

喀斯特峰丛洼地退耕还林还草工程的植被土壤耦合协调度模型

彭晚霞^{1,2}, 宋同清^{1,2*}, 曾馥平^{1,2}, 王克林^{1,2}, 杜虎^{1,2,3}, 鹿士杨^{1,2,3}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125;

2. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站, 环江 547100; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 植物和土壤的耦合协调关系是生态恢复、退耕还林还草工程顺利实施的关键。该文基于典型喀斯特峰丛洼地 7 种代表性退耕还林还草模式植被土壤的全面调查和取样分析, 建立 9 个植被因子和 15 个土壤因子的 2 级层次指标体系, 采用层次分析法确定各因子的权重, 构建了 7 种模式的植被土壤耦合度和耦合协调度模型。结果表明: 不同退耕还林还草模式的耦合度和耦合协调度并不一一对应, 植被与土壤的综合指数在全体模式中的位置也并不完全一致, 退耕种植任豆+桂牧 1 号的植被效应和退耕种植香椿的土壤改良作用最好。退耕 5 年后各模式的植被土壤耦合协调状况还不十分理想, 除香椿和撂荒处于中级协调发展时期外, 其他退耕模式均还处于失调衰退和过度发展时期, 耦合协调度模型只有桂牧 1 号和撂荒处于植被土壤同步型。喀斯特峰丛洼地实施退耕还林还草工程时应同步提高植物生长抚育和土壤管理水平。

关键词: 植被, 土壤, 耦合, 模型, 退耕还林还草, 喀斯特峰丛洼地

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.09.053

中图分类号: S157.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-09-0305-06

彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等. 喀斯特峰丛洼地退耕还林还草工程的植被土壤耦合协调度模型[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 305—310.

Peng Wanxia, Song Tongqing, Zeng Fuping, et al. Models of vegetation and soil coupling coordinative degree in grain for green project in depressions between karst hills [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9): 305—310. (in Chinese with English abstract)

0 引言

植被演替主要通过物种竞争来推动, 土壤作为植被演替的重要环境条件, 它不但促进前一种植被群落灭亡, 而且为后续群落演替创造条件^[1], 某一阶段土壤肥力状况, 既反映了在此之前群落与土壤协同作用的结果, 同时也决定了后续演替群落的土壤肥力基础和初始状态。退化土地植被恢复的早期阶段以土壤性质的内因动态演替为主, 土壤的性质影响植被的变化, 同时也因植被的变化而变化, 这种相互促进作用在经过一段时间的演替, 土壤和植被群落均受气候的限制, 进化为以生态平衡为标志的顶极群落^[2-3]。喀斯特峰丛洼地位于我国西南喀斯特南端的斜坡地带, 土壤为隐域性土, 发育程度不高, 土壤稀少而浅薄, 水土流失严重, 近年来, 在人口迅速增长和人地矛盾尖锐的影响下, 形成了以脆弱生态环境为基础、以强烈的人为干扰为驱动力、以植被减少为诱因、以土地生产力退化为本质的复合退化状况^[4-5], 植被与土壤相互关系极度恶化, 大面积的森林已退化成灌丛

或草丛, 部分地带完全石漠化, 生态恢复和重建迫在眉睫^[6-7], 2002 年起全面实施退耕还林还草工程, 旨在迅速恢复改善日益恶化的生态环境, 促进当地社会经济的发展^[8]。退耕还林还草生态系统是一个相对异质性的开放系统, 各子系统之间不断的进行着物质、能量、价值和信息流动, 其中植被和土壤是其两个最重要的子系统, 它们的吻合程度直接关系到退耕还林还草工程发展的可持续性。本文从小尺度角度构建了喀斯特峰丛洼地 7 个代表性退耕还林还草模式的植被土壤耦合度和耦合协调度模型, 为该区域退耕还林还草优化设计、植被的迅速恢复和生态重建提供科学的理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与试验设计

