

黔西北喀斯特退化植被恢复潜力评价

唐樱殷^{1,2,3}, 谢永贵⁴, 余刚国⁴, 吴春平⁴, 刘崇欣⁴, 毕宁⁴, 沈有信^{1,2,*}

(1. 中国科学院热带森林生态学重点实验室(西双版纳热带植物园), 云南 勐仑 660303;

2. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4 毕节地区林业科学研究所, 贵州 毕节 551700)

摘 要: 为了全面有效地评价黔西北喀斯特区域退化植被的恢复潜力, 从而为该区域退化植被恢复的优先顺序以及恢复策略和技术的制定提供理论支撑, 基于地上群落、繁殖体库、土壤基质和干扰状况 4 类指标群信息的 13 个指标, 构建综合评价模型对该区域自然恢复过程中处于不同演替阶段的 11 个群落进行恢复潜力评价。结果将 11 个退化群落样地(1~11 号)按综合恢复潜力指数(PI)分为四类, 即 $PI < 0.20$ (1、2 号样地); $0.20 < PI < 0.40$ (3、5 号样地); $0.40 < PI < 0.55$ (8、9 号样地); $0.55 < PI < 0.70$ (6、7、10、11 号样地), 这一结果与实际情况相符。总的来看, 与地上群落和繁殖体库相比, 土壤基质状况较好且变异较小, 说明土壤基质不是该区域植被恢复的限制因子, 充足的木本植物繁殖体源将发挥越来越重要的作用。该模型可作为一个有效的技术来监测喀斯特退化植被的恢复进程。

关键词: 喀斯特退化植被; 自然恢复; 恢复潜; 综合评价

中图分类号: Q948.1

文献标识码: A

植被消失导致的南方石漠化已经成为一个与北方沙漠化相匹敌的科学、经济和社会问题。黔西北地区(毕节地区)喀斯特面积占全区总面积的 62.5%, 土地垦殖率仅为 38.5%, 生态恶化的不断加剧与贫困落后相辅相成, 在喀斯特山区极具典型性和代表性。制止该区域生态系统退化并恢复已经退化的植被, 对维护生态平衡、保护生物多样性以及发展当地经济起到关键作用。对退化生态系统进行恢复潜力评价是合理地进行恢复实践的基础, 无论是研究者、实践者还是政策制订者, 当面对一个已经退化的生态系统, 首先考虑的是确定它重新恢复到某种目标生态系统的功能, 即评价恢复潜力的大小。恢复潜力阐述了恢复的目标并评估了退化植被达到这一目标的实际能力, 它可以及时把握生态系统自然恢复的现状和程度, 找出影响恢复的关键因素, 为

调控恢复进程和预测恢复轨迹等生态系统可持续管理及恢复实践提供理论基础。

在恢复潜力评价中, 通常运用参考系统的信息来定义恢复的目标, 进而通过度量退化群落与参考群落之间的“距离”确定恢复地段的恢复潜力, 评价恢复的状态^[1-3]。与恢复效果评价一样, 恢复潜力评价也需要有明确的切合实际的恢复目标, 正确地选择参照系统, 清晰和量化的评价指标和标准以及科学合理的评价方法^[4]。很多研究者从不同的角度对退化生态系统进行了恢复评价, 如 Bowle 等^[5]、Martin 等^[6]、马姜明^[7] 基于地上群落特征(如群落数量特征、物种组成及多样性、群落结构等方面), Herault 等^[8] 基于植物的生活特征, Peñuela 和 Drew^[9] 基于土壤结构和群落空间结构, Korb 等^[10] 基于土壤种子库对退化群落进行恢复评价。鉴于指

收稿日期(Received date): 2011 - 10 - 12; 改回日期(Accepted): 2012 - 04 - 21。

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划项目“喀斯特山区水土保持关键技术集成研究与示范”(2007BAD53B02)。[Supported by the National Key Technology R & D Program (2007BAD53B02).]

