

云南石林喀斯特小生境木本植物多样性特征

俞筱桢¹, 李玉辉², 马遵平²

(1. 黔南民族师范学院历史与社会文化系, 贵州 都匀 558000; 2. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650092)

摘要: 喀斯特生境与生物多样性的关系及对人为干扰的响应是喀斯特生态恢复的重要内容。以石林世界地质公园为例对此进行研究。从喀斯特溶痕与植物生长发育关系角度看, 石林的小生境可分出节理溶沟、裂隙溶沟、楔状槽沟、深溶蚀坑、溶蚀石堆、浅溶蚀盘、溶蚀穿洞、溶蚀井或圆形溶槽和溶蚀廊道等9种。这些小生境的长度在31~340 cm, 宽度在10~261 cm。在原生林、次生林、灌丛和灌丛草地等四个群落中调查了各个小生境的木本植物, 共记录40科92种, 个体数11420株, 其中以溶蚀廊道的木本植物总数最多, 溶蚀穿洞最少。物种和数量保持最稳定的小生境是溶蚀石堆和裂隙溶沟。各小生境群落间的物种相似性指数很低。裂隙溶沟、深溶蚀坑、楔状槽沟、溶蚀石堆等小生境在人为强烈干扰后, 仍保留有部分乡土植物繁殖体, 其他小生境缺乏, 这些繁殖体对生态严重退化区的喀斯特植被恢复具有重要意义。喀斯特生境的尺度影响森林植被的自然恢复。保护喀斯特地质遗迹可以促进生物多样性恢复和保护, 石林世界地质公园提供了例证。

关键词: 喀斯特; 地质多样性; 生物多样性; 植被恢复; 生态恢复; 地质公园

中图分类号: S718

文献标识码: A

生境转化(改变、破碎化)是生物多样性最大的威胁, 生态恢复在一定程度上可逆转这种威胁^[1-2] (Dobson, 1997; Huxel, 1999)。喀斯特地貌多样性产生复杂的生境多样性, 带来复杂的生物多样性, 其溶痕类型的多样性产生复杂、多样的小生境。小生境是小尺度的生境^[3-4] (朱守谦, 2003; 谢双喜, 2001)。小生境在生物多样性保护中的重要意义已为部分学者所注意并进行报道^[5-7] (叶万辉, 2000; 彭闪江, 2003; 张荣, 2004), 但对其在人为干扰下的生物多样性保持与恢复中的重要意义的研究报道鲜见。喀斯特地貌景观的美学观赏性强, 容易成为特殊的保护地, 这种以保护地质多样性为对象的保护地对生物多样性保护恢复发挥的作用是一个值得研究的问题。本文选择云南石林世界地质公园(位于云南路南)进行喀斯特小生境与生物多样性关系研究, 以探讨喀斯特地质遗迹保护在生物多样性保持恢复中的作用。

1 研究地点与方法

1.1 研究地点

云南石林世界地质公园面积35000 hm², 位于103°11'~103°29' E, 24°40'~24°56' N, 主体海拔多在1750~1900 m, 局部山峰海拔超过2200 m, 气候类型为北亚热带喀斯特高原干湿季风气候, 处于中国-日本与中国-喜马拉雅植物区系的过渡带位置^[8] (金振洲, 1998), 地带性植被是半湿润常绿阔叶林, 以滇青冈林、黄毛青冈林为代表。在建立石林名胜区前, 人类活动已严重地扰动了森林植被, 生物多样性面貌发生了根本性变化。自1982年成为国家风景名胜区后, 除了当地彝族、撒尼人保护的密枝山有原生性强的落叶常绿混交林外^[9] (沈有信等, 2005), 在风景区保护地段出现了大量的恢复林, 并与非保护地植被有显著差异, 这为开展喀斯特地质

收稿日期(Received date): 2006-12-01; 改回日期(Accepted): 2007-05-18.

作者简介(Biography): 俞筱桢(1980-), 男, 汉族, 云南省罗平人, 硕士, 主要研究方向: 区域生态和景观设计。联系电话: 13595410802 E-mail: ynyxy800305@163.com. [Yu Xiaoyao(1980-), male, Luoping Yunnan. Master Project aim is to study regional ecology and landscape architecture.]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

多样性保护与喀斯特生物多样性保护恢复的关系研究提供了实例。根据石林世界地质公园地带性植被受人为干扰后形成的不同植被类型, 选择地带性植被(原生林)(S1)、次生林(S2)、灌丛(S3)、灌丛草地(S4)等共 4 种群落为调查样地。原生林样地位于石林世界地质公园南部蓑衣山; 次生林位于乃古石林; 灌丛位于步哨山; 灌丛草地位于板栗园。

原生林以滇青冈林为代表, 主要物种是滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides* Schottky)、团花新木姜子(*Neolitsea hamilantha* Allen)、云南木樨榄(*Olea yunnanensis* Hand-Mazz)、清香木(*Pistacia weinmannifolia* J. Poisson ex Fr.)、云南鹅耳枥(*Capinus mobeigiana* Hand-Mazz)、黄连木(*Pistacia chinensis* Bunge)等, 估计曾有过严重砍伐, 因为整个群落中没有 V 级大树存在, 现在受人类干扰小, 但有择伐的伐桩存在, 且主要存在于彝族村寨附近的神山林(密枝林)。次生林是一种自然恢复次生林, 为团花新木姜子林, 以团花新木姜子、云南木犀榄、黄连木、清香木、裂果漆(*Toxicodendron griffithii*)等, 受人畜干扰较小。灌丛是一种自然恢复时间较短的清香木、绣线菊灌丛, 以植物种类较少、植株稀疏、矮小且多成簇状分布为特征, 主要有清香木、毛枝绣线菊(*Spiraea martinii* Levl.)等, 受人畜干扰较大。灌丛草地至今仍受到强烈干扰, 是一种典型的喀斯特灌丛草地, 生境严重退化, 但有少量的木本植物簇状分布于其间, 一些特殊的生境中甚至有原生林的优势种存在, 但多为伐桩上萌生的繁殖体。本研究的调查样地为毛枝绣线菊、扭黄茅群落, 草本主要有扭黄茅(*Heteropogon contortus* (L.) P. Beauv. ex Roemer)、竹叶草(*Oplismenus compositus*)、云南裂稃草(*Schizachyrium delavayi* (Hack) Bor)、紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum* Spreng.)等, 木本主要有毛枝绣线菊(*Spiraea martinii* Levl.)、毡毛栒子(*Cotoneaster pannosa* Franch.)、毛叶柿(*Diospyros mollifolia* Rehd. et Wils.)、苦刺花(*Sophora davidii* (Fr.) Komarov ex Pavd.)等。

