

桂西南退化喀斯特植被自然恢复研究^{*}

刘京涛¹, 温远光², 周峰³

(1. 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 山东 滨州 256603; 2. 广西大学 林学院, 南宁 530004; 3. 南京晓庄学院 生命科学系, 南京 211171)

摘要:采用“空间代替时间”方法结合“相似系统原理”建立退化群落自然恢复演替系列,对桂西南退化喀斯特植被自然恢复过程中群落高度、生物量等结构功能指标的恢复度和恢复速度进行了分析。结果表明:桂西南退化喀斯特植被群落自然恢复在群落演替初期阶段速度很慢,每提高 0.1 恢复度需要约 10.7 a 时间;到演替中期出现恢复加速期,每提高 0.1 恢复度需要 2.6~3.5 a;到演替后期恢复速度又下降,每提高 0.1 恢复度需要 3.5~5.3 a。退化群落从草本群落阶段达到群落结构、功能的基本恢复需要 30~40 a,但要达到群落结构、功能的完全恢复则需要近 100 a。

关键词:相似系统理论;演替系列;恢复度;恢复速度;退化喀斯特植被

中图分类号:X171;P642.25

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)03-0065-05

Study on Natural Restoration of Degraded Karst Vegetation in Southwest Guangxi

LIU Jing-tao¹, WEN Yuan-guang², ZHOU Feng³

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Ecological Science for Yellow River Delta, Binzhou, Shandong 256603, China; 2. Forestry College of Guangxi University; Nanning 530004, China; 3. Department of Life Science, Nanjing Xiaozhuang College; Nanjing 211171, China)

Abstract: The ‘time-specific method’ and ‘similar system theory’ were employed to construct succession series of the degraded karst communities in Southwest Guangxi. Evaluation indexes such as restoration degree (RD), restoration speed (RS) and their calculating methods were proposed. Variation of RD and RS of community structure and function indexes including community height and biomass were analyzed. The results showed that there were the lowest RD and slower RS at the initial stage of community succession; moderate RD and fastest RS at the mid-stage; the highest RD and slowest RS at the late stage. It would take about 10.7 years at the initial stage, 2.6~3.5 years at the middle stage, and 3.5~5.3 years at the succession end for every 0.1 RD. The normal community structure and function could be presented after 30~40 years natural restoration, but it would take about 100 years to the complete restoration of community structure and function.

Key words: similarity system theory; succession series; restoration degree; restoration speed; degraded karst vegetation

喀斯特植被是一类脆弱生态系统,土被不连续,土层浅薄蓄水性差,环境容量小,抗干扰能力弱。目前因不合理利用,引发水土流失,导致生境退化,甚至“石漠化”,严重威胁该区域生态环境乃至人类生存。对我国南方退化喀斯特群落研究可追溯到 20

世纪 40 年代^[1-2],目前对喀斯特植被群落的退化原因、退化过程、生境条件、树种适应性、种群、更新特征等研究较多^[3-5],但缺乏对退化群落自然恢复时间研究^[5-6]。因此在阐明退化喀斯特群落生态学过程基础上进行恢复评价具有重要的理论和实践意义。

* 收稿日期:2008-11-02

基金项目:教育部留学回国人员科研启动基金资助(1997-832);江苏省高校自然科学基金面上项目(07KJD180126)