作者简介(Biography): 唐樱殷(1986 -), 女, 四川巴中人, 硕士研究生, 从事恢复生态学研究。[Tang Yingyin (1986 -), female, born in Bazhong of Sichuan, graduate student, research field: restoration ecology.] E-mail: tangyy@xtbg.ac.cn

* 通讯作者(Corresponding author): 沈有信[Shen Youxin] E-mail: yxshen@xtbg.ac.cn

标的多样性和复杂性,很多生态学家发展了将多个恢复变量融合的综合评价方法,如发展包含多个变量的复杂性指数(如群落完整指数、植被质量指数等)进行评价^[11-13];直接利用多指标综合评价方法进行评价,如模糊综合评判模型、灰色关联分析等^[14-15],然而这类多指标综合评价方法通过指标赋权、数学计算等步骤,往往存在数据主观化和均衡化的缺陷。目前尚未见对南方喀斯特地区退化植被的比较全面的恢复潜力评价研究报道。由于人地矛盾突出,人为干扰导致的偏途演替、不同演替阶段群落共存,一直以来都是喀斯特地区生态治理与重建的难点^[16]。为了使黔西北喀斯特地区不同演替阶段群落的恢复潜力得到全面准确地评价,使其包含多种生态学过程^[17],本文首次基于地上群落、繁殖体库、土壤基质、干扰阻力4个方面建立评价体系,构建综合评价模型,评价退化群落恢复到参照群落的恢复潜力,为该区域退化植被恢复的优先顺序以及恢复策略和技术的制定提供理论支撑。

1 研究地概况与评价数据获取

1.1 评价样地及其群落类型

毕节地区,地处世界三大连片喀斯特发育区之一的东亚片区中心的滇黔桂连片喀斯特腹心地带,是贵州省海拔最高的(2 000~2 400 m)喀斯特区域,也是极具典型性和代表性的喀斯特贫困山区。样地选在毕节地区中部的大方县,位于乌蒙山东坡,乌江支流六冲河北岸,地理位置 105°15'47"~106°08'04"E, 26°50'02"~27°36'04"N,海拔 720~2 325 m,暖温带湿润季风气候明显,年平均气温 11.8℃,最高月平均气温 31.5℃,最低月平均气温 -9.3℃,年平均降雨量 1 180.8 mm,年日照时数 1 335.5 h,无霜期 257 d,土壤以黄壤、黄棕壤和石灰土为主。森林植被为喀斯特常绿落叶阔叶混交林,优势种主要为壳斗科、樟科、胡桃科、榆科、大戟科和忍冬科的种类。现存植被为各种处于不同演替阶段的群落类型组成。

为了使本文的评价方法可以通过实际情况得到经验性的验证,在评价样地的选取上,我们特意选择在当地分布最广、最具有代表性的4类处于自然演替不同阶段的群落类型,依据处于的不同演替阶段,将这4类群落类型分别定义为:1. 处于草本阶段的草地;2. 处于灌丛阶段的藤刺灌丛;3. 处于灌木林

阶段的灌木林;4. 处于灌乔过渡阶段的乔灌木。本研究仅针对上述退化程度的群落进行,其他一些已经进入乔林阶段的群落类型未考虑作为研究对象。于2007年,在贵州省大方县羊场镇的大弯村附近的喀斯特山地上,分别找到了上述类型的群落,经过评估,认为这些样地应该由同一类型的顶极群落退化形成。于每类型退化植被中随机设置2~3个样地,共计获得11个退化程度不一的典型退化植被样地,样地取样面积均为20×20 m²。

基于研究地区的实际情况,同时考虑当前喀斯特生态系统的恢复目标是在退化地段能建立自我维持的植被覆盖,本研究在相邻的自然保护区内选取一个次生性的森林群落作为参照系统,设置了3个样地。参照群落为石灰岩常绿、落叶阔叶混交林,属于黔西北地区亚热带石灰岩山地的地带性群落类型。乔木层主要物种有青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)、窄叶石栎(*Lithocarpus confines*)、云贵鹅耳枥(*Carpinus pubescens*)、化香(*Platycarya strobilacea*)、石灰花楸(*Sorbus folgeri*)、云南樟(*Cinnamomum glanduliferum*)、君迁子(*Diospyros lotus*)、冬青(*Ilex purpurea*)、穗序鹅掌柴(*Schefflera delavayi*)等。灌木层中乔木的幼树、幼苗数量和灌木种类相对较少,主要有较为耐荫的西域旌节花(*Stachyurus himalaicus*)、喜马拉雅青荚叶(*Helwingia himalaica*)、湖北十大功劳(*Mahonia confusa*)等。草本层以中性和耐荫的物种为主,如舌叶苔草(*Carex ligulata*)、箭叶淫羊藿(*Epimedium sagittatum*)、鸢尾(*Belamcanda tectorum*)、革叶粗筒苣苔(*Briggsia mihieri*)、抱石莲(*Lepidogrammitis drymoglossoides*)等。