1.2 研究方法

1.2.1 采集方法

在确定喀斯特溶痕系统与植物生长发育关系基础上, 采用常规的样方调查, 调查小生境样中的物种和数量, 并对小生境的土壤特征和尺度进行调查。在 10 m × 10 m 的样方内进行生境与物种调查。生境调查内容是: 土壤面积、土层厚度、AO 层厚度, 以

及不同生境的长与宽。物种调查采用逐株调查法, 并区分实生与萌生。

1.2.2 数据分析

选用 Shannon-w iener 指数、Pielou 指数、Simpson 指数、Margalef 指数进行生物多样性计算^[10](马克平, 1994), 用最短距离法进行聚类分析(徐建华, 1996)。

1. Shannon-w iener 多样性指数

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \\ = - \sum_{i=1}^n (N_i / N) \ln (N_i / N)$$

式中 N_i 为第 i 个物种的个体数, N 为全部物种的个体数。

2. Pielou 均匀度指数: $E = H / \ln S$

式中 H 为 Shannon-w iener 指数, S 为物种数目。

3. Simpson 优势度指数

$$C = \sum (P_i)^2 \\ = \sum (N_i / N) \ln (N_i / N)$$

式中 N_i 为第 i 个物种的个体数, N 为全部物种的个体数。

4. Margalef 丰富度指数: $R = (S - 1) / \ln N$

式中 S 为物种数目, N 为全部物种的个体数。

5. 最短距离聚类法。此方法是在原来距离矩阵的非对角线元素中找出, $d_{pq} = \min \{d_{ij}\}$ 把分类对象 G_p 和 G_q 归并为一个新类 G_r 然后按照计算公式 $d_{rk} = \min \{d_{pk}, d_{qk}\} (k \neq p, q)$ 计算原来各类与新类之间的距离, 选出最小者, 以此类推。

2 研究结果

2.1 小生境的类型与特征

小生境是指小尺度的生境, 从植物生长和保持角度看, 本文讨论的小生境类型包括节理溶沟、裂隙溶沟、楔状槽沟、深溶蚀坑、溶蚀石堆、浅溶蚀盘、溶蚀穿洞、溶蚀井或圆形溶槽和溶蚀廊道等 9 种^[11](李玉辉, 2002)。各小生境尺度特征见表 1。

浅溶蚀盘(一种近于裸露的溶蚀化石面)在所有小生境中面积最大, 约占 29.59%, 其次为溶蚀廊道, 占 24.4%, 以圆形溶槽最少, 占 4.49%。在所有小生境类型中, 其长宽均以溶蚀廊道为最, 长 340.75 cm, 最长与最短之间差距 200 cm, 宽 261.75 cm, 最宽与最窄间相差近 200 cm, 但其最大长宽比

仅为 2。

2.2 小生境物种组成和数量

在小生境群落调查中统计木本植物,共记录木本植物 40 科 92 种(表 2),其中乔木树种 27 种,灌木 44 种;藤本 21 种。数量在 10 株以上的物种有 54 种,占总物种数的 58.69%,其个体数占总个体数的 98.77%,其中乔木树种 13 种占 10 株以上物种的 24.07%,个体数占 22.44%。

从物种个体总数来看,调查记录个体数 11 420 株,其中实生个体数 1 439 株,约占 12.60%,但几乎全部集中在原生林的各种小生境中;萌生林与灌丛有少量的实生繁殖体。乔木树种 2 579 株,占 22.58%,个体数量最多的小生境为溶蚀廊道 5 089 株,占总数量的 44.56%,其次为裂隙溶沟 1 459 株,占 12.78%,节理溶沟 1 112 株,占 9.74%,浅溶蚀盘没有记录到木本物种,次少的为溶蚀穿洞 58 株,占 0.51%。但不同群落的同类小生境个体数相差较大。以溶蚀廊道为例:原生林有个体数 3 484 株,占其总株数的 68.25%,次生林占 7.95%,灌丛占 7.58%,灌草丛占 16.22%。灌草丛的植株数量大的原因在于簇状生长的毛枝绣线菊数量大,约占 73.91%,增加了该生境的植株数。

各生境之间共有种较少。9 种生境之间没有共有种,在 8 种小生境中均有出现的有 3 种,分别为:防己、团花新木姜子、小铁子;在 7 种小生境中出现

的有 7 种;在 6 种小生境中出现的有 16 种;在 5 种小生境中出现的有 5 种;在 4 种小生境中出现的有 11 种;在 3 种小生境中出现的有 9 种;在 2 种小生境中出现的有 18 种;只在一种小生境中出现的物种有 19 种,占总种数的 20.65%,其中溶蚀廊道占 52.63%。

2.3 小生境的群丛类型和物种组成变化

根据群落分类的优势度途径^[12](R. H. 惠特克, 1985)可以对小生境群落进行划分(表 3)。

2.4 小生境群落的植物多样性分析

各小生境群落的植物多样性计算结果见表 4。从表 4 中可以看出:植物多样性指数和丰富度指数均以溶蚀廊道最高,优势度不明显。其次为楔状槽沟与深溶蚀坑,优势度亦不明显。不同的背景群落的相同小生境类型的生物多样性各指数总体上呈现减少趋势,但在特殊的小生境中可能出现相对退化的生境指数较高。以多样性指数为例:在楔状槽沟中,灌丛高于次生林,而在裂隙溶沟中,灌丛草地高于灌丛和次生林。

2.5 小生境群落相似性聚类分析

各小生境群落间的相似系数见表 5。从表 5 可以看出,所有小生境中,除了与浅溶蚀盘、溶蚀穿洞有关的各个相似性系数外,其余生境间均有较高的相似性。这说明生境的异质性有利于物种特别是原生群落的优势种的保存,这才导致小生境群落间有较高的相似性。