作者简介:刘京涛(1978-),男,博士,讲师,主要从事生态恢复、生态水文功能等方面研究。E-mail:ljteco@yahoo.com.cn

通信作者:温远光(1957-),男,广西北流人,博士,教授,主要从事森林生态学、森林水文学、森林培育学等方面研究。E-mail:wenyg@163.com

1 研究区概况

广西区内喀斯特地貌广布,主要分布于桂西南、桂中北和桂东北地区,以桂西南分布较为集中连片。桂西南区域在北纬 21°36' - 24°18', 东经 105°32' - 108°36', 包括南宁地区的龙州、崇左、隆安、武鸣等县以及百色地区的平果、靖西等县,区域总面积 $4.25 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 其中喀斯特地貌面积有 $1.93 \times 10^6 \text{ hm}^2$ [7]。该区域地处北热带边缘,具南亚热带南缘及北热带的气候特点,气温高,光热丰富,雨量充沛,少有冰雪。年降水量 1 250 ~ 1 500 mm, 但分布不均匀,约有 80% 降水集中于 4 - 9 月,具有明显的干湿季节。桂西南喀斯特植被在类型上以热带季雨林为主,也有部分亚热带常绿阔叶林成分。在区系地理成分上属于古热带区马来西亚植物亚区的北部湾植物区,但蚬木 (*Excentrodendron hsienmu* (Chun et How) H. T. et R. H. Miao)、金丝李 (*Garcinia paucinervis* Chun et How)、肥牛树 (*Cephalomappa sinensis* Kosterm)、望天树 (*Parashorea chinensis* Wang Hsie) 等树种只出现在喀斯特区。植物区系包含热带、亚热带、温带成分,以热带成分比重较大。热带科有龙脑香科、肉豆蔻科、椴树科、大戟科、山竹子科、桑科、楝科等,其物种多在群落中占据优势,个体数量多,但物种种类数少。

2 研究方法

2.1 样地设计与调查

采用“空间代替时间”方法选取样地,结合“相似系统理论”构建演替系列 [8], 以“最优分割法”划分演替阶段 [9]。样地沿山坡或环境梯度设置,乔木群落 400 m^2 (10 m × 10 m × 4) 并于样地内 x 型设置 5 m × 5 m 灌木和 1 m × 1 m 草本样方;灌木群落样地为 5 m × 5 m;草本群落 1 m × 1 m。

森林群落对乔木层进行每木调查,记录盖度、种名、胸径、树高等指标;灌木层记录灌木盖度、多度、种名、株数等指标;草本层记录草本种名、盖度、多度、丛数等指标。灌木群落、草本群落调查方法及内容与森林群落灌木层、草本层调查方法相同。

2.2 生物量调查

乔木层生物量调查采用收获法,按径级伐取样木,分层切割法获取圆盘用于树干解析 [10]。同时称取样木树干、枝、叶鲜重,并分别对各器官取样于 85 °C 恒温烘干至恒重,换算成整株样木干重。以最小二乘法拟合生物量与树高、胸径关系,得相对生长方程 (1)。根据相对生长方程计算样方中其他乔木生

物量,根据公式 (2) 计算群落乔木层生物量。

$$W_T = 0.036308 (D^2 H)^{0.971} \quad R^2 = 0.988 \quad P < 0.05 \quad (1)$$

$$W_c = \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

式中: D ——胸径; H ——树高; W_c ——群落乔木层生物量; n ——样方中乔木株数; W_i ——第 i 株样木生物量。

灌木群落、草本群落生物量调查采用收获法 [10]。草本群落收获样方内所有地上部分;灌木采用样枝法收获部分样枝;分别称取收获样品各器官鲜重并取样带回室内于 85 °C 恒温烘干至恒重并换算成样方生物量的干重,据式 (3) 计算群落生物量。

$$W_s = \left(\frac{M_i}{a} \times n \right) \times 10000 \quad (3)$$

式中: W_s ——群落生物量; M_i ——第 i 个样方生物量; a ——样方面积; n ——样方个数。

2.3 植被恢复评价

退化群落正向演替可认为是低演替阶段群落与演替顶级群落在结构、功能上逐渐接近的过程,而相似系统原理认为在对两个及以上不同系统要素进行对比时,系统间某些要素可能是具有相同特性的相似要素,其只是在数值上存在差异,但它们之间互成比例。系统间相似要素可依据其物理、化学、几何或生物学特性而确定,并可通过相似倍数 (C_{ij})、相似度 (Q) 等指标量化 [11-12]。