1.2 评价数据的获取

植被恢复的重要环节是植被更新,它是演替发生的原动力,也是植被处于动态平衡和维持平衡的重要机制^[18-19],而植被更新又依赖于种源,萌发和生长三个条件。只有当系统中进入了能适应环境的新的物种种源后,系统才有发生变化的物质基础,但这些新进入的生命体源必须与其生长的基质(土壤)发生相互作用,那些能成功定居和繁殖的物种种源才能将系统推向新的演替阶段^[20];不合理的人类干扰则会成为演替前进的阻力。因此,通过对地上群落特征、繁殖体库、土壤基质、干扰阻力的分析就可以得到退化植被的恢复现状。

1.2.1 地上群落调查

2008-07-09,采用记名记数样方调查法,将每

个样地分割成 $5 \times 5 \text{ m}^2$ 的样方,调查样方内的乔木和灌木。沿样地对角线设立 3 个 $2 \times 2 \text{ m}^2$ 小样方,调查小样方内的草本植物。乔木生物量的计算采用了杨汉奎和程仕泽^[21]的回归方程 $W = 2.3452 \times \text{Lg}(\text{DBH}) - 0.75012$ 。在每个样地的四角和中部,设置 5 个 $2 \times 2 \text{ m}^2$ 的样方,以收割法测定样方内灌木和草本生物量。在所有的 $5 \times 5 \text{ m}^2$ 样方内,对主干胸径 $\geq 3 \text{ cm}$ 的个体或是主桩基径 $\geq 3 \text{ cm}$ 的树桩个体进行全面调查。把形态上相连的、来源于同一种子的所有个体组成的树丛视为一个根株,把根株内胸径或树桩基径最大的茎干或根桩视为主茎干或主桩,其余的个体视为萌生茎干。

1.2.2 土壤种子库实验

于 2008 年 4 月,在 11 个退化群落样地内分别取 5 个 $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ 土样,分层装于布袋内,运回昆明分部温室。将取回土样用水冲洗过 5 目(4 mm)和 75 目(0.21 mm)筛^[22-23],将中间部分转入萌发皿内,编号后置于温室内,隔离外界可能的种子干扰,保持土壤湿润以利于种子萌发,记录出苗种类和数量,每次拔苗后翻动土壤,直到一周内无出苗为止。种子库更新潜力度借用相似度系数公式^[24]计算: $C_s = 2C/(A+B)$,式中: C_s 为土壤种子库的物种组成结构与更高演替阶段群落组成结构之间的相似度系数,即种子库更新潜力度, A 为退化群落土壤种子库的物种数, B 为参考群落地上群落的物种数; C 为 A 和 B 中共有物种数。

1.2.3 土壤采集及常规性质分析

于 2008 年 3 月、5 月、7 月,沿每个样地的对角线设置 3 个 $2 \times 2 \text{ m}^2$ 的小样方,在小样方中挖出 0~20 cm 的土壤剖面,采用环刀及铝盒进行取样,然后带回中科院西双版纳热带植物园地球化学实验室,采用常规方法测定供试土壤的有机质,全氮,全磷,全钾和有效氮含量。

1.2.4 干扰强度调查

在 2008—2009 年期间,通过调查并走访当地农户,发现了多种影响毕节喀斯特区域植被存留和恢复的干扰源(表 1),依据调查走访得到的各样地的干扰信息,综合以下干扰源阻碍植被恢复的严重程度对各样地的干扰强度进行打分。为了便于分析,假定参照群落没有人为干扰或人为干扰对恢复没有阻碍作用,即干扰指数赋为 0,其余退化群落按干扰强度从低到高,将干扰指数赋值为 0~1,即干扰强度越大的群落其干扰指数越大。

表 1 毕节喀斯特区域植被存留与恢复的干扰源

Table 1 The disturbance source of vegetation reserved and recovery in Bijie karst area