表 1 石林地质公园小生境特征
Table 1 Types and characteristics of microhabitats in Shilin World Geopark

| 小生境类型 Type of microhabitat | 面积 Area | | 形态 shape | | | 土壤特征 characteristics of soil | |
|--|----------------|-------|---------------|--------------|------------|---------------------------------|-------------|
| | m ² | % | 长 (cm) | 宽 (cm) | 长宽比 L/W | 厚度 (cm) | AO 层厚度 (cm) |
| 楔状槽沟 cutters | 21.26 | 7.09 | 63~261 | 21.5~138.75 | 1.095~6 | 6~37 | 0~4 |
| 裂隙溶沟 grike | 30.06 | 10.02 | 71.5~320 | 10.75~89.75 | 2.625~11 | 1~41.67 | 0~3 |
| 节理溶沟 clef karren | 18.51 | 6.17 | 51~212.5 | 32.5~145 | 1.198~2.35 | 13.33~52 | 0~5 |
| 深溶蚀坑 deep solution pits | 23.19 | 7.73 | 62.5~253.5 | 39.75~156.25 | 1.155~2.39 | 9~38.5 | 0~2 |
| 溶蚀石堆 solution rock debris | 16.72 | 5.57 | 117~315.75 | 55.5~213.25 | 1.033~3.37 | 32~46 | 0 |
| 浅溶蚀盘 solution basin or large karren tiza | 88.77 | 29.59 | 31.5~240.75 | 16~173.5 | 1.078~3.22 | 0~4 | 0 |
| 溶蚀井或圆形溶槽 solution well or shaft | 13.47 | 4.49 | 101~200 | 84~132.67 | 1.133~2.5 | 19~64 | 1~3 |
| 溶蚀廊道 solution corridors | 73.30 | 24.44 | 126.25~340.75 | 70.75~261.75 | 1.003~2 | 23.67~65.3 | 1~4 |
| 溶蚀穿洞 canemous weathering or bedding cavems | 14.67 | 4.89 | 62.5~200 | 48.5~117.5 | 1.45~4.35 | 13.5~39 | 0~1 |

表2 小生境木本植物物种组成及其数量

Table 2 Species and number of the microhabitats in Shilin World Geopark

| 层次 | 植物名 | 楔状槽沟 裂隙溶沟 节理溶沟 溶蚀石堆 浅溶蚀盘 溶蚀穿洞 深溶蚀坑 圆形溶槽 溶蚀隧道 | | | | | | | | | | 总计 | |
|---------|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-----|
| | | 株 | 该层% | 总数% | 株 | 该层% | 总数% | 株 | 该层% | 总数% | 株 | 该层% | 总数% |
| 乔木 | 团花新木姜子 <i>Neolitsea homilantha</i> Allen | 43 | 129 | 103 | 55 | 3 | 138 | 40 | 292 | 803 | 31.14 | 7.032 | |
| 乔木 | 云南木姜子 <i>Olea yunnanensis</i> Hand-Mazz | 11 | 11 | 53 | 28 | | 17 | 46 | 399 | 565 | 21.91 | 4.947 | |
| 乔木 | 清香木 <i>Pistacia weinmannifolia</i> J. Poisson ex Fr. | 42 | 20 | 39 | 11 | | 25 | 4 | 340 | 481 | 18.65 | 4.212 | |
| 乔木 | 滇青冈 <i>Cyclobalanopsis glaucooides</i> Schottky | 2 | 2 | 33 | | 1 | | 14 | 322 | 374 | 14.5 | 3.275 | |
| 乔木 | 黄连木 <i>Pistacia chinensis</i> Bunge | 3 | 2 | 4 | 39 | | 6 | | 7 | 61 | 2.965 | 0.534 | |
| 乔木 | 红果树 <i>Lindera communis</i> Hemsl | 8 | | 2 | | | | 14 | 22 | 46 | 1.784 | 0.403 | |
| 乔木 | 背清香藤 <i>Jasminum lanceolarium</i> Roeb | 2 | 6 | | | | 2 | | 32 | 42 | 1.629 | 0.368 | |
| 乔木 | 滇润楠 <i>Machilus yunnanensis</i> Lecomie | 2 | 2 | 13 | 9 | | | | 14 | 40 | 1.551 | 0.35 | |
| 乔木 | 云南糙耳蕨 <i>Carpinus mobeigiana</i> Hand-Mazz | | | 2 | | | | | 29 | 31 | 1.202 | 0.271 | |
| 乔木 | 拟鼠李 <i>Rhamnella martinii</i> (Levl) Schneid | 3 | 6 | 9 | 8 | 1 | 3 | | 1 | 31 | 1.202 | 0.271 | |
| 乔木 | 柞木 <i>Xylocarpus racemosum</i> (Sieb et Zucc.) Miq | | 4 | | 8 | 1 | 7 | 3 | | 23 | 0.892 | 0.201 | |
| 乔木 | 滇朴 <i>Celtis tetrandra</i> Roeb | 2 | 1 | 9 | 1 | 1 | | 2 | 5 | 21 | 0.814 | 0.184 | |
| 乔木 | 笔管榕 <i>Ficus virens</i> Ait. = <i>F. wightiana</i> Wall. | | | 2 | | 1 | 2 | | 8 | 13 | 0.504 | 0.114 | |
| 其他 14 种 | | 4 | 4 | 6 | 4 | 1 | 15 | 1 | 12 | 48 | 1.861 | 0.42 | |
| 小计 | 27 种 | 122 | 187 | 275 | 163 | 3 | 215 | 124 | 1 483 | 2 579 | 100 | 22.58 | |
| 灌木 | 毛枝绣线菊 <i>Spiraea martinii</i> Levl. | 117 | 204 | 98 | 481 | 210 | | 721 | 1 831 | 30.68 | 16.03 | | |
| 灌木 | 小铁子 <i>Myrsine africana</i> L. | 120 | 89 | 90 | 62 | 1 | 182 | 54 | 583 | 1181 | 19.79 | 10.34 | |
| 灌木 | 粉花绣线菊 <i>Spiraea japonica</i> L.f | 71 | 320 | 148 | 185 | 3 | 125 | 145 | 151 | 1152 | 19.3 | 10.09 | |
| 灌木 | 喜阴悬钩子 <i>Rubus parvifolius</i> L. | 27 | 69 | 34 | 60 | 6 | 16 | 20 | 118 | 352 | 5.897 | 3.082 | |
| 灌木 | 半齿铁子 <i>Myrsine semiserrata</i> wall. | 8 | 1 | 15 | | 1 | | 17 | 262 | 304 | 5.093 | 2.662 | |
| 灌木 | 毛叶栒 <i>Diopyros mollifolia</i> Rehd. et wils. | 27 | 25 | 12 | 63 | | 14 | 7 | 101 | 249 | 4.172 | 2.18 | |
| 灌木 | 叶上花 <i>Helwingia himalacia</i> Hook.f. et Thoms | 8 | | 38 | | | 0 | 3 | 116 | 165 | 2.764 | 1.445 | |
| 灌木 | 苦刺花 <i>Sophora danidii</i> (Fr.) Komarov ex Pavod. | 14 | 12 | 9 | 21 | | 8 | | 91 | 155 | 2.597 | 1.357 | |
| 灌木 | 高原黄檀 <i>Dalbergia colletii</i> Prein | 15 | 13 | 2 | 15 | 22 | | | 34 | 101 | 1.692 | 0.884 | |
| 灌木 | 沙针 <i>Ostrya wightiana</i> wall. | 5 | 11 | 2 | 10 | 7 | 7 | 6 | 13 | 54 | 0.905 | 0.473 | |
| 灌木 | 清香桂 <i>Sarcococca ruscifolia</i> stapf | | 9 | 8 | | 3 | 23 | | 2 | 45 | 0.754 | 0.394 | |
| 灌木 | 小雀花 <i>Campylotropis polyantha</i> (Franch.) A. K. Schindl. | 1 | 2 | 2 | 1 | | 34 | | 4 | 44 | 0.737 | 0.385 | |
| 灌木 | 象鼻藤 <i>Dalbergia nivosoides</i> Franch. | 2 | 11 | 8 | 1 | 4 | | | 12 | 38 | 0.637 | 0.333 | |
| 灌木 | 薄皮木 <i>Leptodermis potaninii</i> Batain | | 14 | | | | | | 19 | 33 | 0.553 | 0.289 | |
| 灌木 | 雀梅藤 <i>Sageretia theezans</i> Linn. | 1 | 3 | 4 | 3 | 7 | | 6 | 24 | 0.402 | 0.21 | | |