$$C_{ij} = \frac{\min[U_j(ai), U_j(bi)]}{\max[U_j(ai), U_j(bi)]} \quad (4)$$

式中: $U_j(ai)$, $U_j(bi)$ ——两系统间某一相似特征的特征值。

$$Q = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n) / n \quad (5)$$

$C_{ij} \in [0, 1]$, $Q \in [0, 1]$ 。 $Q = 0$, 表示两个因素既不相同也不相似; $0 < Q < 1$ 表示两个因素相似,其 Q 值越大两因素相似程度越大; $Q = 1$, 表示两个因素完全相同。退化群落自然恢复评价采用喻理飞等提出的退化群落自然恢复恢复度 (restored degree, RD) 和恢复速度 (restoration speed, RS) 指标进行分析 [16]。

3 结果与分析

3.1 群落自然恢复阶段

以样地为单元,多样性、生物量、群落高度、实生株数等为属性,采用最优分割法对植物群落进行分类和演替阶段划分 [9]。结合实地调查,综合考虑群落各团组间的组成变化及各演替阶段的特征差异和内在稳定性,将群落演替划分为 5 个阶段 (表 1)。

表 1 群落演替阶段划分

演替阶段	演替阶段名称	群落类型
	草本阶段	黄茅 (<i>Heteropogon contortus</i> (L.) P. Beauv. ex Roem. et Schult.) 草丛、类芦 (<i>Neyraudia reynaudiana</i> (Kunth) Keng ex Hitchc.) 草丛、圆果雀稗 (<i>Paspalum orbiculare</i> Forst.) - 胜红蓟 (<i>Ageratum conyzoides</i> L.) 草丛、五节芒 (<i>Miscanthus floridulus</i> (Lab.) Warb. ex Schum et Laut.) 草丛
	灌木阶段	黄荆 (<i>Vitex negundo</i> L.) 灌丛、余甘子 (<i>Phyllanthus emblica</i> L.) 灌丛、番石榴 (<i>Psidium guajava</i> L.) 灌丛、雀梅藤 (<i>Sageretia theezans</i> (L.) Brongn.) - 白饭树 (<i>Fluggea virosa</i> (Willd.) Baill.) 灌丛、桃金娘 (<i>Rhodomyrtus tomentosa</i> (Ait.) Hassk) 灌丛
	小乔木(乔木幼林)阶段	青冈栎 (<i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunb.) Oerst) 林、球核荚蒾 (<i>Viburnum propinquum</i> Hemsl.) - 石山巴豆 (<i>Croton cavaleriei</i> Gagnep) 幼林、海南椴 (<i>Hainania trichosperma</i> Merr.) - 翻白叶树 (<i>Pterospermum heterophyllum</i> Hance.) - 蚬木幼林、山榄叶柿 (<i>Diospyros siderophylla</i> H. L. Li) 次生林、广西牡荊 (<i>Vitex kwangsiensis</i> Pei) - 密榴木 (<i>Miliusa chunii</i> W. T. Wang) - 米浓噎 (<i>Teonongia tonkinensis</i> Stapf.) 幼林、广西牡荊 - 米浓噎 - 海南椴杂木林、乌口树 (<i>Tarennia delpauperata</i> Hutchins) 疏林、蚬木幼林
	乔林(中龄林)阶段	米浓噎中龄林、麻轧木 (<i>Lysidice rhodostegia</i> Hance) 中龄林、广西牡荊 - 米浓噎林、中华安息香 (<i>Styrax chinensis</i> Hu et S. Y. Liang) 林、米浓噎林、任豆 (<i>Zenia insignis</i> Chun) 中龄林
	顶极季雨林阶段	蚬木 - 闭花木 (<i>Cleistanthus saichikii</i> Merr.) 林、任豆林、肥牛树林、五桠果叶木姜子 (<i>Litsea dilenifolia</i> P. Y. Pai et P. H. Huang)

