚), Wang BS(王伯荪). 2001. Species diversity of *Carpinus pubescens* community and its jackknife estimation(云贵鹅耳枥群落物种多样性及其刀切法估计)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), **9**(2): 129—135
- Suh MH, Lee DK. 1998. Stand structure and regeneration of *Quercus mongolica* forests in Korea[J]. *Fore Ecol Management*, **106**: 27—34
- Xu B(许彬), Zhang JT(张金屯), Yang HX(杨洪晓), et al. 2006. Quantitative analysis of plant communities in Baihua Mountains, Western Beijing(京西百花山植物群落数量分析)[J]. *J Beijing Normal Univ(Nat Sci)*(北京师范大学学报·自然科学版), **42**(1): 90—94
- Zhang JT. 2005. Succession analysis of plant communities in abandoned croplands in the eastern Loess Plateau of China[J]. *J Arid Environ*, **63**: 458—474
- Zhang ZH(张朝晖), Zhao CH(赵传海), Li XN(李晓娜), et al. 2005. Bryophytes of karst caves in Guilin area, China(中国桂林岩溶洞穴苔藓植物研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **25**(2): 107—111
- Chin J Appl Ecol(应用生态学报), **15**(9): 1 641—1 649
- Liu RA(柳若安), Liu HT(刘厚田). 1995. Effect of acidity and Al on the Growth of *Pinus massoniana* seedlings(酸度和铝对马尾松生长的影响)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), **37**(2): 154—158
- Liu YH(刘拥海), Yu LE(俞乐). 2004. Relationship on the differences of soybean cultivars in Al tolerance and organic acids(大豆耐铝性品种差异及其与有机酸的关系)[J]. *Guihaia*(广西植物), **24**(6): 554—557
- Ma JF, Zheng SJ, Li XF, et al. 1997. A rapid hydroponic screening for Al tolerance in baley[J]. *Plant Soil*, **191**: 133—137
- Ma JF, Hiradate S, Matsumoto H. 1998. High Al resistance in buckeheat. II. Oxalic acid detoxifies Al internally[J]. *Plant physiol*, **117**: 753—759
- Ownby JD, Popham HR. 1990. Citrate reverses the inhibition of wheat root growth caused by Al[J]. *J Plant Physiol*, **135**: 588—591
- Sheng RF, Ma JF. 2001. Distribution and mobility of Al in an Al-accumulating plant *Fagopyrum esculentum*[J]. *J Exp Bot*, **52**: 1 683—1 687
- Sheng RF, Ma JF, Kyo M. 2002. Compartmentation of Al in leaves of an Al-accumulator, *Fagopyrum esculentum* [J]. *Planta*, **215**: 394—398
- Sheng H(沈宏), Yan XL(严小龙). 2001. Types of Al toxicity and plants resistance to Al toxicity(铝对植物的毒害和植物抗铝毒机理及其影响因素)[J]. *Chin J Soil Sci*(土壤学报), **32**(6): 281—285
- Taylor GJ. 1989. Al toxicity and tolerance in plants[M]//Asriano DC, Johnson AH. Acidic Precipitation Biological and Ecological Effects. New York: Springer-Verlag, **2**: 327—361
- Wang F(王芳), Liu P(刘鹏), Xu GD(徐根娣), et al. 2005b. Effects of Al on some physiological characters of buckwheat(铝对荞麦生理影响的研究)[J]. *J Agro-Environ Sci*(农业环境科学学报), **24**(4): 678—681
- Wang F(王芳), Liu P(刘鹏), Xu GD(徐根娣), et al. 2006. Effects of Al amount in soil on the root growth of buckwheat(铝对荞麦根系的影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), **26**(3): 321—324
- Zhang WH(章文华), Ma JF(马建锋), Liu YL(刘友良). 2002. Sites of Al uptake and oxalic acid secretion in buckwheat roots(荞麦根吸收铝和分泌草酸的部位)[J]. *Plant Physiol Commun*(植物生理学通讯), **38**(1): 9—11
- Zhang YZ(张以忠), Chen QF(陈庆富). 2004. Status and prospect of buckwheat research(荞麦研究的现状与展望)[J]. *Seeds*(种子), **23**(3): 39—42
- Zheng SJ, Ma JF, Matsumoto H. 1998. Continuous secretion of organic acids is related to Al resistance during relatively long-term exposure to Al stress[J]. *Physiol Plant*, **103**: 209—214

(上接第 205 页 Continue from page 205)