续表 2

| 植物 | 单叶素馨 <i>Jasminum seguinii</i> Levl. | 9 | 17 | 6 | 0 | 23 | 0.385 | 0.201 |
|-----------------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 灌木 | 青刺尖 <i>Prinsepia utilis</i> Royle | 2 | | 5 | 4 | 20 | 0.335 | 0.175 |
| 灌木 | 南蛇藤 <i>Celastrus angulatus</i> Maxim | 4 | | 3 | 2 | 19 | 0.318 | 0.166 |
| 灌木 | 狗花根 <i>Zanthoxylum armatum</i> DC. | 7 | 2 | 2 | 3 | 18 | 0.302 | 0.158 |
| 灌木 | 火把果 <i>Pyracantha fortuneana</i> (Maxim) Li | 3 | | | 11 | 18 | 0.302 | 0.158 |
| 灌木 | 毡毛荀子 <i>Cotoneaster franchetii</i> Bois | 10 | | 1 | 7 | 18 | 0.302 | 0.158 |
| 灌木 | 华西小石积 <i>Osteomeles schwerinae</i> Schneid | 6 | | | 8 | 14 | 0.235 | 0.123 |
| 灌木 | 九里香 <i>Murraya paniculata</i> (Linn.) Jack. | | | | 13 | 14 | 0.235 | 0.123 |
| 灌木 | 三根针 <i>Berberis pruinosa</i> Franch | 4 | | 3 | 5 | 13 | 0.218 | 0.114 |
| 灌木 | 小来木 <i>Cornus paucinervis</i> Hance | 3 | 15 | 7 | 1 | 8 | 0.218 | 0.114 |
| 其他 19 种 | | 444 | 835 | 483 | 911 | 20 | 671 | 1.189 |
| 小计 | | | | | 260 | 2 332 | 100 | 52.27 |
| 藤本 | 贵州络石 <i>Trachelospermum bodinieri</i> (Levl.) Woods. ex Rehd. | 134 | 272 | 261 | 97 | 115 | 77 | 830 |
| 藤本 | 土茯苓 <i>Smilax glabra</i> Roxb | 45 | 51 | 43 | 29 | 2 | 40 | 157 |
| 藤本 | 花叶连珠藤 <i>Jasminum nudiflorum</i> Lindl. | 3 | 27 | 1 | | | 12 | 48 |
| 藤本 | 地石榴 <i>Ficus ti-koua</i> Bur. | 13 | 18 | 2 | 12 | 4 | 2 | 26 |
| 藤本 | 小叶素馨 <i>Jasminum polyanthum</i> Franch. | | 22 | 3 | 2 | | 1 | 36 |
| 藤本 | 小叶披麦 <i>Smilax microphylla</i> C. H. Wright | | 3 | | | | 5 | 51 |
| 藤本 | 常绿鸡血藤 <i>Millettia dielsiana</i> Harms | 3 | 4 | 5 | | | 7 | 32 |
| 藤本 | 防己 <i>Cocculus orbiculatus</i> (L.) DC. | 3 | 7 | 5 | 3 | 1 | 20 | 12 |
| 藤本 | 飞仙藤 <i>Periploca calophylla</i> (Wight.) Falcon. | 3 | 1 | 22 | 3 | | 2 | 15 |
| 藤本 | 铁线莲 <i>Clematis fasciculiflora</i> Franch | 5 | 8 | | | 3 | 9 | 3 |
| 藤本 | 马兜铃 <i>Aristolochia thibetica</i> Franch. | | 5 | 2 | 3 | | 4 | 14 |
| 藤本 | 鸡血藤 <i>Millettia reticulata</i> Benth. | 3 | 6 | 2 | 5 | | 4 | 6 |
| 藤本 | 鸡屎藤 <i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr. | | 7 | 3 | | | 3 | 6 |
| 藤本 | 金银花 <i>Lonicera japonica</i> Thunb. | | | 2 | | | | 16 |
| 藤本 | 木通 <i>Clematis ranunculoides</i> Franch | | | | | 5 | | 10 |
| 藤本 | 连珠藤 <i>Jasminum seguinii</i> Levl. | | | | | | 9 | 5 |
| 其他 5 种 | | 2 | 6 | 3 | 1 | 2 | 0 | 7 |
| 小计 | | 214 | 437 | 354 | 155 | 120 | 196 | 84 |
| 总计 | 92 种 | 780 | 1 459 | 1 112 | 1 229 | 143 | 1 082 | 468 |
| % | | 6.83 | 12.78 | 9.74 | 10.76 | 1.25 | 0.51 | 4.1 |
| 各小生境中实生繁殖体数量(株) | | 74 | 66 | 161 | 58 | 8 | 74 | 75 |
| % | | 9.49 | 4.52 | 14.48 | 4.72 | 5.59 | 13.79 | 16.03 |
| | | | | | | | | 17.98 |
| | | | | | | | | 12.6 |
| | | | | | | | | 300 |
| | | | | | | | | 11 420 |
| | | | | | | | | 44.56 |
| | | | | | | | | 100 |
| | | | | | | | | 915 |
| | | | | | | | | 1439 |
| | | | | | | | | 17.98 |
| | | | | | | | | 12.6 |
| | | | | | | | | 25.15 |
| | | | | | | | | 100 |