干扰	描述
开荒种地	当地居民有扩大他们并不充分的土地的冲动,即使能耕种几窝玉米的石隙也会被开垦
火灾	当地在清理农地、烧制土灰时引发森林火灾
采挖根桩制作盆景	当地有采挖根桩,制作盆景的历史
烧制土灰	当地曾经有
药材采集	当地有采集并驯化野生中药材的习惯
放牧	现在的大牲畜相对较少
其他林、非林产品采集	如农具、薪柴

2 综合评价模型

2.1 评价指标体系的建立

依据评价指标选取的基本原则(代表性或针对性原则、独立性原则和可操作性原则)筛选各评价集的相关指标^[15],同时避免低准确性和低灵敏性指标,建立指标如图 1 所示。

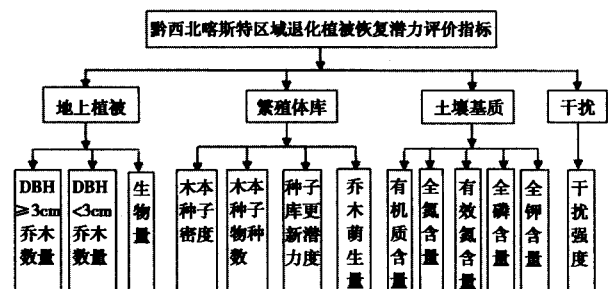


图 1 毕节喀斯特区域退化植被恢复潜力评价指标

Fig. 1 Restoration potential evaluation indicator for degraded vegetation in Bijie karst area

2.2 指标值的计算

大多数恢复实践家和理论家都认为,植被恢复是通过促进必然的自然演替来自修复和完善,遵循成熟度和生态完整度随时间单调增加的轨迹^[25-26],可以认为与参考群落越接近,恢复程度越高,恢复潜力越大^[27]。因此,本文采用 $V_i = X_i/R_i$ 表示各指标的评价值,其中 V_i 表示退化群落第 i 项指标评价值, X_i 为退化群落第 i 项指标实测值, R_i 为参考群落对应指标实测值。对于正指标 X_i 大于 R_i ,则令 $V_i = 1$;对于逆指标即 X_i 始终大于 R_i ,评价值的计算需取倒数即 $V_i = R_i/X_i$ 。其中干扰强度指标由于

是人为打分的定性指标,且分值位于0~1之间,因此评价价值即为原始数据。该方法不仅可以表现退化群落与参考群落的接近程度,而且可将各指标原始数据无量纲化,便于以后的分析^[28]。

2.3 模型的构建

通过构建数学形式将各指标的信息综合起来,最后得到一个综合指数(表2)。各评价集指数及综合恢复潜力指数的计算如下:

地上群落恢复潜力指数

$$PI_V = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

繁殖体库恢复潜力指数

$$PI_R = \frac{V_4 + V_5 + V_6 + V_7}{4}$$

土壤基质恢复潜力指数

$$PI_S = \frac{V_8 + V_9 + V_{10} + V_{11} + V_{12}}{5}$$

干扰指数

$$DI = V_{13}$$

综合恢复潜力指数

$$PI = [PI_V \times PI_R \times PI_S \times (1 - DI)]^{\frac{1}{4}} V_1 - V_{13}$$

模型的设置基于当群落所有的评价价值都等于1,干扰指数等于0时(即参考群落),其综合恢复潜力指数为1,如此计算,各退化群落的综合恢复潜力指数将在0~1间,越接近1代表恢复潜力越大。由于不同的指标变量都具有生态学意义上的独立性,因此各评价集指数的计算都是相关指标评价价值相加的计算,考虑到4个评价集恢复的同时性,综合评价指数是将各评价集指数相乘的计算^[29,9]。

3 评价结果与分析

以12个样地(11个退化群落样地和1个参考群落样地)的13个指标的原始数据X作为样本,进行恢复潜力评价,原始数据如表2所示。根据各评价指标的原始数据,按照指标评价值的计算方式,计算出指标评价价值V。将所得到的指标评价价值数据输入评价模型得出各评价集指数以及综合评价恢复潜力指数。按综合恢复潜力指数从低到高排列,从最小为0.11的1、2号样地到最大为1的参考群落样地之间形成一个演替序列,7号样地在退化群落中恢复潜力最高也只达到0.655(图2)。在各退化样地中,不同的恢复潜力指数大小不同,地上群落指数最高为0.611,最低为0.012,平均为0.316;繁殖体