研究区位于广西环江毛南族自治县下南乡古周村(24°50'N, 107°55'E) 一个典型的喀斯特峰丛洼地景观单元(图 1), 最高海拔 818 m, 最低 376 m, 属亚热带季风气候, 年平均气温 16.5~20.5℃, 平均降雨量为 1 389.1 mm, 雨季平均持续 130~140 d, 主要集中在 4-9 月, 尤以 6 月中旬至 7 月中旬最多, 达 350~460 mm, 常出现涝灾, 10 月至次年 3 月为旱季, 各月平均降水量在 90 mm 以下。一年内日照时数以 2 月份最低, 7 月份最高, 日照率以 3 月份最低, 9 月份最高。土壤主要为碳酸盐岩发育的钙质石灰土, 洼地平均土层深度约为 100 cm, 部分地段土深仅为十余厘米, 石芽广泛出露, 山地平均土层深度 20~40 cm, 80% 为 25° 以上坡地, 岩石裸露率高达 85%。研究区人地矛盾突出, 人为干扰强

收稿日期: 2010-05-11 修订日期: 2011-08-09

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-10); 国家科技支撑计划(2010BAE00739, 2009BAD6C6B008); 国家自然科学基金项目(Nos. 31000224, 31070425, 30970508 和 U1033004); 中国科学院“西部之光”人才培养计划。

作者简介: 彭晚霞(1980—), 女, 湖南双峰人, 主要从事农业生态学研究。长沙 中国科学院亚热带农业生态研究所, 410125。

Email: pengwanxia@yahoo.com.cn

*通信作者: 宋同清(1962—), 男, 湖北天门人, 研究员, 主要从事生态学研究。长沙 中国科学院亚热带农业生态研究所, 410125。

Email: songtongq@163.com

烈, 植被退化严重, 森林覆盖率仅为 13%, 长年水土流失导致石漠化趋势明显, 生态环境十分脆弱。2002 年列为中国科学院亚热带农业生态研究所喀斯特峰丛洼地生态恢复与重建试验示范区, 开始一直实施造林, 造林一

次, 在完成环境移民 50% 的基础上全面实施退耕还林还草工程, 主要有退耕种植任豆、香椿、板栗、柑橘、任豆+桂牧 1 号、桂牧 1 号和撂荒 7 种模式。

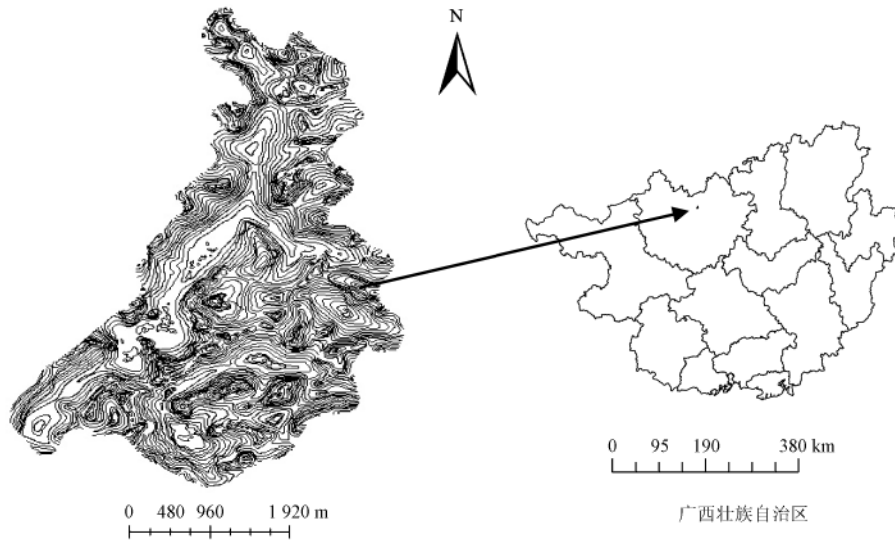


图 1 喀斯特峰丛洼地生态恢复与重建试验示范区概况图

Figure 1 Sketch map of ecodemonstration region in depressions between karst hills