各阶段主要物种有:(1)草本阶段除草本植物黄茅、类芦、圆果雀稗、胜红蓟、五节芒、蔓生莠竹 (*Microstegium vagans* (Nees ex Steud.) A. Camus)、加拿大蓬 (*Erigeron canadensis* L.) 等外;灌木主要有粗叶悬钩子 (*Rubus alceaefolius* Poir.)、蔓草虫豆 (*Atylosia scarabaeoides* (L.) Benth.)、地瓜榕 (*Ficus tikoua* Bureau)、地桃花 (*Urena lobata* L.) 等。(2)灌木阶段有黄荆、番石榴、余甘子、白饭树、桃金娘、粗叶悬钩子、假鹰爪 (*Desmos chinensis* Lour.)、山麻杆 (*Alchornea rugosa* (Lour.) M. - A.)、灰毛浆果楝 (*Cipadessa cinerascens* (Pellegr.) H. - M.)、栗叶算盘子 (*Glochidion sphaerogyum* (M. - A.) Kurz)、黑面神 (*Breynia fruticosa* (L.) Hook. f.)、盐肤木 (*Rhus chinensis* Mill.) 等灌木;草本物种有蔓生莠竹、毛蒿 (*Artemisia* sp.)、弓果黍 (*Cyrtococcum patens* (L.) A. Camus)、截叶铁扫帚 (*Lespedeza cuneata* (Dum. Cours.) G. Don) 等;乔木物种有糙叶树 (*Aphananthe aspera* (Thunb.) Planch)、细叶楷木 (*Pistacia weinmannifolia* J. Poisson ex Franch)、乌桕 (*Sapium sebiferum* (L.) Roxb.)、构树 (*Broussonetia papyrifera* (L.) Vent) 等。(3)小乔木(乔木幼林)阶段有蚬木、广西牡荊、米浓噎、密榴木、翻白叶树、石山巴豆、球核荚蒾、海南椴、山榄叶柿、乌口树、糙叶树、细叶楷木、青冈栎、圆叶乌桕 (*Sapium rotundifolium* Hemsl) 等乔木物种;灌木有红柄山麻杆 (*Alchornea trewioides* (Benth.) M. - A.)、红绒羊蹄甲 (*Bau-*

hinia apertilobata Merr. et Metc.)、老虎刺 (*Pterolobium punctatum* Hemsl.)、疏花卫茅 (*Euonymus laxiflora* Champ. ex Benth.)、菝葜 (*Smilax China* L.) 等;草本物种有荩草 (*Arthraxon hispidus* (Thunb.) Makino)、沿阶草 (*Ophiopogon japonicus* (L. f.) Ker - Gawl.)、鞭叶铁线蕨 (*Adiantum caudatum* L.)、凤尾蕨 (*Pteris critica* var. *nervosa* (Thunb) Ching et S. H. Wu) 等。(4)乔林阶段有蚬木、肥牛树、马轧木、广西牡荊、中华安息香、青冈栎、任豆、米浓噎、小叶栎树 (*Koelreuteria minor* (Hemsl.) T. Chen) 等乔木物种;灌木物种有栲栳 (*Arenga pinnata* (Wurmb.) Merr.)、龙血树 (*Dracaena* sp.)、瓜馥木 (*Fissitigma oldhami* (Hemsl) Merr.)、龙州细子龙 (*Amesiodendron integrifoliolatum* H. S. Lo)、两面针 (*Zanthoxylum nitidum* (Roxb.) DC.) 等;草本物种有苔草 (*Carex* sp.)、蜘蛛抱蛋 (*Aspidistra elatior* Bl.)、槲蕨 (*Drynaria fortunei* (Kze.) J. Sm.)、凤尾蕨 (*Pteris* sp.)、巢蕨 (*Neottopteris nidus* (L.) J. Sm.)、仙茅 (*Curculigo* sp.) 等。(5)顶极季雨林阶段有蚬木、任豆、青冈栎、广西牡荊、闭花木、五桠果叶木姜子、肥牛树、米浓噎、圆叶乌桕、海南椴、金丝李、山合欢 (*Albizia kalkora* (Roxb.) Prain)、朴树 (*Celtis sinensis* Pers.) 等乔木物种;灌木物种有小花山小橘 (*Glycosmis parviflora* (Sims) Little)、假鹰爪、山石榴 (*Ctunaregam spinosa* (Thunb.) Tirveng.)、小构树 (*Broussonetia kazinoki* Sieb. et Zucc.)、网脉酸