表 3 石林小生境的群丛类型

Table 3 The main plant bime ofm icrohahitats in Shilin World Geopark

| 小生境类型 (总物种数) | S1(物种数) | S2(物种数) | S3(物种数) | S4(物种数) |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 楔状槽沟 (42) | 团花新木姜子、清香木、 云南木樨榄、小铁子 群丛 (21) | 团花新木姜子、绣线 菊群丛 (18) | 小铁子、绣线菊、 络石群丛 (22) | 绣线菊、小铁子群 丛 (12) |
| 裂隙溶沟 (55) | 团花新木姜子、络 石群丛 (26) | 团花新木姜子、绣线菊、 小铁子群丛 (30) | 团花新木姜子、绣线菊、 络石群丛 (19) | 团花新木姜子、绣线菊、 喜阴悬钩子群丛 (23) |
| 节理溶沟 (9) | 云南木樨榄、清香木、 滇青冈、团花新木 姜子群丛 (38) | 团花新木姜子、绣线菊、 小铁子群丛 (16) | 绣线菊、小铁子、络 石群丛 (15) | 绣线菊、团花新木姜子、 喜阴悬钩子群丛 (14) |
| 溶蚀石堆 (36) | 团花新木姜子、络石 群丛 (16) | 云南木樨榄、团花新木 姜子、绣线菊、小 铁子群丛 (16) | 绣线菊、黄连木、络 石、高原黄檀群 丛 (16) | 绣线菊、毛叶柿、喜 阴悬钩子、苦刺花 群丛 (16) |
| 浅溶蚀盘 (13) | 络石群丛 (9) | —— (1) | 络石 (4) | —— (1) |
| 溶蚀穿洞 (15) | —— | 络石、防己群丛 (12) | —— | 络石群丛 (6) |
| 深溶蚀坑 (49) | 团花新木姜子、清香木、 云南木樨榄、小铁 子群丛 (7) | 团花新木姜子、绣线菊、 云南木樨榄、小铁 子群丛 (31) | 团花新木姜子、绣线菊、 小铁子、高原黄檀 群丛 (24) | 绣线菊、团花新木姜子、 络石群丛 (20) |
| 圆形溶槽 (29) | 云南木樨榄、团花新 木姜子、滇青冈、小 铁子群丛 (17) | 团花新木姜子、绣 线菊、小铁子群 丛 (15) | —— | 绣线菊、喜阴悬钩 子群丛 (5) |
| 溶蚀廊道 (73) | 云南木樨榄、清香木、 滇青冈、团花新木姜 子群丛 (60) | 绣线菊、团花新木姜子、 云南木樨榄、小铁子 群丛 (26) | 绣线菊、苦刺花、喜阴悬 钩子、毛叶柿群丛 (14) | 绣线菊、苦刺花、喜阴悬 钩子、薄皮木群丛 (17) |

聚类结果显示, 深溶蚀坑与裂隙溶沟的相似性系数最大, 在 0.600 0 时首先聚为一类, 然后在相似性系数为 0.560 5 时与溶蚀廊道聚为一类, 在 0.541 6 时与节理溶沟聚为一类, 在 0.540 1 时与楔状槽沟聚为一类, 然后在 0.504 3 时与溶蚀石堆聚为一类, 在 0.350 7 时与圆形溶槽聚为一类, 在 0.232 2 时与溶蚀穿洞聚为一类, 最后在 0.181 9 时与浅溶蚀盘聚为一类 (图 1)。

对小生境群落物种相似性的聚类, 仅可以表示小生境之间的关系, 但若对不同演替阶段的同种小生境间的相似性进行聚类分析, 则可以人为干扰过程中或干扰取消后, 群落的退化或恢复联系。群落演替过程中小生境的物种组成的相似系数见表 6。从中可以看出, 不同演替阶段的相同小生境的物种组成相似性系数不高, 反映了喀斯特小生境在退化或恢复过程中, 其中的物种变化性高, 其在生态恢复过程中恢复为原生林有较大的困难。灌丛与草地中

的溶蚀廊道相似性较大, 为 0.41, 次之为次生林与灌丛中的裂隙溶沟的 0.4。

对不同的演替阶段对相同小生境的相似性进行聚类分析, 结果出现三种类型 (图 2)。类型 I 包括节理溶沟、溶蚀廊道两种小生境, 其中节理溶沟分别

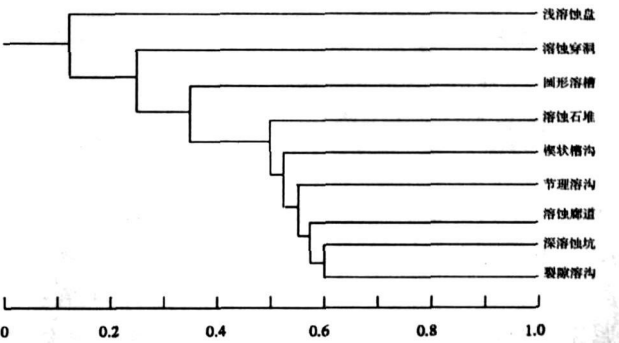


图 1 石林小生境群落相似性聚类图

Fig 1 Dendrogram ofm icrohahitat comm unities of Shilin based on sim ilarity coefficients