1.2 标准地设置与调查

2007 年 8~10 月在示范区的 7 种退耕还林还草模式内, 各设置 3 块 400 m^2 ($20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$) 动态监测样地。用材林调查树种、树高、胸径、枝下高、盖度; 经济林调查树种、树高、地径、冠幅、盖度; 灌木层和草本层调查总盖度、灌木盖度、草本盖度、物种、高度、株数、盖度; 藤本植物调查物种、株数、攀援高度和盖度, 同时进行生物量、海拔、坡向、坡度、坡位、人为干扰情况等调查和植物、土壤取样。

1.3 模型建立

1.3.1 耦合度模型

耦合度是度量系统或要素之间协调状况好坏的定量指标^[9]。设正数 X_1, X_2, \dots, X_p 为描述植物特征的 p 个指标, 设正数 Y_1, Y_2, \dots, Y_q 描述土壤特征的 q 个指标。从而构建植被和土壤的耦合度模型为

$$C = \left\{ \frac{4f(x) \cdot g(y)}{[f(x) + g(y)]^2} \right\}^k \quad (1)$$

式中, C 为退耕还林还草植被土壤系统耦合度, k 为调节系数, 一般情况下, $2 \leq k \leq 5$, 本文 $k=5$ 。耦合度 C 反映了当 $f(x)$ 与 $g(y)$ 之和在一定的条件下, 植被土壤组合协调的数量程度。显然, $0 \leq C \leq 1$, 当 C 趋向于 1 时, 说明系统之间或系统内部各要素之间达到良性共振耦合; 当 $C=0$ 时, 耦合度极小, 说明系统之间或系统要素之间处于无关状态。 $f(x)$ 为植被综合评价函数, $g(y)$ 为土壤综合评价函数。

$$f(x) = \sum_{i=1}^p ax_i \quad (2)$$

$$g(y) = \sum_{j=1}^q by_j \quad (3)$$

式中, i, j 分别为植被特征和土壤环境特征的指标个数, a, b 为指标待定权重值, x_i, y_j 为植被特征的第 i 个指标的标准化值和土壤环境特征的第 j 个指标的标准化值。由此函数计算出的综合指数越高, 表明植被生长状况或土壤环境越好, 反之则越差。

1.3.2 耦合协调度模型

耦合度难以全面和准确反映出植被子系统与土壤子系统在系统中的整体“功效”与“协同”效应, 单纯依靠耦合度判别有可能产生误导, 为进一步反映不同退耕还林还草模式植被与土壤交互耦合的协调程度, 在 C 值的基础上加入表示总体发展水平的成分, 构建了耦合协调度模型

$$D = \sqrt{C \cdot T} \quad (4)$$

$$T = \alpha f(x) + \beta g(y) \quad (5)$$

式中, D 为退耕还林还草植被土壤系统耦合协调度。 T 为植被与土壤的综合调和指数, 它反映了植被与土壤的整体协同效应或贡献; α, β 为待定权数, 由于系统中植被生长与土壤环境的改善同等重要, 所以实际应用中 $\alpha=\beta=1/2$, 则

$$T = \frac{f(x) + g(y)}{2} \quad (6)$$

显然, D 的值在 $0 \sim 1$ 之间。耦合发展度是表征系统植被与土壤交换耦合协调程度的指标, D 值越高, 表明植被生长与土壤环境的总体水平越高, 也表明植被生长与土壤环境之间的耦合关系越协调。

1.4 指标体系的建立和权重的确定

根据整体性、全面性、简明性、可操作性、规范性、灵敏性、独立性和协调性原则, 从植被、土壤 2 个子系统的关系出发, 构建能够反映喀斯特峰丛洼地退耕还林还草模式生态系统植被土壤耦合协调评判的 2 级层次指