藤子 (*Embelia rudis* H. - M.)、秀丽海桐 (*Pit-tosporum pulchrum* Gagnep.)、黄皮 (*Clausena lan-sium* (Lour.) Skeels)、九节 (*Psychotria rubra* (Lour.) Poir.) 等;草本物种有鞭叶铁线蕨、五节芒、弓果黍、海芋 (*Alocasia macrorrhiza* (L.) Schott)、巢蕨、槲蕨、沿阶草、闭鞘姜 (*Costus specio-sus* (Koen.) Smith) 等。

3.2 群落恢复度

定义恢复度 (restoration degree, RD) 为群落结构、功能恢复程度的度量,则恢复度是调查群落与顶极群落在结构、功能上相似程度的大小。恢复度值在 [0, 1] 区间内, RD = 0 表示群落完全没有恢复, RD = 1 表示群落完全恢复。用相似系统原理,根据公式 (4)、(5) 可计算群落各结构功能指标 RD 值。选取群落生物量、群落高度等结构功能指标计算 RD,并用因子旋转法确定其对群落整体 RD 的权重分别为 0.5, 0.5, 以结构功能指标 RD 值和权重计算群落 RD (表 2)。

表 2 不同演替阶段群落结构功能恢复度

演替阶段	生物量恢复度	高度恢复度	群落恢复度
草本阶段	0.0066	0.0424	0.0245
灌木阶段	0.0056	0.0565	0.0311
小乔木阶段	0.1521	0.4565	0.3043
乔林阶段	0.2934	0.5594	0.4264
顶级季雨阶段	0.7739	0.8600	0.8169

表 2 表明从群落低级演替阶段到高级演替阶段,无论是群落各功能指标 RD 还是群落整体 RD 都在不断提高,说明退化群落自然恢复过程中群落结构、功能逐渐接近顶极群落。群落生物量 RD、高度 RD、群落整体 RD 在草本阶段分别为 0.006 6, 0.042 4, 0.024 5, 到顶级季雨阶段分别达到 0.779, 0.86, 0.816 9, 群落结构和功能基本恢复。

3.3 群落恢复速度

定义恢复速度 (restoration speed, RS) 为提高一定恢复度所需时间或一定时间内提高的恢复度。随群落演替进行,群落在结构和功能上可无限接近原来群落或顶极群落,但不能完全相同,即 RD 可无限接近 1 而不能等于 1。在群落演替初级阶段,生境恶劣,演替速度相对缓慢;随演替进行和生境改善,恢复速度加快,出现恢复加速期;到演替后期,种间竞争加剧,群落恢复速度减慢。因此,群落从低级阶段到高级阶段的演替符合逻辑斯帝模型,可利用逻辑斯帝模型拟合恢复度与群落恢复时间 (A) 之间的关系。

$$RD_i = \frac{1}{1/u + ae^{bt}} \quad (6)$$

式中: a, b——方程参数; u——因变量的上限值,式中 u = 1。根据公式 (6) 对群落生物量 RD、高度 RD、群落整体 RD 进行拟合后得相应参数 (表 3)。

表 3 群落年龄与恢复度关系参数

群落特征指标	参数 a	参数 b	相关系数
群落高度	23.012	0.877	0.701
生物量	110.455	0.842	0.803
群落恢复度	46.276	0.858	0.655