表 4 石林小生境的木本植物多样性特征

Table 4 Characteristics of woody plant biodiversity index of microhabitat in Shilin World Geopark

| 指数 | 群落 | 楔状 槽沟 | 裂隙 溶沟 | 节理 溶沟 | 溶蚀 石堆 | 浅溶 蚀盘 | 溶蚀 穿洞 | 深溶 蚀坑 | 圆形 溶槽 | 溶蚀 廊道 |
|-------------------------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Shannon-w ien er 指数 多样性 | S1 | 2 35 | 2 72 | 2 56 | 1 85 | 0 65 | — | 1 34 | 2 24 | 2 57 |
| | S2 | 2 15 | 2 10 | 1 80 | 1 81 | 0 | 2 17 | 2 58 | 1 96 | 2 23 |
| | S 3 | 2 30 | 2 05 | 1 83 | 2 03 | 0 94 | — | 2 21 | — | 2 10 |
| | S4 | 2 07 | 2 11 | 1 89 | 1 31 | 0 | 1 16 | 2 26 | 1 00 | 1 17 |
| | Total | 2 79 | 2 70 | 2 77 | 2 31 | 0 93 | 2 12 | 2 79 | 2 45 | 2 91 |
| P ieou 指数 均匀性 | S1 | 0 77 | 0 84 | 0 70 | 0 67 | 0 30 | — | 0 69 | 0 79 | 0 62 |
| | S2 | 0 75 | 0 62 | 0 65 | 0 65 | 0 | 0 87 | 0 75 | 0 73 | 0 68 |
| | S 3 | 0 74 | 0 70 | 0 67 | 0 73 | 0 68 | — | 0 69 | — | 0 79 |
| | S4 | 0 83 | 0 67 | 0 72 | 0 47 | 0 | 0 65 | 0 75 | 0 62 | 0 41 |
| | Total | 0 75 | 0 67 | 0 71 | 0 64 | 0 36 | 0 78 | 0 72 | 0 73 | 0 68 |
| Simpson 指数 优势度 | S1 | 0 15 | 0 09 | 0 14 | 0 26 | 0 75 | — | 0 30 | 0 15 | 0 12 |
| | S2 | 0 20 | 0 22 | 0 28 | 0 27 | 1 00 | 0 15 | 0 12 | 0 21 | 0 17 |
| | S 3 | 0 14 | 0 19 | 0 28 | 0 19 | 0 52 | — | 0 18 | — | 0 16 |
| | S4 | 0 16 | 0 19 | 0 20 | 0 47 | 1 00 | 0 47 | 0 16 | 0 49 | 0 56 |
| | Total | 0 10 | 0 12 | 0 10 | 0 19 | 0 09 | 0 21 | 0 10 | 0 14 | 0 08 |
| M angalef 指数 丰富度 | S1 | 3 71 | 4 78 | 5 84 | 2 96 | 1 66 | — | 1 84 | 3 13 | 7 36 |
| | S2 | 3 52 | 4 76 | 3 19 | 2 66 | 0 | 3 00 | 4 95 | 2 64 | 4 16 |
| | S 3 | 3 56 | 2 99 | 2 79 | 2 87 | 1 30 | — | 3 79 | — | 2 18 |
| | S4 | 2 52 | 3 62 | 2 28 | 2 33 | 0 | 1 73 | 3 49 | 0 87 | 2 38 |
| | Total | 6 15 | 7 40 | 6 84 | 4 91 | 2 42 | 3 46 | 6 84 | 4 55 | 8 43 |

表 5 石林小生境群落相似性系数

Table 5 Similarity coefficient of microhabitat communities in Shilin World Geopark

| | 楔状槽沟 | 裂隙溶沟 | 节理溶沟 | 溶蚀石堆 | 浅溶蚀盘 | 溶蚀穿洞 | 深溶蚀坑 | 圆形溶槽 | 溶蚀廊道 |
|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 楔状槽沟 | — | 0 515 6 | 0 569 0 | 0 500 0 | 0 170 2 | 0 239 1 | 0 542 4 | 0 339 6 | 0 533 3 |
| 裂隙溶沟 | | — | 0 575 8 | 0 569 0 | 0 214 3 | 0 228 1 | 0 600 0 | 0 400 0 | 0 523 8 |
| 节理溶沟 | | | — | 0 491 2 | 0 240 0 | 0 207 5 | 0 484 8 | 0 368 4 | 0 564 1 |
| 溶蚀石堆 | | | | — | 0 139 5 | 0 275 0 | 0 545 5 | 0 354 2 | 0 415 6 |
| 浅溶蚀盘 | | | | | — | 0 217 4 | 0 107 1 | 0 235 3 | 0 131 6 |
| 溶蚀穿洞 | | | | | | — | 0 280 0 | 0 222 2 | 0 173 3 |
| 深溶蚀坑 | | | | | | | — | 0 300 0 | 0 597 2 |
| 圆形溶槽 | | | | | | | | — | 0 342 1 |
| 溶蚀廊道 | | | | | | | | | — |

在 0 318 2、0 272 2、0 232 6水平时聚为一类,溶蚀廊道的分别在 0 409 1、0 276 5、0 164 2时聚为一类,表明灌草丛、灌丛、次生林、原生林的物种联系不紧密,物种的相似程度低;类型 II包括楔状槽沟、裂隙溶沟、深溶蚀坑等三种小生境,其中楔状槽沟分别在 0 379 3、0 278 8、0 208 4水平时聚为一类,裂隙

溶沟分别在 0 400 0、0 339 9、0 212 2时聚为一类,深溶蚀坑分别在 0 341 5、0 265 0、0 172 6时聚为一类,表明次生林与灌丛的物种联系紧密;类型 III仅有溶蚀石堆一种小生境,分别在 0 391 3、0 238 1、0 198 7时聚为一类,原生林与次生林恢复联系也只有不到 40%的程度。类型 III的存在是因