标。各指标数据通过规格化方法进行标准化处理后，可将多维的非线性问题简化成一维线性叠加的层次分析法^[10]。最底层为要素层，是隶属于上层的各个评价指标。

每一层里 2 个元素进行相对于上层某元素的重要性相比，建立起每层的对比矩阵，并且通过一致性检验后^[11]，计算得表 1 所示各因子的权重。

表 1 不同退耕还林还草模式植被土壤耦合协调性评价指标权重
Table 1 Weights of indexes in coupling coordinative evaluation of grain for green patterns

项目	第一层次		第二层次		综合权重
	指标	权重	指标	权重	
植被综合指数(B ₁)	植物多样性(C ₁)	0.6463	生物量(X ₁)	0.1030	0.0666
			物种数(X ₂)	0.2023	0.1308
			Simpson 指数(X ₃)	0.2585	0.1671
	养分效应(C ₂)	0.3537	Shannon 指数(X ₄)	0.2172	0.1404
			均匀度(X ₅)	0.2189	0.1415
			有机碳(X ₆)	0.2261	0.0800
			N(X ₇)	0.1897	0.0671
			P(X ₈)	0.3164	0.1119
			K(X ₉)	0.2678	0.0947
土壤综合指数(B ₂)	物理性状(C ₃)	0.1216	土壤水分(Y ₁)	0.5388	0.0655
			体积分数(Y ₂)	0.4612	0.0561
			pH(Y ₃)	0.1236	0.0658
			有机质(Y ₄)	0.1335	0.0710
			全 N(Y ₅)	0.1253	0.0667
	化学性状(C ₄)	0.5322	全 P(Y ₆)	0.1409	0.0750
			全 K(Y ₇)	0.1331	0.0708
			碱解 N(Y ₈)	0.1397	0.0743
			速效 P(Y ₉)	0.0904	0.0481
			速效 K(Y ₁₀)	0.1136	0.0605
微生物性状(C ₅)	0.3462	微生物生物量 C(Y ₁₁)	0.2869	0.0993	
		微生物生物量 N(Y ₁₂)	0.1980	0.0686	
		微生物生物量 P(Y ₁₃)	0.1167	0.0404	
		细菌数量(Y ₁₄)	0.1203	0.0417	
		真菌数量(Y ₁₅)	0.1661	0.0575	
		放线菌数量(Y ₁₆)	0.1118	0.0387	

1.5 指标变量的获取

1.5.1 生物量调查和植物养分分析

用材林和经济林均为纯林，植株间差异不大，采用平均木法，在每木检尺的基础上选择标准木伐倒，实测地上部分树干、树枝、树叶、花、果等的鲜质量。根系采用“全挖法”，实测根桩和根的鲜质量；灌木层和草本层生物量采用全部收获法^[12]，在标准地选取有代表性的 5 个 1 m×1 m 的小样方，将每个小样方的灌木和草本全部挖起，分别测定地上地下部分鲜质量，同时测定每个小样方的枯落物现存量。各器官分别取样 200 g，不足 200 g 的全部取样，样品带回实验室置于 85℃ 烘箱烘至恒质量，在换算成干质量的基础上，推算 1 hm² 的各器官生物量和生物总量；样品研磨成粉测定有机质、氮、磷、钾^[13]。

1.5.3 植物多样性的计算

多样性指数的计算方法详见文献^[14]。物种丰富度 S = 样方内物种数/样方面积；Shannon-Wiener 指数 $H' = -\sum P_i \cdot \ln P_i$ ， $P_i = N_i/N$ ， N_i 为样方中第 i 物种的个体数， N 为样方总个体数；Simpson 优势度指数 $D' = 1/\sum (P_i)^2$ ；Pielou 均匀度指数 $J = H'/\ln S$ 。