库指数最高为0.653,最低为0.108,平均为0.366;土壤基质指数最高为0.725,最低为0.391,平均为0.579(图2)。可见退化植被在这三方面的恢复程度不具有 consistency,地上群落恢复水平最低且变异最大,繁殖体库居中,土壤基质最高且变异最小。地上群落和繁殖体库指数与综合指数的变化趋势较为一致,而土壤基质指数都普遍偏高但没有明显的变化规律。

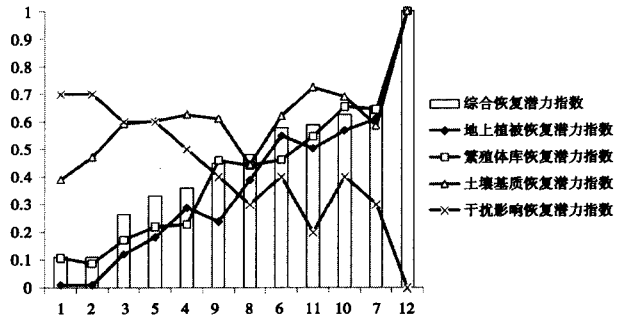


图2 毕节喀斯特区域各退化群落和参照群落的各评价集恢复潜力指数以及综合评价恢复潜力指数

Fig.2 The restoration potential index of each evaluation sets and comprehensive evaluation of degraded communities and reference community in Bijie karst area

进一步的相关分析表明,各指数之间都表现出显著的相关性(表3)。地上群落、繁殖体库和土壤基质之间具有极显著的正相关,可见在恢复过程中这三者具有协同性,彼此间相互作用共同推动演替的进程。而干扰指数与它们之间具有负相关,表明干扰对地上群落、繁殖体库和土壤基质的恢复有一定的阻碍作用,从而减慢演替的进程。作为综合恢复潜力指数,它与各评价集指数必然显著相关,而相关性系数的大小则反映了该评价集对恢复潜力的贡献大小。地上群落和繁殖体库指数的 Kendall 相关系数最高, Pearson 相关系数也都高于0.97,可见这两者对恢复潜力的贡献最大,干扰居中,对恢复潜力具有较强的削弱作用,而土壤基质的贡献则最小,表明土壤基质在恢复进程中的变化较小。

为了验证该恢复潜力评价模型,将不同样地按综合恢复潜力指数的大小做定性的区分并与实际情况进行比较。最后将11个退化群落样地分为4类,每1类代表1个恢复潜力级别。如表4所示,不同恢复潜力级别的样地群落与实际情况相吻合,可见该评价模型可以作为一个有效的技术来监测喀斯特退化植被的恢复进程。

表2 毕节喀斯特区域各退化群落和参照群落的评价指标原始数据 (20×20 m² 样方)

Table 2 The raw data of valuation index of degraded communities and reference community in Bijie karst area

评价指标 Indicators		样地号 Plot number											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
地上群落 Vegetation	DBH≥3 的乔木数量 X_1	0	0	1	3	0	27	31	39	5	3	6	103
	DBH<3 的乔木数量 X_2	0	0	1	8	3	11	13	2	3	28	24	17
	生物量/(kg/hm ²) X_3	2 793	2 834	23 095	28 492	28 936	57 373	59 922	52 283	38 321	52 459	35 441	77 959
	木本种子密度/(粒/m ²) X_4	57	63	100	60	140	200	140	140	240	220	440	1442
繁殖体库 Propagule bank	木本种子物种丰富度 X_5	2	2	3	3	4	4	9	6	6	9	10	14
	种子库更新潜力度 X_6	0.03	0.02	0.04	0.02	0.06	0.11	0.1	0.12	0.12	0.1	0.09	0.12
	乔木萌生量 X_7	0	0	5	34	0	35	78	17	17	68	29	69
土壤基质 Soil property	有机质含量/(g/kg) X_8	38.22	63.74	83.92	88.96	79.5	93.97	73.03	49.84	75.73	85.7	110.8	120.62
	全磷含量/(g/kg) X_9	0.687	1.115	0.824	0.706	0.712	0.874	0.605	0.623	0.547	0.592	0.774	0.49
	全钾含量/(g/kg) X_{10}	12.71	11.42	10.37	9.66	10.19	14.12	10.2	15.75	7.2	6.29	7.09	2.7067
	全氮含量/(g/kg) X_{11}	2.35	3.87	4.49	4.38	4.34	4.74	3.65	2.79	3.55	4.32	5.19	5.73
	有效氮含量/(mg/kg) X_{12}	150	241	315	331	323	376	305	182	271	365	393	500.67
干扰 Disturbance	干扰强度 X_{13}	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0