根据拟合方程,分别计算每 10 a 提高的恢复度和每提高 0.1 恢复度所需时间 (表 4, 5)。由表中可看出,在演替中期群落恢复速度较快,在演替初期和末期速度较慢。在群落演替初期的 10 a, 群落生物量 RD、高度 RD、群落整体 RD 分别提高 0.048, 0.139, 0.091, 而每提高 0.1 恢复度所需时间分别为 14.5 a, 7.2 a, 10.7 a。在群落演替中期阶段, 10 a 内群落生物量 RD、高度 RD、群落整体 RD 分别提高 0.174 ~ 0.284, 0.202 ~ 0.236, 0.226 ~ 0.366, 分别为初期的 3.63 ~ 5.92 倍、1.45 ~ 1.7 倍和 2.48 ~ 4.02 倍; 而每提高 0.1 恢复度所需时间分别为 2.4 ~ 4.7 a, 3.1 ~ 4.1 a, 2.6 ~ 3.5 a, 所需时间分别为初期的 2/5 ~ 3/5, 1/7 ~ 1/3, 1/4 ~ 1/3。演替后期阶段,在恢复度达到 0.9 后, 10 a 内恢复度只有细微变化,生物量 RD、高度 RD、群落 RD 平均变化只有 0.019 97, 0.021 5, 0.018, 不足演替中期阶段的 1/10; 在此基础上恢复度再提高约 0.1 达 0.999, 生物量、高度、群落整体恢复分别需要 40.6 a, 53.4 a, 45.7 a。

若以恢复度达到 0.8 ~ 0.9 为群落结构功能基本恢复,从草本阶段为起始点则生物量、群落高度、群落整体功能恢复分别需要 35.3 ~ 40.0 a, 34.5 ~ 40.6 a, 34.0 ~ 39.3 a, 达到 0.999 9 的恢复度则分别需要 80.6 a, 94.1 a, 85.0 a。

4 讨论

采用以“空间代替时间”方法选取调查样地,利用“相似系统原理”建立退化群落自然恢复演替系列,在调查退化群落组成、结构、功能基础上,对群落恢复度、恢复速度进行研究。结果表明桂西南退化喀斯特植被群落自然恢复在群落演替初期阶段速度很慢,到演替中期出现恢复加速期,到演替后期恢复速度又下降。退化群落从草本群落阶段达到群落结构、功能的基本恢复需要 30 ~ 40 a, 但要恢复到原生顶极群落的结构、功能则需要近 100 a。极度退化的喀斯特群落植被和土壤长期受到开荒、采樵等外来

干扰^[13],加之此类生态系统承载力小,抗干扰能力弱,容易造成生态环境极度退化^[14]。退化喀斯特群落自然演替初期生境的恶劣决定了其恢复度低、恢复速度较慢,但原有群落的部分幼苗和丰富的土壤种子库使退化群落的恢复潜力较大。退化喀斯特群落自然演替中期由于物种多样性、群落生物量、土壤

理化性状的不断改善,出现了群落恢复度大幅提高和恢复速度加速期。到退化喀斯特群落自然演替后期群落物种组成相对稳定,生物量增加缓慢,群落下层有大量幼苗或丰富土壤种子库,群落恢复程度高,但木本植物多以 K 繁殖对策为主,且物种及个体间竞争激烈^[15],群落恢复潜力下降,恢复速度减慢。

表 4 退化群落自然恢复每 10 a 提高的恢复度

时间/a	高度 RD	小计	生物量 RD	小计	群落 RD	小计
10	0.13901	0.13901	0.04839	0.04839	0.09115	0.09115
20	0.23593	0.37494	0.17376	0.22214	0.22649	0.31765
30	0.31533	0.69028	0.39383	0.61597	0.36596	0.68361
40	0.20197	0.89225	0.28412	0.90008	0.22572	0.90932
50	0.07627	0.96852	0.08053	0.98062	0.06964	0.97897
60	0.02281	0.99133	0.01587	0.99649	0.01643	0.99539
70	0.00632	0.99765	0.00288	0.99937	0.00361	0.99900
80	0.00172	0.99937	0.00051	0.99989	0.00078	0.99979
90	0.00046	0.99983	0.00009	0.99998	0.00017	0.99995
100	0.00012	0.99995	0.00002	1.00000	0.00004	0.99999