1.5.4 土壤指标测定

每个样方内五点法进行土壤水分、土壤体积分数测定，水分采用铝盒烘干法，体积分数采用环刀法。土壤按“S”形在样方内进行多点取样，充分混合后分成 2 部分，一部分带回实验室风干研磨成粉测土壤养分^[15]，另一部分置于冰盒带回实验室保存于 4℃ 的冰箱中测定土壤微生物性状^[16]。

1.6 数据处理与分析

所有数据使用 Excel 软件进行处理，并运用 SPSS16.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 植被土壤耦合类型的分类体系及评判标准

根据耦合协调度 D 的大小，结合植被综合评价函数 $f(x)$ 和土壤环境综合评价函数 $g(y)$ 的大小，提出退耕还林还草植被土壤耦合协调类型及评判标准，见表 2。先根据 D 值的大小将退耕还林生态系统植被与土壤的协调状况分为 3 大类 10 小类，然后再根据 $f(x)$ 和 $g(y)$ 的对比关系划分为 30 种基本耦合类型。从中可看出，耦合作用的强度与耦合协调程度并不是一一对应的，它们之间存

在着交错分布的特点，这与退耕还林还草模式植被与土壤子系统之间的协调发展规律是相符合的。

表 2 植被土壤系统耦合类型划分
Table 2 Types of vegetation and soil coupling coordinated development

耦合协调度 D	水平分类	$f(x)$ 与 $g(y)$ 的对比关系	植被土壤耦合模式	
失调衰退类	0 < D ≤ 0.1	$f(x)/g(y) > 1.2$	极度失调衰退类植被损益型	
		$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	极度失调衰退类植被土壤共损型	
		$f(x)/g(y) < 0.8$	极度失调衰退类土壤损益型	
		$f(x)/g(y) > 1.2$	严重失调衰退类植被损益型	
	0.1 < D ≤ 0.2	严重失调衰退类	$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	严重失调衰退类植被土壤共损型
			$f(x)/g(y) < 0.8$	中度失调衰退类土壤损益型
			$f(x)/g(y) > 1.2$	中度失调衰退类植被损益型
			$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	中度失调衰退类植被土壤共损型
	0.2 < D ≤ 0.3	中度失调衰退类	$f(x)/g(y) < 0.8$	中度失调衰退类土壤损益型
			$f(x)/g(y) > 1.2$	轻度失调衰退类植被损益型
			$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	轻度失调衰退类植被土壤共损型
			$f(x)/g(y) < 0.8$	轻度失调衰退类土壤损益型
0.3 < D ≤ 0.4	轻度失调衰退类	$f(x)/g(y) > 1.2$	濒临失调衰退类植被损益型	
		$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	濒临失调衰退类植被土壤共损型	
		$f(x)/g(y) < 0.8$	濒临失调衰退类土壤损益型	
		$f(x)/g(y) > 1.2$	勉强协调发展类植被滞后型	
0.4 < D ≤ 0.5	濒临失调衰退类	$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	勉强协调发展类植被土壤同步型	
		$f(x)/g(y) < 0.8$	勉强协调发展类土壤滞后型	
		$f(x)/g(y) > 1.2$	初级协调发展类植被滞后型	
		$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	初级协调发展类植被土壤同步型	
0.5 < D ≤ 0.6	勉强协调发展类	$f(x)/g(y) < 0.8$	初级协调发展类土壤滞后型	
		$f(x)/g(y) > 1.2$	中级协调发展类植被滞后型	
		$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	中级协调发展类植被土壤同步型	
		$f(x)/g(y) < 0.8$	中级协调发展类土壤滞后型	
0.6 < D ≤ 0.7	初级协调发展类	$f(x)/g(y) > 1.2$	良好协调发展类植被滞后型	
		$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	良好协调发展类植被土壤同步型	
		$f(x)/g(y) < 0.8$	良好协调发展类土壤滞后型	
		$f(x)/g(y) > 1.2$	优质协调发展类植被滞后型	
0.7 < D ≤ 0.8	中级协调发展类	$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	优质协调发展类植被土壤同步型	
		$f(x)/g(y) < 0.8$	优质协调发展类土壤滞后型	
		$f(x)/g(y) > 1.2$	优质协调发展类植被滞后型	
		$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	优质协调发展类植被土壤同步型	
0.8 < D ≤ 0.9	良好协调发展类	$f(x)/g(y) < 0.8$	优质协调发展类土壤滞后型	
		$f(x)/g(y) > 1.2$	优质协调发展类植被滞后型	
		$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	优质协调发展类植被土壤同步型	
		$f(x)/g(y) < 0.8$	优质协调发展类土壤滞后型	
0.9 < D ≤ 1.0	优质协调发展类	$f(x)/g(y) > 1.2$	优质协调发展类植被滞后型	
		$0 \leq f(x)/g(y) \leq 1.2$	优质协调发展类植被土壤同步型	