注:12 号为参考群落

表3 各评价集恢复潜力指数及综合恢复潜力指数之间相关系数

Table 3 The correlation coefficient between the restoration potential index of each evaluation sets and comprehensive evaluation

项目	地上群落 PI_V	繁殖体库 PI_R	土壤基质 PI_S	干扰 DI	综合评价 PI
地上群落 PI_V	—	0.947 **	0.858 **	-0.775 **	0.972 **
繁殖体库 PI_R	0.879 **	—	0.793 **	-0.877 **	0.977 **
土壤基质 PI_S	0.636 **	0.576 **	—	-0.656 *	0.857 **
干扰 DI	-0.604 **	-0.604 **	-0.381	—	-0.882 **
综合评价 PI	0.939 **	0.939 **	0.576 **	-0.636 **	—

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

注:对角线上部为 Pearson 相关系数,下部为 Kendall 相关系数

表4 以综合恢复潜力指数作为分类依据所获得的
毕节喀斯特区域退化植物群落分类结果

Table 4 The classification of degraded communities obtained by the
index of the comprehensive restoration potential

样地号	综合恢复潜力指数	恢复潜力	实际情况
1-2 号	>0.2	一级(很弱)	草地
3-5 号	0.2~0.4	二级(弱)	藤刺灌丛
8-9 号	0.4~0.55	三级(中)	灌木林
6-7、10-11 号	0.55~0.7	四级(强)	乔灌木

4 结语

恢复潜力评价模型作为一个工具为人们提供了恢复对象的基本信息。基于以上模型,向评价系统

中输入退化植被的地上群落、繁殖体库、土壤基质和人为干扰 4 个方面指标信息,经过计算,可以分别输出对这 4 个方面的优劣程度和退化植被恢复潜力的总体评价。通过实际情况的定性验证,表明该模型评价结果能够客观准确地反映黔西北喀斯特区域不同退化程度群落的恢复潜力,能够为植被恢复实践提供决策支持。

从评价结果来看,与地上群落和繁殖体库相比,该区的土壤基质状况较好且变异较小,不同恢复潜力的群落之间,土壤养分含量有差异,但这些差异并未达到决定地表群落类型的程度,表明土壤基质不是该区域植被恢复的限制因子,充足的木本植物繁殖体源将起着十分重要的作用。从评价方法来看,模型通过多级等权方式综合各指标的信息,评价过

程包含了恢复的程度性和一致性。这不仅在很大程度上克服了系统综合评价中由于专家的主观性以及数据均衡化所带来的偏差,较好地保证了评价结果的客观性、公平性和科学性,同时还能从评价结果中看出参评对象在不同评价集方面表现的优劣,进而找出植被恢复的限制因子并区分各因子的限制程度。值得注意的是,切合实际的恢复目标是恢复潜力评价的前提^[30-31],对当前中国南方喀斯特生态系统而言,恢复目标是在退化地段能建立自我维持的植被覆盖,遏制生态环境恶化和提高农业生态环境质量^[32],故暂不考虑恢复到与目标群落相同的组成结构和功能,本文中参照系统和具体指标的选取也以此为前提。然而当评价对象中包含了更高演替阶段的群落时,恢复目标需提高到群落组成结构水平上,参照群落体系也应更完善,评价指标也需考虑包含更多的群落功能和结构特征。因此,在以后的研究中应根据实际情况增加或完善目标恢复体系。

参考文献 (References)