表 5 退化群落提高 0.1 恢复度所需时间

恢复度	高度/a	小计/a	生物量/a	小计/a	群落总体/a	小计/a
0.1	7.2	7.2	14.5	14.5	10.7	10.7
0.2	6.2	13.3	4.7	19.2	5.3	15.9
0.3	4.1	17.4	3.1	22.4	3.5	19.5
0.4	3.4	20.8	2.6	24.9	2.9	22.3
0.5	3.1	23.9	2.3	27.3	2.6	25.0
0.6	3.1	27.0	2.3	29.6	2.6	27.6
0.7	3.4	30.4	2.6	32.2	2.9	30.5
0.8	4.1	34.5	3.1	35.3	3.5	34.0
0.9	6.2	40.6	4.7	40.0	5.3	39.3
0.9999	53.4	94.1	40.6	80.6	45.7	85.0

以“空间代替时间”方法结合“相似系统原理”可更合理地建立退化群落自然恢复演替系列,避免单纯“空间代替时间”方法中主观因素造成的误差。对退化群落恢复期的模型分析利于揭示退化喀斯特群落自然恢复的生态学过程,可为广西退化喀斯特植被恢复提供理论支持。但该研究中只对群落生物量、群落高度等进行了分析,没有考虑群落下层幼苗、土壤种子库等重要的群落结构、功能指标,其还有待于进一步深入研究。

参考文献:

[1] 郭魁士. 广西石灰岩区土壤之初步观察[J]. 土壤, 1940,1(4):32-47.
 [2] 侯学煜. 贵州省南部植物群落[J]. 植物学报,1952,1(2):65-106.

[3] 王献溥,胡舜士. 广西石灰岩地区常绿、落叶阔叶混交林的群落学特点[J]. 东北林学院学报,1981(3):30-47.
 [4] 梁士楚. 贵阳喀斯特山地云贵鹅耳枥种群动态研究[J]. 生态学报,1992,12(1):53-60.
 [5] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等. 人为干扰与喀斯特森林群落退化及评价研究[J]. 应用生态学报,2002,13(5):529-532.
 [6] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等. 退化喀斯特森林自然恢复评价研究[J]. 林业科学,2000,36(6):12-19.
 [7] 黎代恒. 桂西南喀斯特山区土地资源与开发[J]. 人文地理,1994,8(3):68-78,105.
 [8] 喻理飞,朱守谦,魏鲁明,等. 退化喀斯特群落自然恢复过程研究-自然恢复演替系列[J]. 山地农业生物学报,1998,17(2):71-77.
 [9] 张家来. 应用最优分割法划分森林群落演替阶段的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报,1993,17(3):224-231.
 [10] 木村允. 陆地植物群落生产量测定方法[M]. 北京:科学出版社,1981.
 [11] 周美立,王浣尘. 相似系统的分析与度量[J]. 系统工程,1996,14(4):1-6,13.
 [12] 周美立. 论生物系统中相似与演化关系[J]. 生物学杂志,1989,32(6):10-13.
 [13] 刘方,王世杰,刘元生,等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. 生态学报,2005,25(3):639-644.
 [14] 李洪远,鞠美庭. 生态恢复的原理与实践[M]. 北京:化学工业出版社,2004:1-61.
 [15] 刘济明,陈洪,何跃军,等. 喀期斯特封山育林区土壤种子库研究[J]. 西南农业大学学报:自然科学版,2006,28(3)376-380.