注： $f(x)$ 为植被综合评价函数， $g(y)$ 为土壤综合评价函数。

2.2 不同退耕还林还草模式指标土壤系统的耦合协调性分析

$g(y)$ 、植被土壤系统耦合度 C 和耦合协调度 D 计算结果见表 3。

各退耕还林还草模式植被综合指数 $f(x)$ 、土壤综合指数

表 3 不同退耕还林还草模式生态系统耦合协调状况评判结果
Table 3 Evaluation results of ecosystem coordination in the grain for green patterns

模式	$f(x)$	$g(y)$	C	D	$g(y)/f(x)$	耦合协调模型
仁豆	0.4007	0.1278	0.2123	0.2369	0.3190	中度失调衰退类土壤损益型
香椿	0.4979	0.7409	0.8218	0.7135	1.4881	中级协调发展类植被滞后型
板栗	0.3061	0.6576	0.4897	0.4858	2.1486	濒临失调衰退类植被损益型
柑橘	0.1444	0.4891	0.1728	0.2339	3.3876	中度失调衰退类植被损益型
仁豆+桂牧 1 号	0.7799	0.3486	0.4540	0.5061	0.4469	勉强协调发展类土壤滞后型
桂牧 1 号	0.5379	0.4625	0.9719	0.6972	0.8598	初级协调发展类植被土壤同步型
撂荒	0.6143	0.6655	0.9920	0.7967	1.0832	中级协调发展类植被土壤同步型

注： $f(x)$ 为植被综合评价函数， $g(y)$ 为土壤综合评价函数； C 为退耕还林还草植被土壤系统耦合度， D 为退耕还林还草植被土壤系统耦合协调度。

从中可以看出，7 种不同退耕还林还草模式植被与土壤的综合指数在各模式中的位置并不完全一致，其中植被综合指数顺序为任豆+桂牧 1 号 > 撂荒 > 桂牧 1 号 > 香椿 > 任豆 > 板栗 > 柑橘，土壤综合指数的顺序为香椿 >

撂荒 > 板栗 > 柑橘 > 桂牧 1 号 > 任豆+桂牧 1 号 > 任豆，任豆+桂牧 1 号、桂牧 1 号和任豆模式的植被效应均好于土壤效应，其他 4 种模式的土壤综合指数均高于植被综合指数，不过，除任豆+桂牧 1 号的植被综合指数和香椿