- [1] White P S, Walker L J. Approximating nature's variation: selecting and using reference information in restoration ecology [J]. *Restoration Ecology*, 1997, 5: 338 - 349
- [2] DeGruchy M, Matthes U, Gerrath J, et al. Natural recovery and restoration potential of severely disturbed talus vegetation at niagara falls: assessment using a reference system [J]. *Restoration Ecology*, 2001, 9: 311 - 325
- [3] Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. The SER international primer on ecological restoration [EB/OL]. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004
- [4] Choi Y D. Theories for ecological restoration in changing environment: Toward futuristic' restoration [J]. *Ecological Research*, 2004, 9: 75 - 81
- [5] Bowles M, Jones M, McBride J, et al. Structural composition and species richness indices for upland forests of the Chicago Region [J]. *Erigenia*, 2002, 8: 30 - 57
- [6] Martin L M, Moloney K A, Wilsey B J. An assessment of grassland restoration success using species diversity components [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2005, 42: 327 - 336
- [7] Ma Jiangming. Evaluation of degraded subalpine dark brown coniferous forests based on ecology in western Sichuan China and implications for restoration [D]. Beijing: Graduate School of the Chinese Academy of forestry, 2007 [马姜明. 川西亚高山退化暗针叶林恢复评价的生态学基础及其对策 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2007]
- [8] Herault B, Honnay O, Thoen D. Evaluation of the ecological restoration potential of plant communities in Norway spruce plantations using a life-trait based approach [J]. *Ecology*, 2005, 42: 536 - 545
- [9] Peuela M, Drew A. A model to assess restoration of abandoned pasture in Costa Rica based on soil hydrologic features and forest structure [J]. *Restoration Ecology*, 2004, 12: 516 - 524
- [10] Korb J, Springer J, Powers S, et al. Soil seed banks in *Pinus ponderosa* forests in Arizona: clues to site history and restoration potential [J]. *Applied Vegetation Science*, 2005, 8: 103 - 112
- [11] DeKeyser E S, Kirby D R, Ell M J. An index of plant community integrity: development of the methodology for assessing prairie wetland plant communities [J]. *Ecological Indicators*, 2003, 3: 119 - 133
- [12] Shear T H, Lent T J, Fraver S. Comparison of restored and mature bottomland hardwood forests of southwestern Kentucky [J]. *Restoration Ecology*, 1996, 4: 111 - 123
- [13] Elliott S, Blakesley D, Maxwell J, et al. How to plant a forest: the principles and practice of restoring tropical forest [R]. Chiang Mai University, Forest Restoration Research Unit, Part 4, 2006
- [14] Chen Yinyi, Li Daoliang. Evaluation model for revegetation potentiality of sand dust sources in farming-pastoral ecotone in Northern China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(3): 130 - 134 [陈英义, 李道亮. 北方农牧交错带沙尘源植被恢复潜力评价模型研究 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(3): 130 - 134]
- [15] Bu Yaojun. Research on vegetation restoration in the hilly and gully regions of the Loess Plateau [D]. Xian: Northwest University of Farming and Forestry Technology, 2005 [卜耀军. 黄土丘陵沟壑区植被恢复研究 [D]. 西安: 西北农林科技大学, 2005]
- [16] Wang Jun. Land degradation and ecological rehabilitation in karst areas of guizhou province, southwestern china [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(3): 447 - 453 [万军. 贵州省喀斯特地区土地退化与生态重建研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2003, 18(3): 447 - 453]
- [17] Mitsch W, Day J. Thinking big with whole-ecosystem studies and ecosystem restoration-a legacy of HT Odum [J]. *Ecological Modelling*, 2004, 178: 133 - 155
- [18] Harwell M, Havens K. Experimental studies on the recovery potential of submerged aquatic vegetation after flooding and desiccation in a large subtropical lake [J]. *Aquatic Botany*, 2003, 77: 135 - 151
- [19] Luzuriaga A, Escudero A, Olano J, et al. Regenerative role of seed banks following an intense soil disturbance [J]. *Acta Oecologica*, 2005, 27: 57 - 66
- [20] Duncan R, Chapman C. Seed dispersal and potential forest succession in abandoned agriculture in tropical Africa [J]. *Ecological Applications*, 1999, 9: 998 - 1008
- [21] Yang Hankui, Chen Shize. Study on biomass of the karst forest community in maolan, guizhou province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(4): 307 - 312 [杨汉奎, 程仕泽. 贵州茂兰喀斯特森林群落生物量研究 [J]. *生态学报*, 11(4): 307 - 312]
- [22] Ter Heerdt G N, Verweij G L, Bekker R M, et al. An improved method for seed-bank analysis: seedling emergence after removing the soil by sieving [J]. *Functional Ecology*, 1996, 10: 144 - 151