表 6 石林世界地质公园小生境群落物种组成的相似性系数

Table 6 Similarity coefficient of species composition of microhabitat communities in Shilin World Geopark

| | 楔状槽沟 | | | 裂隙溶沟 | | | 节理溶沟 | | | 溶蚀石堆 | | | 浅溶蚀盘 | | | 溶蚀穿洞 | | | 深溶蚀坑 | | | 圆形溶槽 | | | 溶蚀廊道 | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|------|------|----|------|------|------|------|------|----|------|------|------|
| | S2 | S3 | S4 | S2 | S3 | S4 | S2 | S3 | S4 | S2 | S3 | S4 | S2 | S3 | S4 | S2 | S3 | S4 | S2 | S3 | S4 | S2 | S3 | S4 | S2 | S3 | S4 |
| QS13 | 0.18 | 0.26 | 0.18 | 0.19 | 0.25 | 0.20 | 0.26 | 0.23 | 0.21 | 0.21 | 0.39 | 0.33 | 0.23 | - | - | - | - | - | - | 0.15 | 0.19 | 0.17 | 0.14 | - | 0.10 | 0.24 | 0.12 |
| S2 | | 0.38 | 0.25 | | 0.40 | 0.33 | | 0.24 | 0.30 | | 0.14 | 0.23 | - | - | | - | 0.20 | | 0.34 | 0.30 | | - | 0.25 | | 0.25 | 0.30 | |
| S3 | | | 0.31 | | | 0.35 | | | 0.32 | | | 0.33 | | - | | | - | | | 0.22 | | | - | | | | 0.41 |

注：“-”表示部分群落调查未调查到该小生境或该小生境中没有木本植物物种的繁殖体。石林地处亚热带，木本植物对生态恢复具有十分重要的作用；加上本文主要统计计算的是小生境中的木本物种，故注中说“小生境中没有木本植物繁殖体”。



图 2 小生境群落聚类结果示意图

Fig 2 Dendrogram of microhabitat communities among four communities of the Shilin World Geopark based on similarity coefficients

为生态系统在人类活动的干扰下物种消失较慢，而在实行封育过程中，次生林的封育时间较其他两种群落的时间长，从而形成了更接近于原生林的小群落。

3 结论与讨论

1. 地质多样性与生物多样性具有一定的联系，对喀斯特生态系统而言，溶痕的多样性带来小生境的多样性，其在喀斯特生态系统退化的过程中对繁殖体的保护作用不同。从表 3 可以看出溶蚀廊道、圆形溶槽、节理溶沟等小生境在生态退化过程中，其物种迅速减少，而裂隙溶沟、溶蚀石堆、楔状槽沟等小生境在生态系统退化的过程中，其物种数变化不大。原生林的深溶蚀坑调查面积较小，故其物种数较少，但从次生林、灌丛、草地的比较来看，其在生态系统退化的过程中物种变化较小。由此得出，溶蚀廊道、圆形溶槽、节理溶沟、溶蚀穿洞等小生境易受到干扰，物种迅速减少；而裂隙溶沟、溶蚀石堆、楔状槽沟、深溶蚀坑等小生境的抗干扰能力较好，在生态系统退化过程中仍能保持部分繁殖体，这可能是喀斯特区植被自然恢复的主要原因之一；浅溶蚀盘是

缺乏土壤、水分的严酷小生境，仅有先锋物种存在于尺度更小的石隙中，而且物种在退化的过程中迅速减少、消失。

2. 从不同群落的小生境植物物种聚类结果表明，节理溶沟、溶蚀廊道在受到严重干扰时，物种的迅速消失，而楔状槽沟、裂隙溶沟、深溶蚀坑、溶蚀石堆等小生境保存了部分主要物种的繁殖体，较短的时间封育即可出现较好的植被自然恢复，但小生境中保存的繁殖体和恢复程度最大的只要 40% 的水平，要恢复到具有地带性质的原生群落仍然有一定的困难。

3. 虽然喀斯特地区的地带性植被恢复极为困难，但一般的观点是实行封山育林能取得较良好的自然恢复效果^[13-16]（李品荣，2001；桂来庭，2001；朱守谦，2000；祝小科，1998）。本研究揭示的喀斯特小生境的多样性及物种组成表明：喀斯特原生林在受到严重干扰时，仍有部分主要物种的繁殖体保留在部分小生境中，如裂隙溶沟、深溶蚀坑、楔状槽沟、溶蚀石堆等，封禁保护喀斯特景观后，它们能正常生长，但部分小生境，如溶蚀廊道、节理溶沟、圆形溶槽等，在生态退化过程中物种迅速减少，在封禁保护后，依赖周边的繁殖体供给才能实现植被的恢复。

两类生境的空间组合对喀斯特景观封禁保护后的植被恢复成效有直接影响,小生境中保留的繁殖体类型和数量决定了自然恢复林到达原生林的程度。研究小生境类型及空间组合有助于在喀斯特退化生态系统恢复中采取人工辅助措施促进地带性植被恢复。

致谢:本研究得到云南省自然科学基金(2002C0004Z)的资助,工作中得到中国科学院西双版纳热带植物园沈有信副研究员的帮助。特此致谢!

参考文献 (References)