的土壤的综合指数大于撂荒模式外, 其他模式的植被和土壤综合指数均小于撂荒模式, 因退耕时间短, 退耕还林的生态效果还没有得到充分的体现; 7 种退耕还林还草模式植被和土壤系统的耦合度和耦合协调度均不高且不完全一致, 耦合度的顺序为撂荒>桂牧 1 号>香椿>板栗>任豆+桂牧 1 号>任豆>柑橘, 耦合协调度的顺序则为撂荒>香椿>桂牧 1 号>任豆+桂牧 1 号>板栗>任豆>柑橘, 撂荒、香椿、桂牧 1 号属于中初级协调发展类型, 任豆+桂牧 1 号、板栗属于过度发展类型, 任豆、柑橘则还停留在失调衰退时期; 耦合协调度模型中只有桂牧 1 号和撂荒处于低能量水平基础上的植被土壤同步型, 任豆和任豆+桂牧 1 号模式分别为土壤损益型和滞后型, 应加强土壤管理, 多施肥料, 其他 3 类模式为植被滞后型或损益型, 应尽最大限度提高植物多样性和植物生长抚育水平。

3 结论与讨论

基于 2 级层级 25 个植被土壤指标构建的喀斯特峰丛洼地 7 个代表性退耕还林还草模式的耦合度模型和耦合协调度模型不同, 因退耕还林还草的时间较短, 均没有达到良好协调发展状态。任豆模式为中度失调衰退类土壤损益型, 香椿模式为中级协调发展类植被滞后型, 板栗模式为濒临失调衰退类植被损益型, 柑橘模式为中度失调衰退类植被损益型, 任豆+桂牧 1 号模式为勉强发展类土壤滞后型, 桂牧 1 号模式为初级协调发展类植被土壤同步型, 撂荒模式为中级协调发展类植被土壤同步型。其中任豆和任豆+桂牧 1 号模式分别为土壤损益型和滞后型, 应加强土壤管理, 多施有机肥, 而桂牧 1 号和撂荒是处于一种低能量水平上的植被土壤同步型, 随着退耕时间的延伸, 其他 5 种退耕还林还草模式生态系统的耦合协调将逐步加强。不同退耕还林还草模式的小尺度植被土壤耦合协调性的研究将为整个西南喀斯特区域尺度范围内退耕还林还草工程的生态服务功能研究、生态经济耦合度和耦合协调度模型的构建奠定基础, 保证西南喀斯特地区退耕还林还草工程的全面实施, 促进该区域生态经济的健康发展。

[参 考 文 献]

- [1] 王国宏. 黄土高原自然植被演替过程中的植物特征与土壤元素动态[J]. 植物学报, 2002, 44(8): 990—998.
Wang Guohong. Plant traits and soil chemical variables during secondary vegetation in abandoned fields on the Loess Plateau[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(8): 990—998. (in Chinese with English abstract)
- [2] 焦菊英, 马祥华, 白文菊, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落与土壤环境因子的对应分析[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 744—752.
Jiao Juying, Ma Xianghua, Bai Wenju, et al. Correspondence analysis of vegetation communities and soil environmental factors on abandoned cropland on hilly-gullied Loess Plateau[J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(5): 744—752. (in Chinese with English abstract)
- [3] 朱志诚. 陕北黄土高原植被基本特征及其对土壤性质的影响[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(3): 80—286.
Zhu Zhicheng. The main characteristics of the vegetation and its impact on the soil essence in the Loess Plateau of northern Shanxi Province[J]. Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica, 1993, 17(3): 280—286. (in Chinese with English abstract)
- [4] 兰安军, 张百平, 熊康宁, 等. 黔西南脆弱喀斯特生态环境空间格局分析[J]. 地理研究, 2003, 22(6): 733—741.
Lan Anjun, Zhang Baiping, Xiong Kangning, et al. Spatial pattern of the fragile karst environment in southwest Guizhou province[J]. Geographical Research, 2003, 22(6): 733—741. (in Chinese with English abstract)
- [5] 彭晚霞, 王克林, 宋同清, 等. 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 811—820.
Peng Wanxia, Wang Kelin, Song Tongqing, et al. Controlling and restoration models of complex degradation of vulnerable Karst ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 811—820. (in Chinese with English abstract)
- [6] 吴海勇, 彭晚霞, 宋同清, 等. 桂西北喀斯特人为干扰区植被自然恢复与土壤养分变化[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 143—147.
Wu Haiyong, Peng Wanxia, Song Tongqing, et al. Changes of soil nutrients in process of natural vegetation restoration in karst disturbed area in northwest Guangxi[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(4): 143—147. (in Chinese with English abstract)
- [7] 宋同清, 彭晚霞, 曾馥平, 等. 桂西北喀斯特人为干扰区植被的演替规律与更新策略[J]. 山地学报, 2008, 26(5): 597—604.
Song Tongqing, Peng Wanxia, Zeng Fuping, et al. Vegetation succession rule and regeneration strategies in disturbed karst area, northwest Guangxi[J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(5): 597—604. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王筱明. 生态位适宜度评价模型在退耕还林决策中的应用[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 113—116.
Wang Xiaoming. Application of ecological niche sustainability evaluation model to decision-making for converting cultivated land into forest[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 113—116.
- [9] 刘耀彬, 宋学峰. 城市化与生态环境的耦合度及其预测模型研究[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(1): 91—96.
Liu Yaobin, Song Xuefeng. Coupling degree model and its forecasting model of Urbanization and ecological environment[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2005, 34(1): 91—96. (in Chinese with English abstract)
- [10] 赵宏伟, 刘黎明, 白晓飞. 西部大开发草地资源可持续利用评价与发展对策[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 15—18.
Zhao Yingwei, Liu Liming, Bai Xiaofei. Evaluation and countermeasures of the sustainable utilization of grassland resources in development of western China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2004, 12(2): 15—18. (in Chinese with English abstract)