- [23] Shen Youxin, Liu Wenyao, Guan Huilin. Pre-germination treatment method for samples from soil-seed bank: concentration by water washing [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(6): 1199 – 1202 [沈有信, 刘文耀, 官会林. 土壤种子库样品萌发的前处理方法: 水洗减量 [J]. *土壤学报*, 2008, 45(6): 1199 – 1202]
- [24] Yu Lifei, Zhu Shouqian, Ye Jinzhong. A study on evaluation of natural restoration for degraded karst forest [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(6): 12 – 19 [喻理飞, 朱守谦, 叶镜中. 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]
- [25] Shuwen W, Pei Q, Yang L, et al. Wetland creation for rare waterfowl conservation: a project designed according to the principles of ecological succession [J]. *Ecological Engineering*, 2001, 18: 115 – 120
- [26] Zedler J, Callaway J. Tracking wetland restoration: do mitigation sites follow desired trajectories [J]. *Restoration Ecology*, 1999, 7: 69 – 73
- [27] Hobbs RJ, Norton D. Towards a conceptual framework for restoration ecology [J]. *Restoration Ecology*, 1996, 4: 93 – 110
- [28] Matthews J, Spyreas G, Endress A. Trajectories of vegetation-based indicators used to assess wetland restoration progress [J]. *Ecological Applications*, 2009, 19: 2093 – 2107
- [29] Wang Z, Daun C, Yuan L, et al. Assessment of the restoration of a degraded semi-humid evergreen broadleaf forest ecosystem by combined single-indicator and comprehensive model method [J]. *Ecological Engineering*, 2010, 36: 757 – 767
- [30] Davis M, Slobodkin L. The science and values of restoration ecology [J]. *Restoration Ecology*, 2004, 12: 1 – 3
- [31] Hobbs RJ. Ecological management and restoration: assessment, setting goals and measuring success [J]. *Ecological Management and Restoration*, 2003, 4: S2 – S3
- [32] Yu Lifei, Zhu Shouqian, Zhu Xiaoke, et al. A study on evaluation of restoration and remedy technology of degraded Karst forest [J]. *Guizhou Science*, 2002, 20(1): 7 – 13 [喻理飞, 朱守谦, 祝小科, 谢双喜. 退化喀斯特森林恢复评价和修复技术 [J]. *贵州科学*, 2002, 20(1): 7 – 13]

Assessment of Restoration Potential of Degraded Karst Vegetation in North-western of Guizhou, SW China

TANG Yingyin^{1,2,3}, XIE Yonggui⁴, YU Gangguo⁴, WU Chunpin⁴,
LIU Congxin⁴, BI Ning⁴, SHEN Youxin^{1,2}.

(1. Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences (CAS), Menglun, Yunnan 666303, China; 2. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Kunming 650223, China;

3. Graduate University, CAS, Beijing 100049, China;

4. Forest Research Institute of Bijie Prefecture, Bijie, Guizhou 551700, China)

Abstract: Our objectives were to accurately assess restoration potential of degraded karst vegetation in north-west of Guizhou. This research will provide scientific bases for prioritizing and forming corresponding restoration practices. An comprehensive evaluation model was constructed to assess restoration potential of 11 karst communities at different succession stages in Northwest of Guizhou which representing a chronosequence of grassland to young forest. 13 indexes from four groups representing characteristics of aboveground vegetation, of propagulum banks, of soil matrix and of man-made interference were used to examine the potential degree of degraded communities approaching reference natural forest. According to the index of the comprehensive restoration potential (PI) from small to large, all sample plots were classified five categories: $PI < 0.2$; $0.2 < PI < 0.4$; $0.4 < PI < 0.55$; $0.55 < PI < 0.7$; $PI > 0.7$, the result was matched with the fact. In general, compared with aboveground vegetation and propagulum banks, the restoration potential of soil matrix was better and its variation was small which indicated that the soil matrix wasn't a limiting factors of vegetation restoration in study areas, while sufficient propagulum will exert a growing important effect. This model can be a useful technique for monitoring restoration programs in karst degraded vegetation.

Key word: karst degraded vegetation; natural restoration; restoration potential; comprehensive evaluation