- [1] Andy P. Dobson, D. Bradshaw, A. J. M. Baker. Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology [J]. *Science*, 1997, 277: 515~ 522
- [2] Gary R. Huxel, Alan Hastings. Habitat loss, Fragmentation and Restoration [J]. *Restoration Ecology*, 1999, 7(3): 309~ 315
- [3] Zhu Shou-qian, He Jixing, Wei Lu-ming, et al. A Study on Microhabitats to Karst Forest in Maokan [A]. In: Zhu Shou-qian Ecological Research on Karst Forest (III) [C]. Guiyang: Guizhou science and technology Press, 2003: 38~ 48 [朱守谦, 何纪星, 魏鲁明, 等. 茂兰喀斯特森林小生境特征研究. 见: 朱守谦 主编. 喀斯特森林生态研究 (III) [C]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003: 38~ 48]
- [4] Xie Shuang-xi, Ding Gui-jie, Liu Guan-hao. Investigation on Karst Forest vegetation in Xingbei of Zhengfeng county, Guizhou [J]. *Journal of Zhejiang For. Sci & Tech*, 2001, 21(5): 63~ 67 [谢双喜, 丁贵杰, 刘官浩. 贵州贞丰县兴北喀斯特森林植被的调查分析 [J]. 浙江林业科技, 2001, 21(5): 63~ 67]
- [5] Ye Wan-hui. The maintenance mechanism of plant community and its species diversity [J]. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(1): 17~ 24 [叶万辉. 物种多样性与植物群落的维持机制 [J]. 生物多样性, 2000, 8(1): 17~ 24]
- [6] Peng Shan-jiang, Huan Zhong-liang, Xu Guo-liang, et al. Effects of habitat heterogeneity on forest community diversity in Dinghushan biosphere reserve [J]. *Guizhou*, 2003, 23(5): 391~ 398 [彭闪江, 黄忠良, 徐国良等. 生境异质对鼎湖山植物群落多样性的影响 [J]. 广西植物, 2003, 23(5): 391~ 398]
- [7] Zhang Rong, Chen Ya-ming, Sun Guo-Jun, et al. The role of diaspores and microsites in restoring degraded grasslands [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 922~ 977 [张荣, 陈亚明, 孙国均等. 繁殖体与微生境在退化草地恢复中的作用 [J]. 生态学报, 2004, 24(5): 922~ 977]
- [8] Jin Zhen-zhou, Peng Jian. Kunming Vegetation [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1998. [金振洲, 彭鉴. 昆明植被 [M]. 云南科技出版社, 1998.]
- [9] Shen You-xin, Liu Wen-yaq, Li Yu-hui, et al. Community ecology study on Karst semihumid evergreen broad leaved forest at the central part of Yunnan [J]. *Guizhou*, 2005, 25(4): 321~ 326 [沈有信, 刘文耀, 李玉辉, 崔建武. 石林景区半湿润常绿阔叶林的群落生态学 [J]. 广西植物, 2005, 25(4): 321~ 326]
- [10] Ma Ke-ping. The measurement of community diversity [A]. In: Qian Ying-qian, Ma Ke-ping. Principle and Method to Biodiversity Research [C]. Beijing: Science and Technology Press, China, 1994: 141~ 165 [马克平. 生物群落多样性的测度方法 [A]. 钱迎倩, 马克平 主编. 生物多样性研究的原理与方法 [C]. 北京: 中国科技出版社, 1994: 141~ 165]
- [11] Li Yu-hui. Morphological types and their features of Shilin Karst in Yunnan, China [J]. *Carsologica Sinica*, 2002, 21(3): 260~ 267 [李玉辉. 中国云南石林喀斯特形态类型和特征 [J]. 中国喀斯特, 2002, 21(3): 260~ 267]
- [12] Robert H. Whittaker. Classification of Plant Communities [M]. Translation by Zhou Jie-lin, Li Ba, Jiang Youxu, et al. Beijing: Science Press, 1985: 47~ 59 [R. H. 惠特克. 周纪伦, 李博, 蒋有绪等译. 植物群落分类 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 47~ 59]
- [13] Li Pin-rong, Chang En-fu, Chen Qiang, et al. Effect of closing hillsides to facilitate afforestation at stony hillsides of karst area in south-eastern Yunnan [J]. *Yunnan Forestry Science and Technology*, 2001, (4): 13~ 17 [李品荣, 常恩福, 陈强, 等. 滇东南喀斯特地区石质山封山育林效果初探 [J]. 云南林业科技, 2001, (4): 13~ 17]
- [14] Gui Lai-ting. A study on Karst Region Closing Hillsides to Facilitate Afforestation [J]. *Central South Forest Inventory and Planning*, 2001, 20(3): 9~ 12 [桂来庭. 论石灰岩地区封山育林 [J]. 中南林业调查规划, 2001, 20(3): 9~ 12]
- [15] Zhu Shou-qian, Zhu Xiao-ke, Yu Li-fei. The theory and practice of vegetation restoration in karst region of Guizhou [J]. *Guizhou Environmental Science and Technology*, 2000, 6(1): 31~ 35, 41 [朱守谦, 祝小科, 喻理飞. 贵州喀斯特植被恢复的理论与实践 [J]. 贵州环保科技, 2000, 6(1): 31~ 35, 41]
- [16] Zhu Xiao-ke, Zhu Shou-qian, Liu Jie-ming. A systematic technique of vegetation nature restoration in karst rocky hills in Wujiang River watershed [J]. *Guizhou Forestry Science and Technology*, 1998, 26(4): 7~ 14, 36 [祝小科, 朱守谦, 刘济明. 乌江流域喀斯特石质山地植被自然恢复配套技术 [J]. 贵州林业科技, 1998, 26(4): 7~ 14, 36]

A Preliminary Study on Flora Diversity of Karst Microhabitat in Shilin Park, Yunnan, China

YU Xiaoya¹, LI Yuhui², MA Zunping²

(¹ Department of History & Culture, Qiannan Normal University of Nationalities, Duiyun 558000 Guizhou, China;

² School of Tourism & Geography Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

Abstract The relationship between karst habitats and biodiversity as well as its respond to human disturbance is a key factor to karst ecological restoration. The paper studied the issue in the Shilin geopark. The microhabitats in Shilin karst park has been divided into the following kinds: cleftkarren, grike, cutters, deep solution pits, solution rock debris, solution basin or large karren, tafelberg, canemous weathering or bedding caverns, solution well or shaft, solution corridors. The ranges of microhabitats is 31~340 cm in length and 10~261 cm in width. Plant communities in the every habitat include four types: original forest, secondary forest, brush and brush-grass. 11420 stems of woody plants were counted and belonged to 40 families and 92 species. The maximum numbers of woody plant species fell into solution corridors, then in in in to bedding caverns with no woody species found in large karren. Little change of woody plant species was found in solution rock debris, grike from original forest to brush-grass community. The microhabitats like grike, deep solution pits, cutters and solution rock debris preserve non sexual propagules, such as stumps and roots, of key plant species of local communities after serious disturbance and other microhabitats lacks these propagules. It is very important for local vegetations restoration especially for zonal vegetations. The efficiency of natural restoration of local vegetations depends on the karst microhabitats in serious ecologically-deteriorated karst system. Preserving geological heritages and geological landscape can promote ecological restoration and Shilin Karst World Geopark provides the good example for that.

Key words karst; microhabitat; vegetation restoration; geological heritage; geological diversity; biodiversity