- [11] 陈萍, 陈晓玲. 鄱阳湖生态经济区农业系统的干旱脆弱性评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 8—13.
Chen Ping, Chen Xiaoling. Evaluation drought vulnerability of agricultural system in Poyang Lake Ecological Economic Zone, China[J]. Transaction of the CSAE, 2011, 27(8): 8—13.
- [12] 冯宗炜. 中国森林生态系统的生物量 and 生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [13] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [14] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 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研究[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268—277.
Ma Keping, Huang Jianhui, Yu Shunli, et al. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: II. Species richness, evenness and species diversities[J]. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(3): 268—277. (in Chinese with English abstract)
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.

Models of vegetation and soil coupling coordinative degree in grain for green project in depressions between karst hills

Peng Wanxia^{1,2}, Song Tongqing^{1,2*}, Zeng Fuping^{1,2}, Wang Kelin^{1,2}, Du Hu^{1,2,3}, Lu Shiyang^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. Huanjiang Observation and Research Station of Karst Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang 547100, China; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Coupling coordinative relationship of vegetation and soil is the key for ecological restoration and for implementing grain for green project. Based on the investigation and analysis of vegetation and soil in seven grain for green patterns in depressions between karst hills, a two-level target system of nine vegetation factors and fifteen soil factors was conducted, and the weight of factors was determined by step weight analysis and models of vegetation and soil coupling degree and coupling coordinative degree were constructed. The results showed that the relationships of coupling degree and coupling coordinative degree of grain for green patterns were not one-to-one correspondence in the region, and the integrative indexes of vegetation in the patterns didn't quite fit with those of soil. The vegetation effects of *Zenia insignis* + Guimu No. 1 *Forage* pattern and the soil improvement effects of *Toona sinensis* pattern were best in these patterns. The status of vegetation and soil coupling coordination in the patterns after 5 years' was still not ideal, as except for patterns of *Toona sinensis* and deserting cultivation were in the stage of middle level coordinative development, and other patterns were in the stages of deterioration caused by disorders or overdevelopment. Only the models of vegetation and soil coupling coordinative degree for patterns of Guimu No. 1 *Forage* and deserting cultivation were in synchronization. Therefore, improvement of vegetation growth and soil management should be done during the application of grain for green project in depressions between karst hills.

Key words: vegetation, soils, couplings, models, grain for green, depressions between karst hills